



Informe Técnico Final

Riego sólido como alternativa al problema de la sequía y cambio climático en predios de frutales, hortalizas y cereales de la región de O'Higgins.

PYT-2012-0214

PERIODO COMPRENDIDO ENTRE EL 01.03.2013 HASTA EL 31.07.2015

| | |
|-------------------------|-------------|
| OFICINA DE PARTES A FIA | |
| RECEPCIONADO | |
| Fecha | 23 NOV 2015 |
| Hora | |
| Nº Ingreso | 25459 |

Tabla de Contenidos

| | |
|--|-----------|
| 1. Antecedentes | 5 |
| 1.1 Antecedentes Generales | 5 |
| 2. Costos | 5 |
| 2.1 Costo general..... | 5 |
| 2.2 Ejecución presupuestaria a la fecha..... | 5 |
| 2.3 Detalle de saldos..... | 5 |
| 3. Resumen | 7 |
| 4. Objetivos Específicos | 8 |
| 4.1 Porcentaje de cumplimiento de objetivos..... | 8 |
| 4.2 Descripción de los cumplimientos e impactos obtenidos | 8 |
| 5. Resultados esperados | 9 |
| 5.1 Cuantificación del avance y descripción de resultados | 9 |
| 5.2 Descripción de los resultados esperados por objetivo específico | 13 |
| 5.3 Detalles de los principales resultados | 13 |
| 5.3.1 Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio..... | 13 |
| 5.3.2 Impacto sobre la curva característica | 14 |
| 5.3.3 Capacidad de hidratación del producto en procesos de humectación y secado | 16 |
| 5.3.4 Interacción con otros agroquímicos..... | 16 |
| 5.3.5 Impacto sobre la densidad aparente..... | 18 |
| 5.3.6 Impacto sobre aplicación de Nitrógeno..... | 19 |
| 5.3.7 Impacto sobre aplicación de Potasio | 19 |
| 5.3.8 Impacto sobre el potencial hídrico foliar en uva de mesa | 20 |
| 5.3.9 Impacto sobre el potencial hídrico foliar en tomates | 21 |
| 5.3.10 Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en periodo de máxima demanda con aplicación de PAK..... | 22 |
| 6. Actividades programadas y ejecutadas | 24 |
| 6.1 Primer semestre 2013 | 24 |
| 6.2 Segundo semestre 2013 y primer semestre 2014 | 25 |
| 6.3 Segundo Semestre 2014 | 25 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 6.4 | Primer semestre 2015 | 26 |
| 6.5 | Análisis de brecha de actividades..... | 27 |
| 7. | Hitos Críticos | 27 |
| 7.1 | Logro de Hitos | 27 |
| 7.2 | Grado de cumplimiento de hitos críticos y posibles desviaciones | 28 |
| 8. | Cambios en el entorno | 28 |
| 9. | Difusión de los resultados obtenidos | 29 |
| 10. | Autoevaluación..... | 29 |
| 11. | Publicaciones científico-técnica..... | 30 |
| 12. | Conclusiones | 30 |
| 13. | Bibliografía Consultada | 32 |
| 14. | Anexos..... | 34 |
| | Anexo 1. Aspectos metodológicos del proyecto | 34 |
| I. | Materiales y métodos utilizados | 36 |
| i) | <i>Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio</i> | <i>36</i> |
| ii) | <i>Impacto sobre la curva característica.....</i> | <i>37</i> |
| iii) | <i>Impacto sobre el potencial hídrico foliar en especies frutales .</i> | <i>37</i> |
| iv) | <i>Impacto sobre el potencial hídrico foliar en cultivos.....</i> | <i>38</i> |
| v) | <i>Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en el periodo de máxima demanda con aplicación de PAK.....</i> | <i>39</i> |
| vi) | <i>Impacto sobre aplicación de Nitrógeno y Potasio.....</i> | <i>39</i> |
| vii) | <i>Evaluación del impacto del PAK en la densidad aparente del suelo en una temporada y la variación en la retención de agua en el tiempo. 40</i> | |
| viii) | <i>Efecto del PAK en la salinidad y lavado de sales del suelo.....</i> | <i>41</i> |
| ix) | <i>Isotherma de adsorción del PAK para un nematocida y herbicida suelo activo.....</i> | <i>41</i> |
| II. | Principales problemas metodológicos enfrentados | 41 |
| i) | <i>Características del producto.....</i> | <i>41</i> |
| ii) | <i>Numero de ensayos.....</i> | <i>42</i> |
| III. | Adaptaciones a la metodología original | 42 |

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| <i>i)</i> | <i>Número de especies y ensayos</i> | <i>42</i> |
| <i>ii)</i> | <i>Características del producto.....</i> | <i>42</i> |
| Anexo 2. | Ficha técnica | 43 |
| Anexo 3. | Posters | 52 |
| Anexo 4. | Publicación..... | 54 |
| Anexo 5. | Otros resultados..... | 67 |
| Anexo 6. | Materiales y métodos propuesta original | 68 |

1. Antecedentes

1.1 Antecedentes Generales

| | |
|-----------------------------|---|
| Nombre Ejecutor: | Universidad de Chile |
| Nombre(s) Asociado(s): | Bogaris Agriculture Chile S.A., Viveros Nueva Vid S.A. |
| Coordinador del Proyecto: | Julio Haberland Arellano |
| Regiones de ejecución*: | Región de O'Higgins |
| Comunas de ejecución: | |
| Fecha de inicio iniciativa: | 01/03/2013 |
| Fecha término Iniciativa: | 31/07/2015 |
| Tipo Convenio FIA: | |
| Objetivo General: | Validar el uso de Poliacrilato de Potasio (PAK) como una alternativa efectiva para disminuir los requerimientos de agua y riego en la agricultura de la Región de O'Higgins. |

*Región donde se establece el/los piloto(s)

2. Costos

2.1 Costo general

| | | | |
|------------------------------|-------------------|--|--|
| Costo total de la Iniciativa | | | |
| Aporte FIA | | | |
| Aporte Contraparte | Pecuniario | | |
| | No Pecuniario | | |
| | Total Contraparte | | |

2.2 Ejecución presupuestaria a la fecha

| Acumulados a la Fecha | | Monto (\$) |
|-----------------------|-----------------------------|------------|
| Aportes FIA | Suma cuotas programadas | |
| | Suma cuotas pagadas | |
| | Suma gasto programado | |
| | Suma gasto real | |
| Aportes Contraparte | Gasto programado | |
| | Gasto real | |
| | Gasto pecuniario programado | |
| | Gasto pecuniario real | |

2.3 Detalle de saldos

| Ítem | Saldo FIA (\$) | Saldo contraparte pecuniario (\$) |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Equipamiento | | |
| Viáticos y Movilización | | |

| | | |
|---|--|--|
| Materiales e Insumos | | |
| Servicios de Terceros | | |
| Difusión | | |
| Gastos Generales | | |
| Gastos Administración | | |
| Imprevistos | | |
| PROFESIONALES DE APOYO Y TECNICOS | | |
| MANO DE OBRA | | |
| MONTO GENERICO | | |
| Coordinador Principal: Julio Haberland Arellano | | |
| Coordinador Alterno: Cristián Eduardo Kremer Farina | | |
| Equipo Técnico: Oscar Rodrigo Seguel Seguel | | |
| Equipo Técnico: Felipe Parada Molina | | |
| Equipo Técnico: María Paz Santibáñez Arellano | | |
| Totales | | |

** Gasto administrativo asociado a la Contraparte Ejecutora Universidad de Chile, específicamente de garantías de ejecución del proyecto. El gasto programado fue menor al actual, no obstante se cubrió el periodo del proyecto en su totalidad con las garantías correspondientes solicitadas por FIA.

3. Resumen

Con el fin de conocer las características principales del producto Poliácridato de Potasio (PAK) y saber cómo se comportaba en medios agrícolas, se sometió a diferentes análisis que permitieron evaluar si es posible su uso como una alternativa de suministro de agua para las plantas. Para esto se evaluó algunas características del producto solo y el impacto del producto en algunas de las características físicas del suelo y fisiológicas de la planta.

Se detectó que la capacidad de retención del producto PAK es variable y dependiente de la conductividad eléctrica (CE, salinidad) del agua con que sea hidratado, concluyéndose que mientras mayor sea la CE, menos es la capacidad de retención de agua del producto. También se observó que al hidratar el producto y luego someterlo a una condición salina mayor a la de la hidratación, este libera parte del agua que había sido originalmente retenida.

Con respecto a las propiedades físicas de suelo, se ha logrado determinar que el producto PAK es capaz de aumentar significativamente la capacidad total de almacenamiento de agua en los suelos de clases texturales gruesas, principalmente en la zona de "drenaje rápido" entre 0 y 330 hPa. A pesar de que el aumento en el contenido de agua es significativo, este no impacta de manera significativa el agua disponible para la planta en condiciones de manejo productivo de los cultivos evaluados. Por lo que el PAK es capaz de retener una gran cantidad de agua, sin embargo, la liberación de esta al medio ocurre a tensiones donde los cultivos se encuentran ya en condiciones de estrés hídrico. Por otra parte, se ha determinado que luego de 6 meses de la aplicación del producto PAK, existe una disminución de la resistencia a la penetración en la superficie del suelo y en dosis superiores a 2 kg m⁻³ de suelo, existe una disminución en la densidad aparente de los suelos de clase textural media a gruesa.

En relación a su comportamiento con agroquímicos que habitualmente son aplicados al suelo, su comportamiento fue variable dependiendo del producto a evaluar, generando retención y fijación en algunos casos, como en los nematicidas, y ningún impacto en la retención de herbicidas. Al evaluar el comportamiento del producto en relación a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y potásicos, se observó que no retiene los productos, pero genera una acumulación en superficie, que probablemente es producto de la fuerte retención de agua, disminuyendo la lixiviación y generando una acumulación en los primeros 30 cm de suelo.

Con respecto a su efecto sobre la salinización y el lavado de sales en los suelos, se observó que al propiciar un ambiente de acumulación en superficie, provoca un paulatino aumento en la CE de los suelos al ser aplicados con fertilizantes salinos. De esta misma forma se observó que en condiciones de suelos salinos, el producto dificulta el lavado de sales en los suelos incluso al lavarlos con agua destilada.

4. Objetivos Específicos

4.1 Porcentaje de cumplimiento de objetivos

| Nº OE | Descripción OE | % de avance |
|-------|---|-------------|
| 1 | Desarrollar y evaluar ensayos de campo con PAK en especies de frutales, cultivos y hortalizas, comparando rendimientos productivos y condición de la planta frente a distintas situaciones y manejos agronómicos. | 100% |
| 2 | Desarrollar y evaluar ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento de PAK frente a aplicaciones y labores culturales tradicionales de campo. | 100% |
| 3 | Analizar la viabilidad comercial del producto. | 100% |
| 4 | Desarrollar fichas técnicas con recomendaciones para el uso del PAK y sus aplicaciones, en función de los resultados del proyecto. | 100% |

4.2 Descripción de los cumplimientos e impactos obtenidos

| Nº OE | Descripción de los cumplimientos |
|-------|--|
| 1 | <p>Se logró establecer que los cultivos responden a aplicaciones de PAK en dosis iguales o superiores 2 kg m^{-3} de suelo, aunque la respuesta ocurre cuando la planta se encuentra en un estado de estrés hídrico fuerte, sólo logrando atrasar un par de días la senescencia del cultivo. Este comportamiento se observó de manera general, independiente de la especie.</p> <p>Se observó que el producto no es capaz de impactar positivamente en el rendimiento de los cultivos evaluados bajo condiciones de estrés, entregando agua a estos cuando la producción ya se ha visto fuertemente afectada.</p> <p>En condiciones de manejo productivo de diferentes especies en campo, se observó que el producto no genera un retraso en la necesidad de riego, por lo que no afectaba los tiempos, ni frecuencias de riego en los cultivos en estas condiciones.</p> |
| 2 | <p>Se ha determinado que existe un aumento en la capacidad de retención de agua total en suelos de clases texturales medias a gruesas, aunque el impacto sobre la curva característica de los suelos de clase textural gruesa es marginal en términos prácticos. Se observó que el producto no retiene de manera significativa los agroquímicos evaluados de común aplicación al suelo (nematicida, herbicida y fertilizantes). Pero se apreció que existe una acumulación de sales en la superficie de los suelos tratados con este producto.</p> <p>También se observó que el producto PAK disminuye su capacidad de retener agua al ser expuesto a fertilizantes salinos.</p> |
| 3 | <p>Se comprobó que el producto aumenta la retención de agua de manera inmediata en el suelo de clase textural gruesa, pero esta agua no está disponible para la planta en condiciones de manejo comercial. Se demostró que existe un aumento</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>en la porosidad y una consecuente disminución de la densidad aparente del suelo.</p> <p>Por este motivo no se ve como una opción factible su aplicación comercial como reservorio de agua en el suelo para las plantas en las especies evaluadas en este proyecto. Una alternativa es como mejorador de las características físicas del suelo, pero se debe considerar su alto costo comparado con otras enmiendas.</p> |
| 4 | <p>Se realizó una ficha técnica con los principales resultados (Anexo 2), pero dado que los resultados son desfavorables hacia el objetivo principal del proyecto y su uso como alternativa como mejorador de las condiciones hídricas de los suelos de la sexta región de Chile, se acordó junto con FIA distribuir esta información con la participación en un seminario y el desarrollo de una publicación.</p> |

5. Resultados esperados

Al finalizar el proyecto se concluyó que el producto no respondía a los resultados esperados de manera satisfactoria, este resultado dio un gran impacto con respecto a lo que el uso del producto significa ya que no se muestra como una alternativa para enfrentar la escasez hídrica en huertos de producción agrícola de la Sexta Región de Chile.

5.1 Cuantificación del avance y descripción de resultados

| Nº OE | Nº RE | Resultado Esperado (RE) | Indicador de Resultados (IR) | | | Valor actual | |
|-------|-------|---|---|--|--|--|----------|
| | | | Indicador (cuantificable) | Línea base (sin proyecto) | Meta proyecto | Resultado | % avance |
| 1 y 2 | 1 | Menor frecuencia de riego, volumen de agua y consumo de energía requeridos con tratamiento PAK. | Frecuencias (hrs/día) y volúmenes (lt) de riego necesarios por semana para mantener niveles óptimos de manejo e hidratación en las plantas (medición por sensores) Kw/Hr usado por hora de riego | La presentada en el campo en el mes de máxima demanda | 40% menor frecuencia de riego 40% menor volumen de agua para riego 40% menos energía | El producto no se muestra como una alternativa en el manejo productivo para aumentar la frecuencia de riego, ni disminuir el volumen de agua aplicado, ni disminuir la necesidad de energía requerida para regar, ya que el producto requiere de tensiones muy altas para dejar disponible el agua para la planta. | 100 % |
| 2 | 2 | Ahorro de insumos con aplicaciones de PAK. | 1. Rendimiento y calidad del producto con insumos recomendados 2. Rendimiento y calidad del producto con insumos | Se ajustará la línea base según cada cultivo y su producción de la temporada anterior y el volumen de agua | Ahorro en un 15% de insumos con tratamiento PAK | Se observa que en los suelos donde se aplica el producto PAK ocurre una acumulación de los fertilizantes y productos aplicados en superficie. Esto genera que los | 100 % |

| N° OE | N° RE | Resultado Esperado (RE) | Indicador de Resultados (IR) | | | Valor actual | |
|-------|-------|---|---|--|--|--|----------|
| | | | Indicador (cuantificable) | Línea base (sin proyecto) | Meta proyecto | Resultado | % avance |
| | | | recomendados menos 15% 3. Rendimiento del producto con insumos recomendados menos 30% 4. Absorción liberación de agroinsumos (abonos-qcos.) | correspondiente. En maceta se comparará la EUA de los tratamientos con y sin PAK | | <p>productos aplicados permanezcan más tiempo en los primeros centímetros de suelo comparados con los suelos sin producto.</p> <p>Se observó que el PAK no retiene los productos aplicados, por lo tanto están disponibles para la absorción por parte de la planta o para su acción con el medio y no existe una liberación paulatina de estos. Por lo que no se observa como un producto que permita ahorrar en los insumos aplicados, pero si como una forma de disminuir la lixiviación en casos particulares.</p> <p>Se debe tener en cuenta que esta característica también afecta el lavado de sales, se observó que al realizar lavados con agua destilada la eficiencia del lavado disminuía en aproximadamente un 50%.</p> | |
| 2 | 3 | Mejora de rendimiento y calidad de cultivos, en distintos tipos de suelos, con tratamiento PAK. | Rendimientos y calidades en suelos de textura arcilloso, franca y arenoso, con y sin PAK, sólo en dosis recomendada por proveedor | Rendimientos actuales | 20% mayores rendimientos y mejor calidad con PAK | Se observó que el producto no generaba ningún impacto en el potencial xilemático en huertos adultos ya establecidos, incluso luego de estar muy por sobre el límite de estrés hídrico máximo en ciruelos, vid de mesa, kiwi y olivos. Por otro lado, en cultivos como tomate y maíz se observó que generaba un impacto en la mejoría de la condición hídrica del cultivo, | 100 % |

| N° OE | N° RE | Resultado Esperado (RE) | Indicador de Resultados (IR) | | | Valor actual | |
|-------|-------|---|---|---|--|--|----------|
| | | | Indicador (cuantificable) | Línea base (sin proyecto) | Meta proyecto | Resultado | % avance |
| | | | | | | pero cuando ya se encontraba en situación de estrés muy por encima de lo permitido para una condición de manejo productivo y el daño en la producción era evidente. Por lo que no se muestra como una alternativa para mejorar el rendimiento y calidad en condiciones de buen manejo. | |
| 2 | 4 | Resultados ante distintas formas de aplicación y distribución del PAK sobre las plantas considerando aplicaciones manuales y mecánicas. | 100-(Consumo de agua en los predios con proyecto/ Consumo de agua en los predios sin Proyecto)* 100 | Alta tasa de aplicación de agua originalmente | 20% de disminución del consumo respecto al original | No se observó diferencias entre los métodos de aplicación de productos para frutales ni para cultivos. | 100 % |
| 2 | 5 | Retraso del Punto de marchitez con tratamiento PAK. | Ensayo eliminado según aprobación de FIA | Lo que determine To | 40% menor Frecuencia y volumen requerido para mantener la planta viva. | Se observó que el producto genera un impacto en la mejoría de la condición hídrica del cultivo y un retraso en la senescencia de la planta, retrasando aproximadamente en 1 día la entrada en senescencia de la planta. | 100 % |
| 2 | 6 | Producto estable ante distintas situaciones y productos aplicados en agricultura. | Estabilidad del producto (tasa normal de absorción/liberación de agua) ante: Distintos agroquímicos, distintos fertilizantes, distintos abonos, conductividad eléctrica | Lo que determine To | 40% de pérdida de efectividad del producto al exponerlo al sol 0% desestabilización con otros productos e insumos | El producto PAK no absorbe ni retiene los productos evaluados en estos ensayos. Pero se ve afectado directamente por el contenido de sales del medio, disminuyendo su capacidad de retención y entregar agua en medios salinos. | 100 % |
| 2 | 7 | Tasa de mortalidad de | (Número de plantas | La presentada en el campo | Disminución de TM en | No se observa una mejoría en la tasa de | 100 |

| N° OE | N° RE | Resultado Esperado (RE) | Indicador de Resultados (IR) | | | Valor actual | |
|-------|-------|--|--|--|---|--|----------|
| | | | Indicador (cuantificable) | Línea base (sin proyecto) | Meta proyecto | Resultado | % avance |
| | | trasplante. | sobrevivientes/número de plantas trasplantadas)*100 | | un 15% en relación a la situación sin uso de PAK. | mortalidad de trasplante al aplicar el producto. | % |
| 3 | 8 | Análisis y conclusiones de la conveniencia técnico económico del uso del PAK y variabilidad comercial. | $VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$ | Se desconoce | Disponer de información fidedigna que permita calcular el parámetro | No se observó una relación entre la aplicación del producto y alguna mejora en la calidad o cantidad de producción independiente del tipo de suelo tratado, cantidad de producto aplicado o método de aplicación. Se observó una disminución en la densidad aparente y un aumento en la porosidad, pero no se encontraron relación entre estas características y la cantidad/calidad de la producción en los periodos de duración del proyecto, por lo tanto un análisis técnico-económico no logra pertinencia. | 100% |
| 4 | 9 | Elaboración y edición de fichas técnicas de uso, en función de los resultados. | (N° agricultores en conocimiento Serie de Divulgación / N° agricultores regional)* 100 | No existe Serie de Divulgación del PAK | 80% de los agricultores con el material disponible | Se realizó una ficha técnica con los principales resultados (Anexo 2), pero dado que los resultados son desfavorables hacia el objetivo principal del proyecto y su uso como alternativa como mejorador de las condiciones hídricas de los suelos de la sexta región de Chile, se acordó junto con FIA distribuir esta información con la participación en un seminario y el desarrollo de una publicación que será realizada en la revista de extensión Antumapu o la revista del AGRID. | 100% |

5.2 Descripción de los resultados esperados por objetivo específico

| N° OE | Resultado |
|-------|--|
| 1 y 2 | Se ha observado que existe un aumento en la capacidad de retención total de agua en los suelos, principalmente en la zona de drenaje, en tensiones de 0 a 330 hPa. Pero este aumento en la capacidad de retención no genera un impacto significativo en la disponibilidad de agua para la planta. |
| 2 | Se observó que el producto PAK no retiene de manera significativa los agroquímicos evaluados en este proyecto. Sin embargo, se comprobó que existe una disminución en la percolación de fertilizantes, generando una acumulación en superficie en los suelos tratados con PAK. |
| 2 | Se ha logrado cuantificar parámetros tales como; la porosidad y la densidad aparente que muestran al PAK como un mejorador de suelos, sin embargo, estos resultados no se correlacionan positivamente con mejoras en el rendimiento de los huertos. Se observó que la disminución en la densidad aparente y el aumento de los poros de drenaje rápido y lento, no significan un aumento real en la capacidad de aire del suelo, ya que el producto PAK genera este efecto al aumentar su volumen por la retención de agua. |
| 2 | El PAK no presentó una mejora en la disminución de la mortalidad en los trasplantes de plantines hechos de la forma correcta. El producto aumenta el periodo de resistencia en ausencia de riego, pero no genera una mejora significativa a nivel productivo en la condición hídrica del cultivo. |
| 3 | El PAK no aumentó la disponibilidad de agua para los cultivos evaluados. Aunque genera una mejora significativa en las condiciones de porosidad y retención de agua en el suelo, no se logró establecer un impacto productivo en estas características, ya que su efecto se ve en condiciones de alto estrés hídrico y por periodos muy acotados. |
| 4 | Se observó que el producto no tiene aplicación como mejorador de la disponibilidad de agua para las especies evaluadas en este proyecto. Se ha desarrollado una ficha que presenta los principales datos, pero se ha acordado con FIA distribuir esta información de una manera diferente a la inicialmente propuesta. |

5.3 Detalles de los principales resultados

5.3.1 Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio

Se observó que el producto PAK variaba su capacidad de retención dependiendo de la concentración de sales que tuviera el medio con el cual se ha hidratado, disminuyendo en aproximadamente un 2,5% de su capacidad máxima de retención (agua destilada) por cada unidad de salinidad en dS/m (Figura 1).

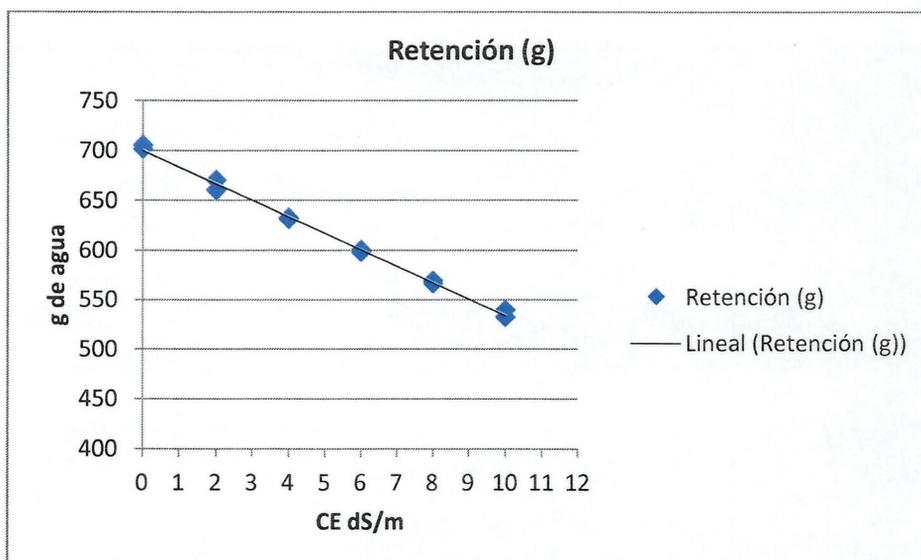
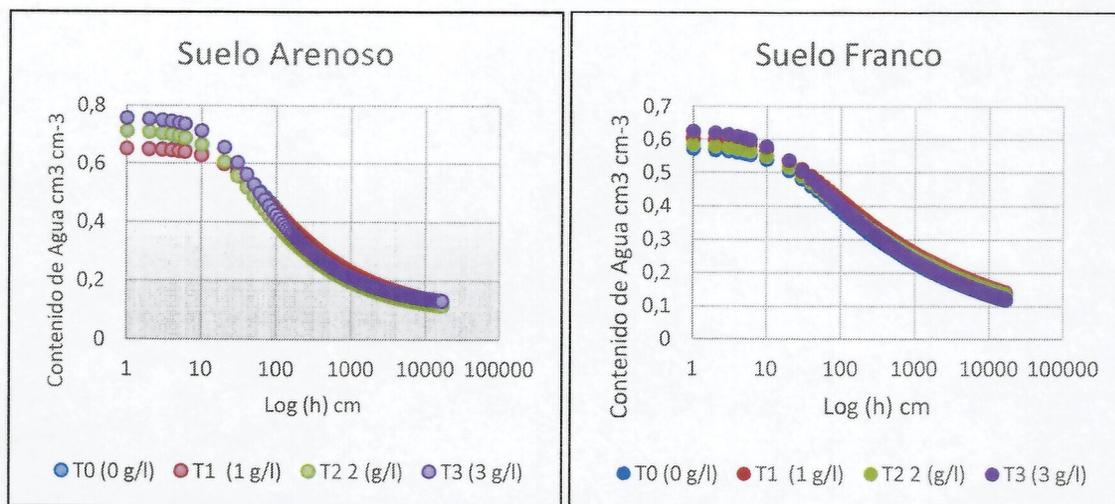


Figura 1. Relación de retención de agua de un gramo de PAK en relación a la salinidad del medio hidratante.

5.3.2 Impacto sobre la curva característica

Se observa en la Figura 2 que existe un impacto sobre la retención mostrada por las curvas características en suelos de clases texturales gruesas, generando un aumento en el contenido de agua total de las muestras de suelo respecto a un testigo sin producto, principalmente en entre las tensiones 1 a 100 cm. En el suelo franco aumenta la retención total de agua de menor forma que la condición anterior y en el suelo arcilloso, para todas las condiciones, disminuyó la retención del agua al aplicar PAK.



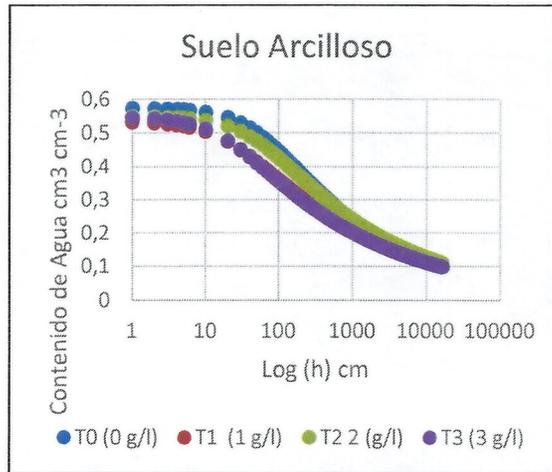


Figura 2. Curvas características en suelos de clase texturales contrastantes con diferentes dosis de PAK donde T0, T1, T2 y T3 son los distintos tratamientos con sus respectivas dosis de PAK en paréntesis.

Al realizar una evaluación del producto sin suelo, a diferentes tensiones, se observó que se requiere de 400 kPa de presión o más para que el producto comience a liberar agua (Figura 3). Lo que explica en parte el impacto sobre la curva característica, junto con el bajo impacto sobre el contenido de agua disponible para las plantas en el suelo.

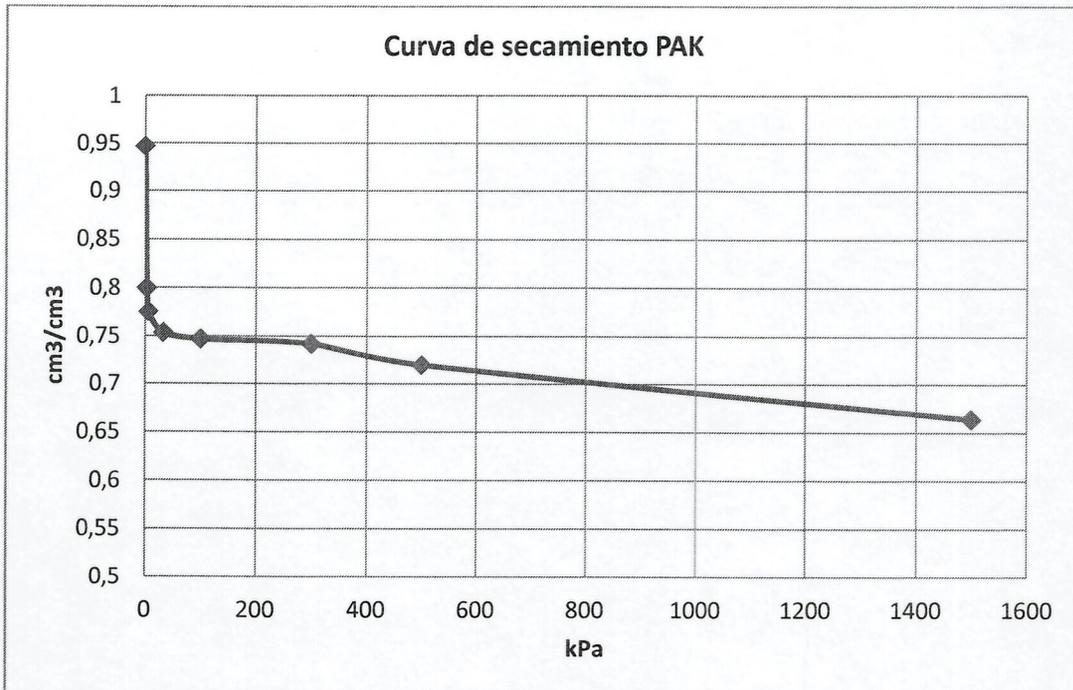


Figura 3. Curva de contenido de agua del producto PAK vs tensión en olla de platos de presión.

5.3.3 Capacidad de hidratación del producto en procesos de humectación y secado

El producto no mostró ningún cambio en su capacidad de retención de agua luego de múltiples procesos de humectación y secado, tanto en condiciones de secado a estufa como en condiciones de secado en un suelo con gramíneas.

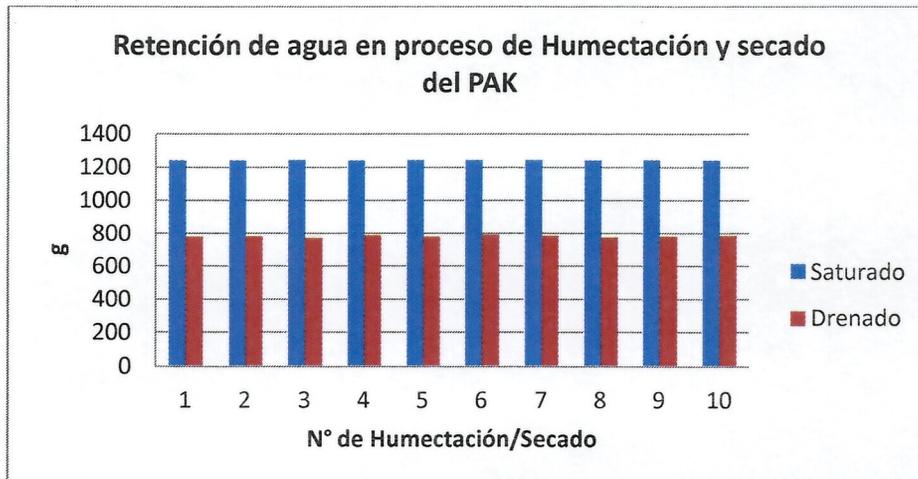


Figura 4. Peso de una muestra de PAK al someterla a 10 procesos de humectación y secado a 30° C hasta peso constante.

5.3.4 Interacción con otros agroquímicos

Análisis con Herbicida

Se sometió a análisis la retención de un herbicida suelo activo por parte del producto PAK. Se comparó la retención del PAK versus una muestra tratada de manera idéntica pero sin PAK. Se apreció que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la muestra blanco y la tratada por PAK, por lo tanto se concluye que el producto no retiene el herbicida muestreado.

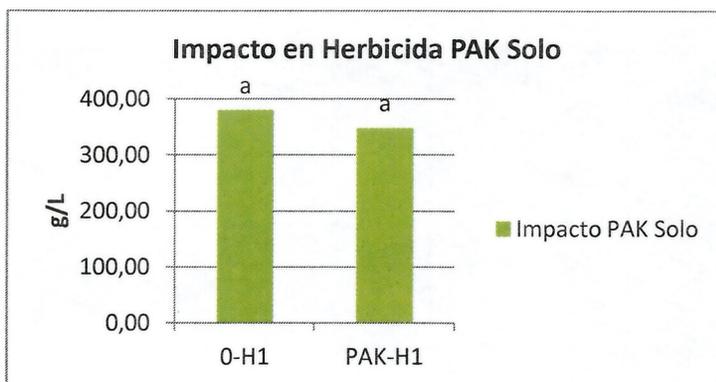


Figura 5. Absorción/adsorción de herbicida por el producto PAK versus una muestra blanco 0-H1.

También se evaluó el efecto de retención de herbicida en dos suelos de clase texturales contrastantes con y sin aplicación de PAK. Se observó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestra de suelo con y sin PAK, por lo tanto se concluye que el producto no retiene al herbicida muestreado y que el impacto de retención es ocasionado 100% por el suelo.

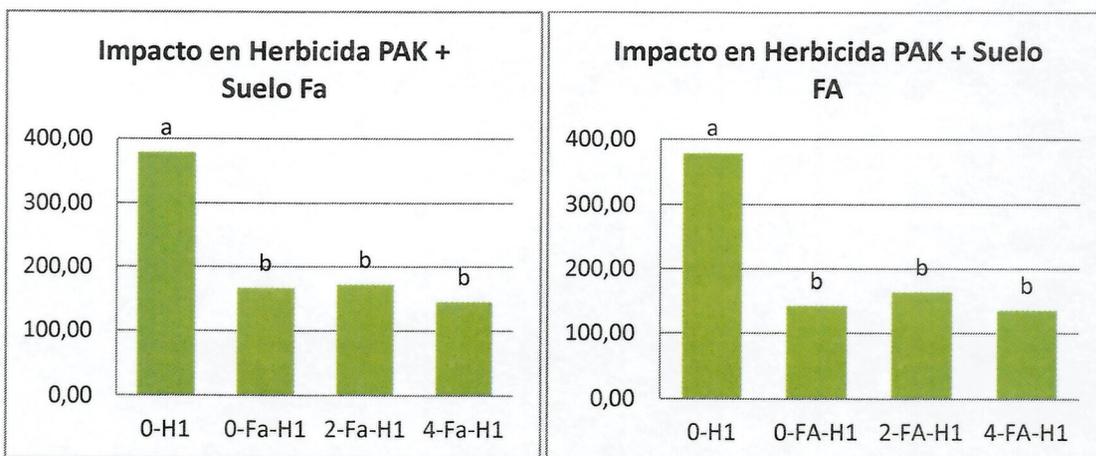


Figura 6. Absorción/adsorción de herbicida por suelos FA y Fa con dos concentraciones de producto PAK (2 y 4 g/L) versus una muestra blanco 0-H1.

Análisis con Nematicida

Se sometió a análisis la retención de un nematicida por parte del producto PAK. Se comparó la retención del PAK versus una muestra tratada de manera idéntica pero sin PAK. Se observó que existen diferencias estadísticamente significativas entre la muestra blanco y la tratada por PAK, por lo tanto se concluye que el producto retiene al nematicida muestreado. Aunque el impacto sobre la concentración final es marginal frente a la dosis de aplicación.

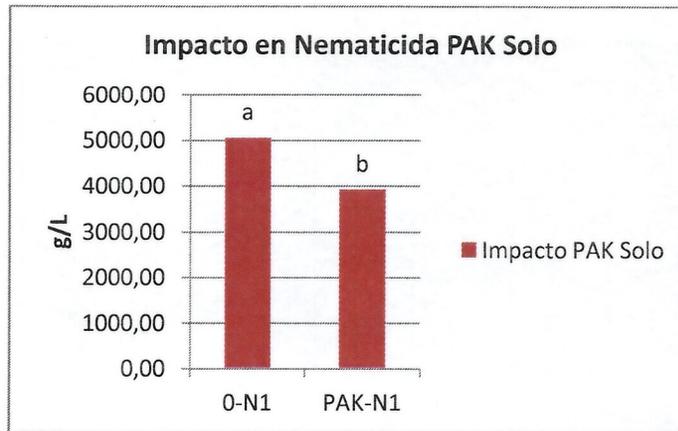


Figura 7. Absorción/adsorción de nematicida por el producto PAK versus una muestra blanco 0-N1.

A su vez, se evaluó el efecto de la retención de nematicida en dos suelos de clases texturales contrastantes con y sin aplicación de producto PAK. Se observó que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestra de suelo con y sin PAK, por lo tanto se concluye que tanto el suelo como el producto retiene al nematicida muestreado. Aunque el impacto de retención es ocasionada principalmente por el suelo.

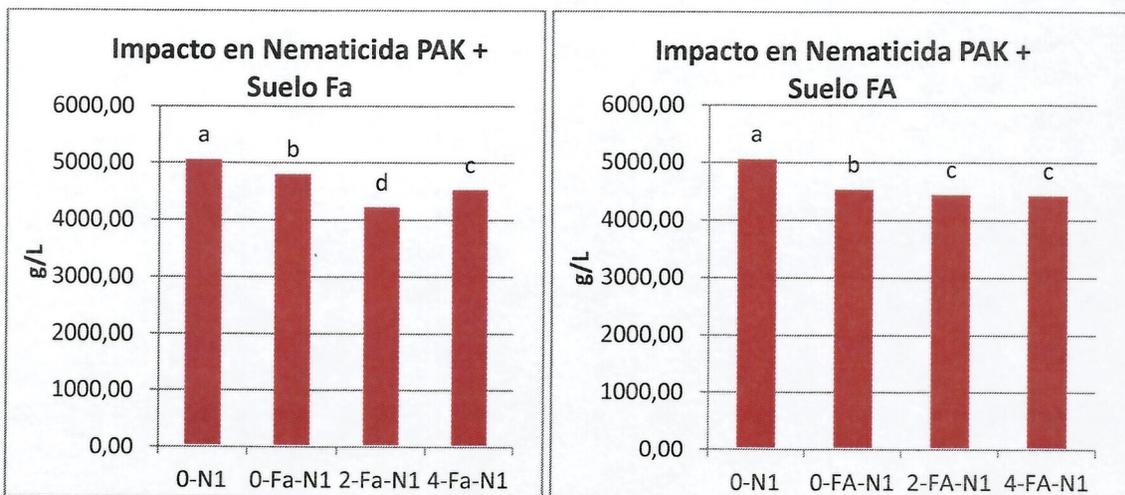


Figura 8. Absorción/adsorción de nematicida por suelos FA y Fa con dos concentraciones de producto PAK (2 y 4 g/L) versus una muestra blanco 0-N1.

5.3.5 Impacto sobre la densidad aparente

Se observa que desde dosis de aplicación de 2 kg de producto PAK por m^3 de suelo, existe un impacto significativo disminuyendo la densidad aparente de suelos de clases texturales gruesas, la disminución en la densidad aparente provocada por el producto no parece estar directamente ligada a la dosis de aplicación, ya que no se observan diferencias entre dosis aplicadas. En suelos de clases texturales finas no se observa ningún impacto. También se observó modificaciones en otras características físicas del suelo, como se muestra en el Anexo 5 ("Otros resultados").

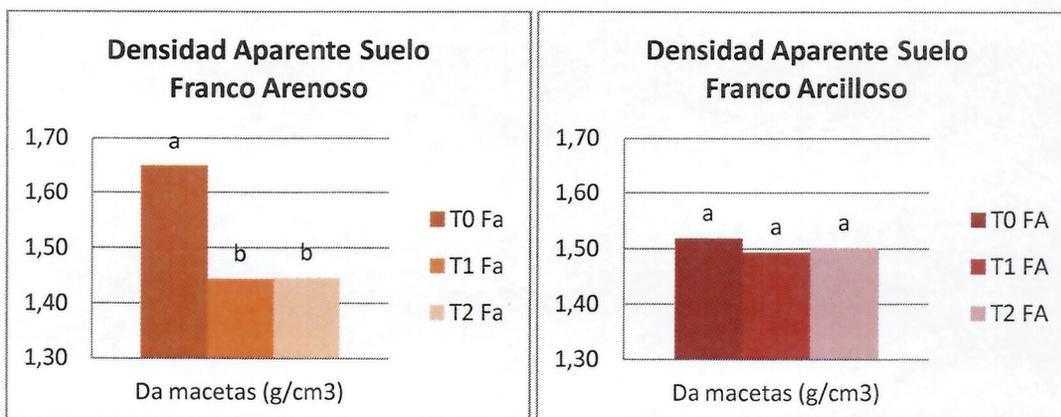


Figura 9. Impacto de la aplicación de producto PAK sobre la densidad aparente en suelos de clases texturales contrastantes.

5.3.6 Impacto sobre aplicación de Nitrógeno

Se realizaron pruebas de lixiviación de nitrógeno aplicando dos dosis de producto PAK en los primeros 30 cm de suelos. Luego se aplicó una dosis de fertilizante y se sometió el suelo a varios procesos de regado, finalmente se realizó un análisis del contenido de nitrógeno en los suelos a 15, 30 y 60 cm de profundidad (P1, P2 y P3). Se observó que existe una acumulación de nitrógeno en superficie en los suelos con producto PAK, y que a mayor dosis del producto, mayor es la acumulación en superficie con respecto al testigo.

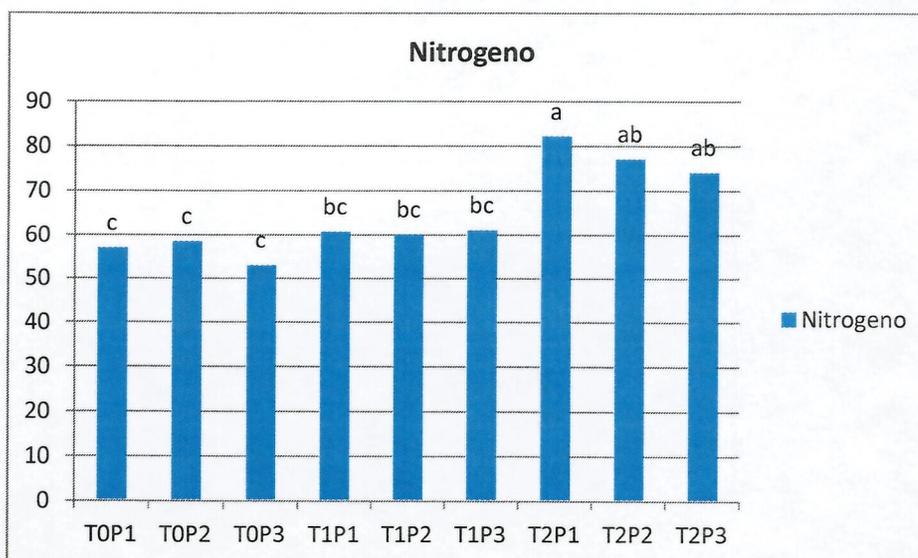


Figura 10. Contenido de nitrógeno en profundidad en suelos con aplicación de PAK en los primeros 30 cm (T0: testigo, T1: 2g/L y T2: 4 g/L).

5.3.7 Impacto sobre aplicación de Potasio

Se realizaron pruebas de lixiviación de potasio aplicando dos dosis de producto PAK en los primeros 30 cm de suelos. Luego se aplicó una dosis de fertilizante y se sometió el suelo a varios procesos de regado, finalmente se realizó un análisis de contenido de potasio en suelos a 15, 30 y 60 cm de profundidad (P1, P2 y P3). Se observó que existe

una acumulación de potasio en superficie en los suelos con producto PAK, y que a mayor dosis del producto, mayor es la acumulación en superficie con respecto al testigo. Se observó que el impacto sobre la lixiviación de potasio es mucho mayor que el impacto sobre el nitrógeno.

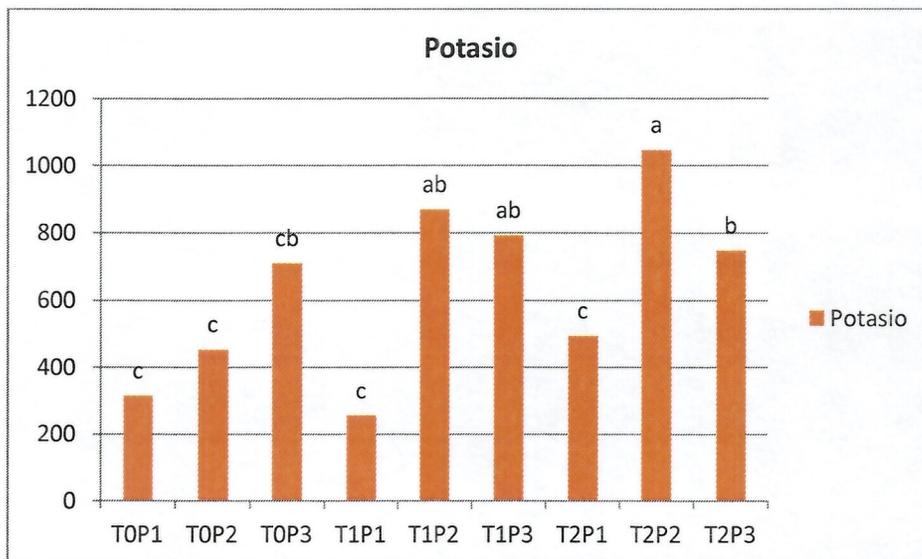


Figura 11. Contenido de potasio en profundidad en suelos con aplicación de PAK en los primeros 30 cm (T0: testigo, T1: 2g/L y T2: 4 g/L).

5.3.8 Impacto sobre el potencial hídrico foliar en uva de mesa

Se realizaron pruebas con dos métodos de aplicación en terreno para cultivos frutales: Aplicación por zanja bajo la línea de riego y aplicación en un hoyo de barreno bajo el gotero. Se apreció que no existen diferencias entre los métodos de aplicación con respecto al testigo en el tiempo de la evaluación (30 días sin riego entre enero y febrero). Esto pudo deberse a que el producto entrega el agua a tensiones muy altas y a que una planta establecida posee un sistema radical que ha explorado un gran volumen de suelo.

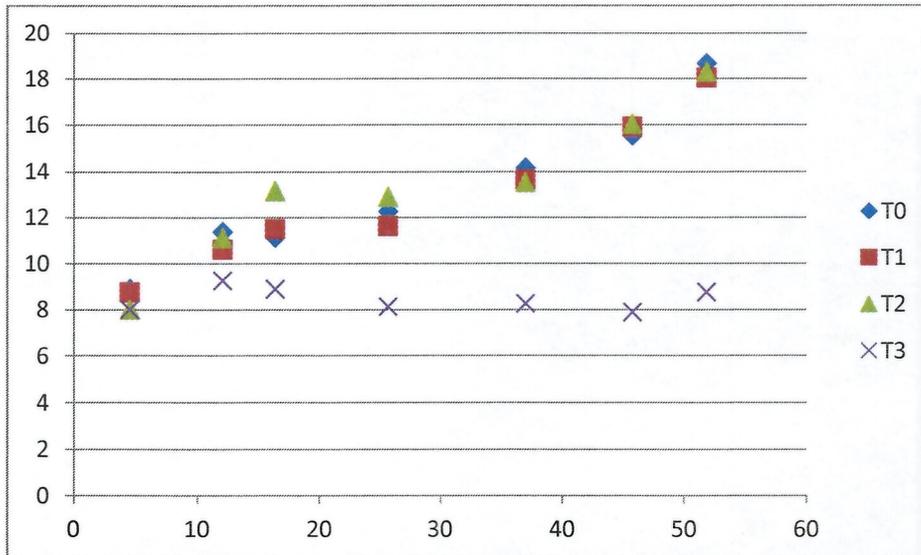


Figura 12. Potencial hídrico foliar versus la evapotranspiración de referencia acumulada. (T0: 0 g/kg; T1: Hoyo barreno; T2: Surco; T3: Manejo habitual).

5.3.9 Impacto sobre el potencial hídrico foliar en tomates

Se realizaron pruebas con dos métodos de aplicación en terreno para cultivos: Aplicación mezclando el suelo y el producto homogéneamente con una moto-cultivadora y aplicación en un hoyo directamente al lado del hoyo de plantación. Se observó que no existen diferencias entre los métodos de aplicación, pero si entre aplicar y no aplicar el producto PAK para un tiempo de evaluación de 30 días sin riego (entre enero y febrero). Como se observó, el producto PAK generó un impacto sobre el potencial de base foliar casi al final del periodo evaluado, en esta etapa el cultivo se encontraba con claros síntomas de deshidratación y la fruta se encontraba con daños irreparables.

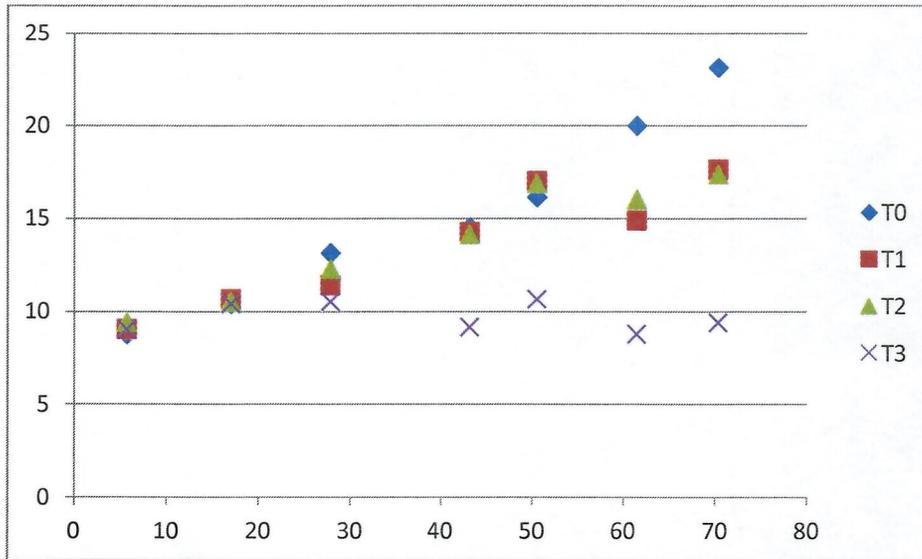
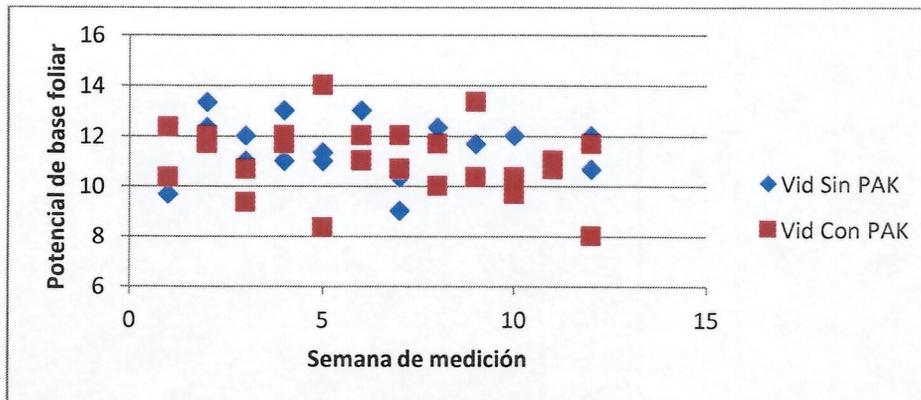


Figura 13. Potencial hídrico foliar versus la evapotranspiración de referencia acumulada. (T0: 0 g/kg; T1: moto-cultivador; T2: hoyo plantación; T3: Manejo habitual).

5.3.10 Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en periodo de máxima demanda con aplicación de PAK

Se observa que en huertos en condiciones de manejo normal durante los periodos de máxima demanda, no existen diferencias significativas entre las plantas con aplicación del producto y las plantas sin la aplicación para ninguna de las especies evaluadas (Figura 14). En términos generales las plantas se mantuvieron entre los rangos habituales de manejo productivo independiente de la aplicación del producto PAK.



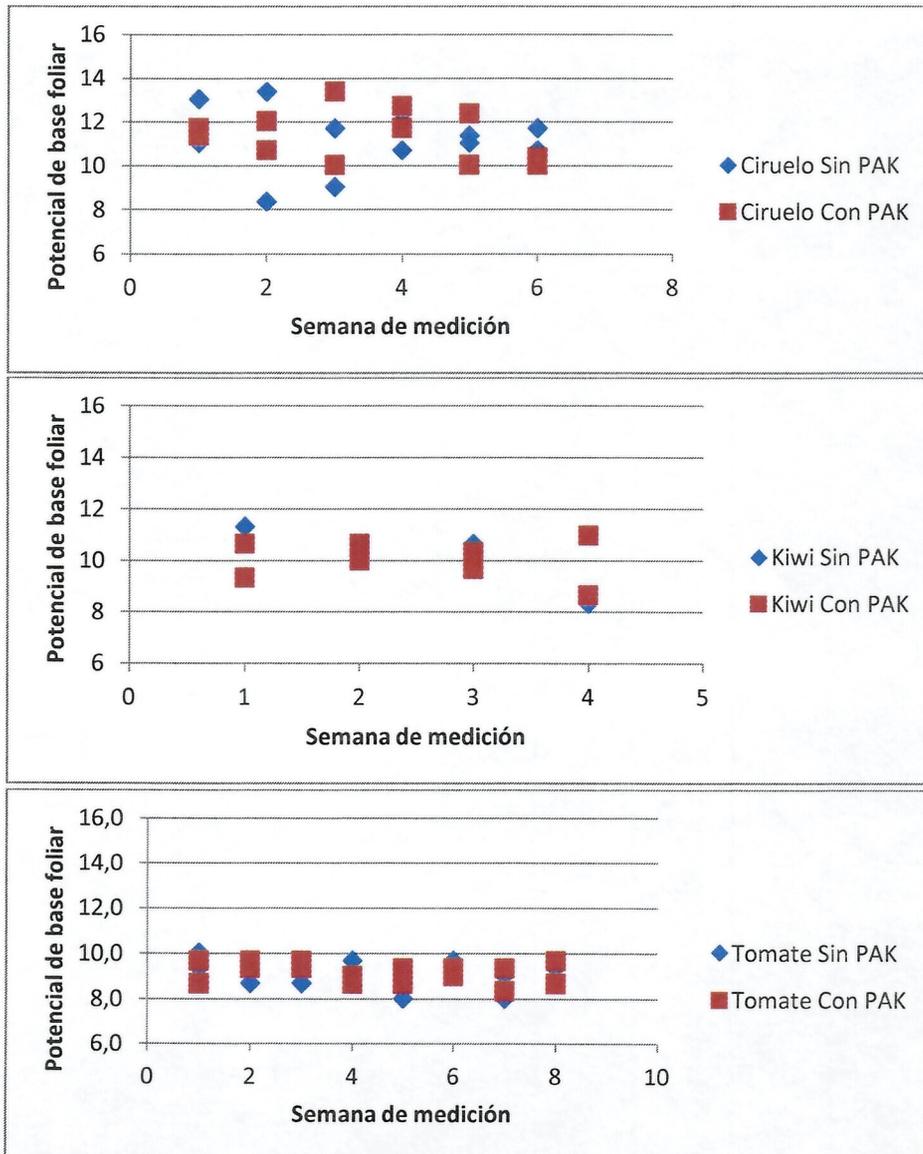


Figura 14. Condición hídrica de base foliar de plantas de Vid de mesa, ciruelo, kiwi y tomate en condiciones de manejo normal con y sin aplicación de PAK.

6. Actividades programadas y ejecutadas

| N° OE | N° RE | Actividades | Fecha programada | | Fecha ejecución | |
|---------|-------|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | Inicio | Término | Inicio | Término |
| 1-2 | 1 | 1. Adquisición de materiales | 01 Marzo 2013 | 30 Abril 2014 | 01 Marzo 2013 | 30 Abril 2014 |
| 1-2 | 1 | 2. Montaje de ensayos 11.1.1, 11.2.1, 11.2.4, 11.1.4, 11.2.3 | 17 Marzo 2013 | 30 Octubre 2014 | 17 Marzo 2013 | 30 Octubre 2014 |
| 1-2 | 4 | 3. Montaje de ensayos 11.1.3, 11.2.2 y 11.1.2 | 15 Enero 2014 | 30 Enero 2015 | 15 Enero 2014 | 27 Febrero 2015 |
| 1 | 3 | 4. Evaluaciones de ensayos | 30 Junio 2013 | 30 Enero 2015 | 30 Junio 2013 | 30 Abril 2015 |
| 2 | 2 | 5. Resultados parciales | 17 Marzo 2014 | 30 Abril 2014 | 17 Marzo 2014 | 30 Abril 2014 |
| 3 | 8 | 6. Evaluación económica de los resultados obtenidos | 2 Enero 2015 | 27 Febrero 2015 | 2 Enero 2015 | 30 Abril 2015 |
| 4 | 9 | 7. Generación de series de divulgación | 2 Enero 2015 | 27 Febrero 2015 | 2 Enero 2015 | 8 Mayo 2015 |
| 1-2-3-4 | Todos | 8. Difusión de los resultados en congreso | 10 Octubre 2014 | 27 Febrero 2015 | 10 Octubre 2014 | 24 Junio 2015 |

6.1 Primer semestre 2013

Adquisición del producto y materiales para los ensayos (Figura 15).

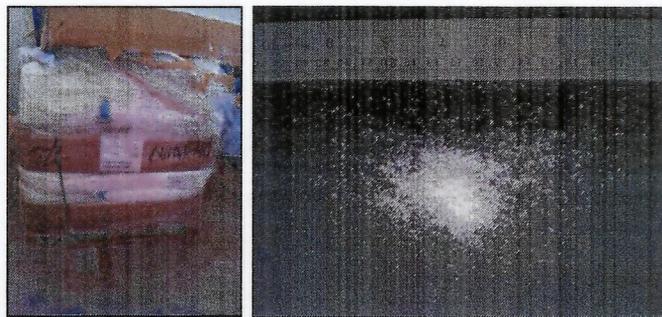


Figura 15. Producto PAK.

Se instalaron los ensayos en terreno, con diferentes especies vegetales y con suelos de clases texturales contrastantes. Se realizaron las aplicaciones en huertos de frutales establecidos. Estos ensayos fueron montados en espacios controlados y con aplicaciones

puntuales que aseguraban la incorporación del producto de una forma adecuada y homogénea (Figura 16).



Figura 16. Establecimiento de ensayos en terreno.

6.2 Segundo semestre 2013 y primer semestre 2014

Seguimiento de los ensayos de terreno. Evaluación del impacto del producto sobre la respuesta fisiológica al estrés hídrico de diferentes especies vegetales (Figura 17).



Figura 17. Evaluación de las condiciones hidricas de plantas y suelo en los ensayos de terreno.

6.3 Segundo Semestre 2014

Montaje ensayos para evaluar los diferentes métodos de aplicación en terreno (Figura 18).



Figura 18. Métodos de aplicación del producto PAK.

6.4 Primer semestre 2015

Seguimiento de los métodos de aplicación (Figura 19).



Figura 19. Medición del impacto del PAK según método de aplicación.

En este periodo se realizó la instalación de ensayos de laboratorio y se desarrollaron las pruebas de laboratorio para determinar características de retención de agua del producto

PAK, su interacción con otros agroquímicos y el impacto que tenía sobre el movimiento de sales en el suelo.

6.5 Análisis de brecha de actividades

Existieron algunos inconvenientes a la hora de implementar los ensayos en terreno y la obtención de datos, principalmente por las dificultades expuestas en el punto 3.2 de este informe.

Dentro de las razones de atrasos en las actividades se encuentra la dificultad de encontrar campos con las características adecuadas para los ensayos, muerte de algunos de los ensayos y la necesidad de replantearlos, algunas dificultades con los equipos de medición y las metodologías inicialmente propuestas.

Las actividades de desarrollo en laboratorio se realizaron con normalidad en las fechas programadas y adicionales en la extensión. Las fechas de logro reflejan la extensión del proyecto.

7. Hitos Críticos

7.1 Logro de Hitos

| Nº RE | Hitos críticos | Fecha Comprometida | Fecha de Logro |
|-------|--|--------------------|----------------|
| 1-2 | 1. FRECUENCIA, VOLUMEN DE RIEGO Y CONSUMO ENERGÉTICO DETERMINADOS | Enero 2015 | Febrero 2015 |
| 1-2 | 2. FORMAS DE APLICACIÓN DETERMINADAS | Enero 2015 | Enero 2015 |
| 1 | 3. EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS Y CALIDAD DE PRODUCTOS AGRONÓMICOS DEFINIDOS | Diciembre 2014 | Febrero 2015 |
| 2 | 4. EFICIENCIA EN EL USO DE INSUMOS DETERMINADOS | Enero 2015 | Enero 2015 |
| 2 | 5. FRECUENCIA Y VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO PARA MANTENER LA PLANTA VIVA DETERMINADO | Diciembre 2014 | Febrero 2015 |
| 2 | 6. EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE RENDIMIENTO DE PAK POR EXPOSICIÓN SOLAR Y DESESTABILIZACIÓN CON OTROS PRODUCTOS E INSUMOS DEFINIDOS | Diciembre 2014 | Abril 2015 |
| 2 | 7. EVALUACIÓN DE LA TASA DE MORTALIDAD DE PLANTAS TRASPLANTADAS DETERMINADO | Diciembre 2014 | Febrero 2015 |
| 3 | 8. EVALUACION ECONOMICA DE PAK (TIR y VAN) OBTENIDA | Febrero 2015 | Eliminado |
| 4 | 9. SERIE DE DIVULGACIÓN REALIZADA | Febrero 2015 | Junio 2015 |

7.2 Grado de cumplimiento de hitos críticos y posibles desviaciones

Como se señala en los puntos 3.2 y 4.5 del presente informe, los problemas de realización y ejecución en los plazos estuvieron asociados a temas metodológicos y de dificultados de implementar los ensayos de terreno.

Puntualmente en los hitos:

Hito 1: Dificultad de encontrar campos que permitieran el nivel de intervención necesario para implementar los ensayos originalmente propuestos. Y posteriores problemas de desarrollo de las modificaciones al riego y a los manejos requeridos. Al no encontrarse

Hito 3: Se encontró con problemas a la hora de cuantificar lo cosechado. En algunos campos de cosecha mecanizada se realizó la cosecha sin poder cuantificar los rendimientos en cada ensayo durante una de las temporadas.

Hito 6: Se determino realizar ensayos en laboratorio adicionales que permitieran esclarecer comportamientos del producto en otras condiciones. Así mismo, el logro de este hito refleja la extensión del proyecto hasta el mes de Junio.

Hito 5: Ante la ausencia de resultados positivos ante el resultado esperado asociado, se debió tomar medidas de evaluación y generar nuevas metodologías que permitieran desvelar la razón de la falta de respuesta a los tratamientos.

Hito 6: Se desecho este hito ya que el producto se utiliza en una mezcla de suelo y su exposición a la radiación solar es despreciable. Por ello esto fue remplazado por pruebas de periodos de humectación y secado en condiciones de laboratorio.

Hito 8: Ante la ausencia de un impacto en la producción, en las necesidades de riego o manejos culturales asociados al riego, este hito tuvo como respuesta que ante ninguna situación el PAK es viable como una alternativa económicamente rentable para responder a la escasez hídrica en huertos productivos de la sexta región. Se acuerda eliminación de hito en reunión con Ejecutivo Técnico FIA, en Mayo 2015.

Hito 9: Ante los resultados encontrados, se acordó con FIA, en Mayo de 2015, modificar los medios divulgativos originalmente propuestos los que terminaron de diseñarse en Junio de 2015.

8. Cambios en el entorno

No se observaron cambios al entorno tecnológico u otros relacionados a regulaciones, por ejemplo. Sin embargo, hemos observado de manera informal un creciente interés en el uso de polímeros, donde tanto agricultores como estudiantes de pre-grado que desean conocer el potencial del uso de PAK en la agricultura, han contactado al equipo para obtener información técnica.

9. Difusión de los resultados obtenidos

Se realizaron publicaciones de 2 poster en el periodo de desarrollo del proyecto (Anexo 2), el primero presentado en el "64° Congreso Sociedad Agronómica de Chile" en la ciudad de Viña del Mar, entre los días 23 y 26 de septiembre de 2013. Otro presentado al "65° Congreso Sociedad Agronómica de Chile" en la facultad de ciencias agronómicas de la Universidad de Chile entre el 27 y 29 de octubre de 2014.

Se realizó la difusión por medio una presentación en el Encuentro Regional "Innovación: La Clave para la Competitividad Frutícola", organizado por el Gobierno Regional junto a Fedefruta, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Universidad de Chile, el día 24 de junio de 2015 en el Club de campo de San Fernando, y se realizará una futura publicación (Anexo 3) en alguna revista del área agrícola a convenir en conjunto con FIA.

Además este proyecto condujo a la formación de 4 tesis (aun en desarrollo), las que estarán disponibles en biblioteca de la facultad de ciencias agronómicas y como tesis en línea de la Universidad de Chile una vez presentadas por los estudiantes a cargo.

Se realizará la publicación de los principales resultados en una de las siguientes revistas de extensión: Revista Antumapu o Revista del Agrid.

10. Autoevaluación

¿Considera que su proyecto logrará insertar en el mercado el bien o servicio o mejorar la competitividad? Explique (máx. 80 palabras)

En cuanto a dificultades para que el PAK pudiese mejorar la competitividad, primero se observó que era indispensable encontrar formas de aplicación que no impactaran en forma agresiva a las plantas establecidas y que fueran eficientes para minimizar el costo por hectárea. Sin embargo, finalmente se concluyó que el costo del producto es muy alto para cereales, hortalizas y frutales, y no logra entregar un beneficio concreto en términos de capacidad de retención y entrega de agua en los rangos de tensión en que cereales y hortalizas se mantienen productivos.

Estos resultados, aun cuando no son positivos en términos del uso del PAK en un amplio espectro de cultivos agrícolas, sí han permitido validar el uso del PAK en condiciones productivas reales. Las modificaciones realizadas a lo largo del proyecto permitieron subsanar dificultades técnicas en la observación clara del comportamiento del PAK en situaciones productivas. Si bien estas modificaciones y dificultades técnicas observadas retrasaron el cumplimiento del programa inicialmente propuesto, permitieron obtener resultados confiables dentro del plazo de ejecución del proyecto.

¿Cómo evalúa los resultados obtenidos en función del objetivo general del proyecto? (máx. 80 palabras)

Se encontraron dificultades técnicas a la hora de implementar las metodologías habituales de caracterización física y en el uso de instrumentos de medición de humedad en el suelo, lo que llevo a la necesidad de replantear varios de los ensayos y las metodologías de cuantificación y evaluación de los datos requeridos. Además, se detecto un problema con el instrumento de medición porometro, lo que invalido las mediciones de apertura estomática obtenidas con este equipo durante el desarrollo del proyecto.

¿Cómo evalúa el grado de cumplimiento de las actividades programadas? (máx. 80 palabras)

Así mismo, se enfrentaron dificultades administrativas a nivel interno de la Facultad y a nivel del equipo técnico-administrativo que resultaron en convenios de honorarios disponibles fuera del marco del cierre del proyecto y productividades canceladas sin presupuesto asignado pero dentro del periodo del proyecto. No obstante estas dificultades, las actividades del proyecto fueron cumplidas a cabalidad, y el flujo de gastos ha sido posible de cubrir en su totalidad con los recursos disponibles. El proyecto ha concluido con un saldo a favor a retornar a FIA.

¿Cómo ha sido la participación de los asociados? (máx. 80 palabras)

La participación de los asociados al proyecto, con sus aportes comprometidos y cooperación durante el proyecto, permitió dar curso completo a los ensayos planteados y modificados para su completa ejecución dentro de los plazos establecidos.

11. Publicaciones científico-técnica

Se realizaron publicaciones de 2 poster en el periodo de desarrollo del proyecto (Anexo 2), el primero presentado en el "64° Congreso Sociedad Agronómica de Chile" en la ciudad de Viña del Mar, entre los días 23 y 26 de septiembre de 2013. Otro presentado al "65° Congreso Sociedad Agronómica de Chile" en la facultad de ciencias agronómicas de la Universidad de Chile entre el 27 y 29 de octubre de 2014.

Se realizó una ficha técnica del producto (Anexo 1), el que fue presentado al FIA y posteriormente se acordó realizar la difusión por otros dos medios: una presentación en el Encuentro Regional "Innovación: La Clave para la Competitividad Frutícola", organizado por el Gobierno Regional junto a Fedefruta, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Universidad de Chile, el día 24 de junio de 2015 en el Club de campo de San Fernando, y una publicación (Anexo 4) en alguna revista del área agrícola a convenir en conjunto con FIA.

12. Conclusiones

Se concluye que el comportamiento en el suelo del producto PAK es independiente de la especie vegetal al que se aplique, no teniendo ningún impacto sobre las características de resistencia hídrica de ninguna de las especies evaluadas, por lo que la condición hídrica de la planta estaba directamente asociada a sus características por especie y variedad.

El producto es capaz de retener grandes cantidades de agua, pero no es capaz de entregarla en los momentos adecuados para observar mejoras en la condición hídrica de las especies estudiadas. Al momento de entregar el agua, el producto es capaz de mejorar la condición hídrica de la planta con respecto a un cultivo no tratado, pero esta mejoría no es capaz de impactar significativamente sobre la condición de estrés de la planta. Por estas razones, el producto no se muestra como alternativa para extender las frecuencias de riego en los cultivos agrícolas estudiados, para fines productivos.

El producto varía su capacidad de retención dependiendo de la salinidad del medio y del agua con que se hidrata, por lo que el aporte final del agua entregada por el producto en estas condiciones, es dependiente de las condiciones del medio y del agua de riego. Además de propiciar un aumento en la concentración de sales en superficie, esto podría dificultar la lixiviación de sales y otros agroquímicos en profundidad.

Con los antecedentes anteriores se concluye que el producto Poliacrilato de Potasio, bajo las condiciones experimentales detalladas anteriormente y para las especies estudiadas en el presente proyecto, no es una alternativa viable para enfrentar el problema de la sequía y cambio climático en predios de frutales, hortalizas y cereales de la región de O'Higgins.

Para futuras investigaciones con este producto o similares, se recomienda realizar una evaluación completa de sus características en laboratorio y con una cantidad acotada de especies vegetales. Para posteriormente llevar a cabo un estudio en terreno.

Además se recomienda verificar el impacto del producto en las metodologías propuestas, de manera de poder tomar las medidas correctivas en términos de evaluación o metodológicas para evitar pérdida de datos o complicaciones a la hora del análisis de los mismos.

13. Bibliografía Consultada

Akhter, J.; M. Ahmad; M.M. Iqbal; K. Mahmood; K.A. Maliki and A. Mardan. 2004, febrero. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil Environment*, 50(10): 463-469.

Al-Harbi, A.R.; A.M. Al-Omran,; M.I. Choudhary and A.A., Shalaby. 1999, abril. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. *HortsScience*, 34(2):223–224.

Aquawarehouse. 2013. [on-line]. Características del producto. Disponible en <http://www.aquawarehouse.net/>.

Blake, G. and K. Hartge. 1986. Bulk Density. Pp 363-375. *In*: Klute, A. (Eds). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI, U.S.A.

Cartón, A., T. Isla, y J. Álvarez-Benedí. 1997. Sorption-Desorption of Imazamethabenz on Three Spanish Soils. *J. Agric. Food. Chem.*45:1454-1458.

Coelho J.; M. Barros; M. Correa; R. Wanderley; J. Coelho Júnior; J. Figueredo. 2008. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 3(3): 253-259

El-Rehim, H. A. A., Hegazy, E.-S. A. and H. L. A. El-Mohdy. (2004), Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase plant performance. *J. Appl. Polym. Sci.*, 93: 1360–1371.

Estrada G.; D. Lemus; D. Mendoza; V. Rodríguez. 2010. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(2):76-87.

Foster, W. and G. Keever. 1990, septiembre. Water absorption of hydrophilic polymers reduced by media amendments. *Journal of Environmental Horticulture*, 8(3): 113-114.

García, M. 2008. Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario. (pp. 10-11). En: *Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad"* (11 al 14 Agosto del 2008, La Antigua, Guatemala). La Antigua, Guatemala: Red Riegos, CYTED y AECID. 19p.

Gómez, M. y A. Cañamero. 2010. Juguetes y polímeros superabsorbentes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*. Volumen 8: 460-465.

Greasing, D. and U. Schmidhalter. 2004, Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat. *Soil Use and Management* 20: 207–209.

Latinoamérica Unida Protegiendo sus Suelos (19°, 16 al 20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Argentina). Efecto de la Poli(acrilamida) en las Propiedades Físicas de un Suelo Arenoso. Eds. C. Irurtia; R. Mon; R. Holzmann y T. Piroló. Mar del Plata, Argentina. 5p.

Luzardo A.; Otero F.; Blanco J. 2002. Elaboración de hidrogeles de ácido poli(acrílico). Estudios preliminares de hinchamiento. 3ª jornadas de tecnología farmacéutica (AEFI) tecnología farmacéutica. p. 103-105.

Rojas, B., M. Ramirez., R. Aguilera., J. Prin y C. Torres. 2006. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista iberoamericana de polímeros*, 7 (3):1-12

Sáez V., Hernáez E. y Sanz A. 2003. Liberación controlada de fármacos. Hidrogeles. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(1): 21-91.

Sandoval, M., J. Dörner, O. Seguel, J. Cuevas and D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Chillán, Chile, N°5. 80 p.

Shackel, K. 2003. Using the pressure chamber. California, Estados Unidos de America: Agriculture and Natural Resources, University of California-Davis.

Soluciones medioambientales. 2013. [On-line]. Producto Aquaviva. Disponible en <http://www.aquaviva.cl/prod.html>.

14. Anexos

Anexo 1. Aspectos metodológicos del proyecto

Originalmente se plantearon ensayos en laboratorio y terreno que posteriormente fueron adaptados y modificados por diversas razones en el transcurso del proyecto. Estos ensayos originales se observan en el siguiente cuadro y los detalles metodológicos se encuentran en el Anexo 6.

| ID | Ensayos originales del proyecto | |
|-------|---|--|
| 1 | ENSAYOS DE LABORATORIO | |
| 1.1 | FRECUENCIA, VOLUMEN DE RIEGO Y CONSUMO ENERGÉTICO (VINCULADO AL RESULTADO 1 y 3) | Modificado parcialmente |
| 1.1.1 | <u>ENSAYO DE LABORATORIO MAÍZ Y TRIGO</u> | Problemas para el establecimiento y mantención de los cultivos. Resultados parciales utilizados para comparaciones del desempeño global del producto. |
| 1.1.2 | <u>ENSAYO DE LABORATORIO TOMATE Y CEBOLLA</u> - | Problemas con la comparación del ensayo en cebollas en terreno debido al robo de estas. Ataque de plagas en algunos ensayos de tomates, uso parcial de estos últimos. |
| 1.1.3 | <u>ENSAYO DE LABORATORIO OLIVO, VID, KIWI Y CIRUELO</u> | Desarrollo de acuerdo a lo planteado |
| 1.2 | EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE RENDIMIENTO DE PAK POR EXPOSICIÓN SOLAR Y DESESTABILIZACIÓN CON OTROS PRODUCTOS E INSUMOS (VINCULADO AL RESULTADO 6) | Modificado parcialmente: Se desechó el ensayo de pérdida de rendimiento por exposición solar, ya que el producto es incorporado al suelo, donde la exposición a rayos UV es prácticamente nula. Esta modificación permitió agregar nuevos ensayos de interacción entre el PAK y otros productos de interés agrícola. |
| 1.3 | FRECUENCIA Y VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO PARA MANTENER LA PLANTA VIVA (VINCULADO AL RESULTADO 5) | Suma de nuevos ensayos, además de los propuestos que se desarrollaron normalmente. |
| 2 | ENSAYOS DE CAMPO | |
| 2.1 | FRECUENCIA, VOLUMEN DE RIEGO Y CONSUMO ENERGÉTICO (VINCULADO AL RESULTADO 1) | Modificado parcialmente |

| | | |
|-------|--|--|
| 2.1.1 | <u>ENSAYO DE CAMPO MAÍZ Y TRIGO</u> | Problemas para el establecimiento en terreno, y encontrar campos con las condiciones adecuadas para montar ensayos apropiados. |
| 2.1.2 | <u>ENSAYO DE CAMPO TOMATE Y CEBOLLA</u> | Ensayos de cebollas fueron eliminados luego de ser robados en dos ocasiones, perdiendo toda producción antes de las mediciones. Los ensayos en tomas se realizaron normalmente. |
| 2.1.3 | <u>ENSAYO DE CAMPO OLIVO, VID, KIWI Y CIRUELO</u> | Se desarrollaron normalmente, y se incorporaron nuevos ensayos al cultivo de vid. |
| 2.2 | FORMAS DE APLICACIÓN (VINCULADO AL RESULTADO 4) | Modificado |
| 2.2.1 | <u>ENSAYO DE CAMPO MAÍZ Y TRIGO</u> | No fue posible establecer los cultivos de manera duradera como para evaluar el impacto del PAK y su forma de aplicación. |
| 2.2.2 | <u>ENSAYO DE CAMPO TOMATE Y CEBOLLA</u> | Ensayos de cebollas fueron eliminados luego de ser robados en dos ocasiones, perdiendo toda producción antes de las mediciones. Los ensayos en tomas se realizaron normalmente. |
| 2.2.3 | <u>ENSAYO DE CAMPO OLIVO, VID, KIWI Y CIRUELO</u> | Al momento de realizar este ensayo, se había optado por evaluar la aplicación solo en dos especies frutales vid y olivo. En esta última las condiciones de suelo impidieron la correcta incorporación. |
| 2.3 | EVALUACIÓN DE LA TASA DE MORTALIDAD DE PLANTAS TRASPLANTADAS (VINCULADO AL RESULTADO 7) | Desarrollo de acuerdo a lo planteado |
| 2.4 | EFICIENCIA EN EL USO DE INSUMOS (Resultado 2) | Modificado parcialmente, agregando nuevos ensayos. |

Las metodologías propuestas originalmente que no fueron modificadas y aquellas que fueron adaptadas y modificadas, se agruparon en nuevos grupos de ensayos, los que se muestran a continuación y posteriormente se detalla las modificaciones en el Anexo 6 de este informe.

| Incorporaciones, adaptaciones y modificaciones de los ensayos | |
|--|--|
| Impacto del PAK en algunas propiedades físicas del suelo y la vida útil del producto aplicado | Incorporación al ensayo ID 1.2, como modificación a las mediciones UV. |
| Evaluación del impacto del PAK en la densidad aparente del suelo en una temporada y la variación en la retención de agua en el tiempo. | |
| Efecto del PAK sobre la humedad aprovechable en el suelo y las condiciones hídricas de las planta | Incorporación y modificaciones para los ensayos ID 1.1; 1.2; 1.3 y 2.1 |
| Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio | Incorporación ensayo ID 1.2 |
| Impacto sobre la curva característica | Incorporación ensayo ID 1.1 |
| Impacto sobre el potencial hídrico foliar en especies frutales | Incorporación y modificación ensayos ID 1.1.3; 1.3 y 2.1.3 |
| Impacto sobre el potencial hídrico foliar en cultivos | Incorporación y modificación ensayos ID 1.1.2; 1.3 y 2.1.2 |
| Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en el periodo de máxima demanda con aplicación de PAK | Incorporación y modificación ensayos ID 1.1; 1.3 y 2.1 |
| Efecto en la condición hídrica del cultivo de diferentes métodos de aplicación en terreno de PAK | Modificación al ensayo ID 2.2 |
| Evaluación de posible interacción en el suelo entre el PAK y productos químicos (Fertilizante, nematicida y herbicida suelo activo) | Incorporación y modificación de los ensayos ID 1.2 y 2.4 |
| Impacto sobre aplicación de Nitrógeno y Potasio | Incorporación ensayos ID 2.4 |
| Efecto del PAK en la salinidad y lavado de sales del suelo | Incorporación ensayos ID 1.2 y 2.4 |
| Isoterma de adsorción del PAK para un nematicida y herbicida suelo activo | Incorporación ensayos ID 1.2 y 2.4 |

I. Materiales y métodos utilizados

i) Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio

Se sometió el producto PAK a soluciones de nitrato de potasio en agua, con conductividades eléctricas conocidas y se evaluó el agua efectivamente retenida por el producto bajo estas condiciones.

En bolsas de tela de poliéster se introdujo 1 gramo de producto PAK y luego fueron selladas utilizando calor. Luego, en recipientes de 2 litros de capacidad se llenaron de agua con 6 conductividades eléctricas conocidas (3 recipientes por conductividad), las conductividades eran de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 dS/m.

Posteriormente se introdujo 1 bolsa con PAK en cada recipiente y se dejó hidratar durante 24 horas, finalmente se extrajo la bolsa con el producto hidratado, se dejó drenar a la sombra durante 24 horas y se constató el peso del producto hidratado. Luego se introdujeron dentro de agua destilada y se evaluó si se había modificado su capacidad de retener agua, para determinar si existía absorción de sales por parte del producto PAK.

Además, se evaluó la capacidad del PAK para absorber agua luego de varios procesos de humectación y secado. Para esto se agregó una masa conocida de producto dentro de un matraz aforado y se llenó con agua destilada, transcurridas 24 horas, se drenó y se pesó el excedente de agua libre, también se pesó el matraz con el producto humectado. Luego fue puesto a secar hasta peso constante en un horno y volver a aforar con agua destilada. La temperatura del horno se fijó en 30° C para evitar degradación del producto por temperatura. El proceso de humectación y secado se repitió 25 veces.

ii) Impacto sobre la curva característica

Se realizó un análisis de las curvas características a suelos de clases texturales franco arenoso (Fa) y franco arcilloso (FA) sin producto y también a muestras de cada suelo con 2 dosis de PAK.

Para la evaluación del producto en suelos, se realizó una mezcla homogénea de cada suelo con dosis de 2 y 4 g de producto por litro de suelo, de cada una se extrajo 4 cilindros rasos de dimensiones conocidas, los que fueron pesados y sometidos a diferentes presiones siguiendo el método de obtención de curva característica por cilindro (Blake y Hartge, 1986).

Para obtener la curva característica del producto PAK, se dejó hidratar el PAK durante 24 horas sin limitantes de agua, luego se tomaron 3 muestras rasas con cilindros de dimensiones conocidas, las que fueron pesadas y luego sometidos a diferentes presiones por medio de una olla y plato de presión, siguiendo el mismo proceso que una curva característica por cilindro normal.

iii) Impacto sobre el potencial hídrico foliar en especies frutales

Se realizó una aplicación homogénea en la zona de raíces de 3 dosis de producto PAK (1, 2 y 3 g/kg de suelo) en huertos de frutales establecidos de ciruelo, vid de mesa, olivo y kiwi. Se efectuaron diferentes manejos de riego de acuerdo a la demanda hídrica calculada y se realizaron mediciones periódicas de la condición hídrica de las plantas evaluando el potencial xilemático de las plantas centrales de cada tratamiento durante una temporada, utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003). Los manejos de riego se realizaron reponiendo el 100, 50 y 25% de la demanda en cada riego, un tratamiento habitual del huerto y un tratamiento blanco sin producto por cada manejo.

Paralelamente se realizó un ensayo en macetas en condiciones controladas de riego en plantas de 1 a 2 años de cada especie con los mismos tratamientos.

Se evaluaron dos métodos de aplicación de PAK en uva de mesa: la aplicación directamente bajo los goteros de la planta dentro de un hoyo hecho con barreno y la aplicación del producto en un surco directamente bajo la línea de goteo. Las metodologías se contrastaron con un tratamiento blanco sin aplicación de producto y otro con el manejo habitual del huerto.

Se tomaron cuatro plantas por tratamiento, la dosis aplicadas fueron de 2 g de producto por litro de suelo, considerando el volumen de suelo explorado por las raíces del árbol como 1 metro de profundidad por el largo de la entre hilera y el largo de la sobre hilera. La aplicación del producto se realizó al comienzo de la temporada y se dejó que las raíces recolonizaran las zonas perturbadas con el manejo habitual del huerto.

Posteriormente durante el mes de enero se realizó un riego abundante de los tratamientos y se les corto el riego. Se verificó la condición hídrica de las plantas, evaluando el potencial xilemático de las plantas centrales de cada tratamiento cada 3-4 días durante un mes, utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003). Paralelamente se tomó registro de la evapotranspiración potencial entregada por una estación meteorológica del huerto y se estableció una relación entre la evapotranspiración potencial acumulada y el potencial xilemático de la planta.

iv) Impacto sobre el potencial hídrico foliar en cultivos

Se realizó una aplicación homogénea en la zona de raíces de 3 dosis de producto PAK (1, 2 y 3 g/kg de suelo) en suelos preparados para la plantación de maíz, tomate, cebolla y zapallo italiano. Se efectuaron diferentes manejos de riego de acuerdo a la demanda hídrica calculada y se realizaron mediciones periodos de la condición hídrica de las plantas evaluando el potencial xilemático de las plantas centrales de cada tratamiento durante una temporada, utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003). Los manejos de riego se realizaron reponiendo el 100, 50 y 25% de la demanda en cada riego y un tratamiento blanco sin producto por cada manejo.

Paralelamente se realizó un ensayo en macetas en condiciones controladas de riego en plantas de cada especie con los mismos tratamientos.

Se evaluó dos métodos de aplicación del PAK en cultivo de tomates: mezcla por medio de un moto-cultivador y aplicado directamente en el hoyo de plantación. Las metodologías se contrastaron con un tratamiento blanco con el paso de maquinaria pero sin aplicación de producto y otro con el manejo habitual del campo.

Se realizaron aplicación en superficie de 2 g de producto por litro de suelo (considerando 20 cm de penetración de la maquinaria). Posteriormente se preparó la superficie con un

moto-cultivador. El ancho de los ensayos es el ancho de una hilera y cada tratamiento tuvo 6 metros de largo.

Las plantas tuvieron el manejo habitual del campo hasta floración, donde se realizó un riego abundante y se suspendió el riego de los tratamientos hasta que la marchitez de las plantas fuese evidente a la vista. Se evaluó periódicamente el potencial hídrico foliar y se consideró como marchitez del tratamiento cuando el 50% de las plantas del área de cada tratamiento se encuentren con síntomas de marchitamiento. Para el seguimiento de la condición hídrica, se tomaron muestras de 4 de individuos por tratamiento y se evaluó el potencial xilemático de estos utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003).

v) Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en el periodo de máxima demanda con aplicación de PAK

Se evaluó el impacto del producto PAK en huertos establecidos de kiwi, vid de mesa, ciruelo y tomates, ubicados en diferentes zonas de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. Luego de incorporar el producto al suelo a comienzos de la temporada, se siguió con sus manejos habituales durante al menos 2 meses para que ocurriera una recolonización de las raíces en las zonas disturbadas, realizando semanalmente un seguimiento de la condición hídrica de los cultivos.

La metodología para evaluar la condición hídrica del cultivo fue utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003). Se consideraron dos tratamientos; uno sin aplicación de PAK y otro con una aplicación de 2 g de PAK por kg de suelo, considerando un volumen de suelo igual al marco de plantación por un metro de profundidad en el caso de frutales y de 20 cm de profundidad para el caso de los tomates. En cada evaluación y en cada caso se seleccionaron 3 plantas de cada tratamiento y en cada una se tomaron 2 muestras.

Los periodos de evaluación variaron de 4 a 12 semanas consecutivas, siempre coincidiendo que el inicio fuese entre los meses de enero o febrero.

Paralelamente se realizaron ensayos del efecto del PAK sobre la viabilidad y supervivencia de especies frutales en viveros, aplicando diferentes dosis de producto (0, 1, 2 y 3 g de PAK por kilogramo de suelo) a los suelos que se utilizaban para la formación de estacas. Posteriormente, se evaluó la tasa de mortalidad de las estacas tratadas con el producto en un manejo habitual de vivero.

vi) Impacto sobre aplicación de Nitrógeno y Potasio

Se instalaron ensayos en tubos de PVC de 200 mm de diámetro y 80 cm de largo, se realizaron aplicaciones diferenciadas de 2 dosis de PAK (2 y 4 g L⁻¹ de suelo) en un suelo franco arenoso y se aplicaron las mismas dosis de fertilizante a cada tratamiento.

Se montaron los tubos de PVC con una tapa con perforaciones en uno de los extremos. Se llenaron los tubos con suelo hasta los 45 cm, luego se realizó una mezcla homogénea de suelo con cada dosis de producto y se añadió 30 cm más de suelo con PAK dentro de los tubos. Además se dejaron tubos "blanco" con 75 cm de suelo sin aplicación de producto.

Los riegos se calcularon de acuerdo a las propiedades físicas del suelo, aplicando el equivalente al 30% de la humedad aprovechable considerando 1 metro de profundidad de suelo. Se regó cada una semana con un total de ocho riegos, las aplicaciones de fertilizante se dosificaron en cuatro riegos, existiendo siempre un riego sin fertilizante luego de la aplicación.

Finalmente se realizó una extracción de muestras de suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad, las que fueron analizadas en laboratorio. Se evaluó la profundización de las aplicaciones durante el periodo de riego.

vii) Evaluación del impacto del PAK en la densidad aparente del suelo en una temporada y la variación en la retención de agua en el tiempo.

Se aplicaron tratamientos en huertos con cultivos de olivo, ciruelo, vid de mesa y kiwi, aplicando 0, 1, 2 y 3g de producto por kg de suelo. La aplicación se hizo considerando 1 metro de profundización de raíces.

Se aplicaron tratamientos en maceta con cultivos de olivo, ciruelo y vid de mesa, aplicando 0, 1, 2 y 3g de producto por kg de suelo. La aplicación del producto al suelo se hizo mezclando el total del suelo por maceta con la dosis correspondiente con tres suelos de clases texturas diferentes franco arenoso, franco y franco arcilloso.

Paralelamente se evaluó el impacto que tiene durante una temporada el proceso de humectación y secado del PAK en la densidad aparente de dos suelos de clases texturales contrastantes utilizando un cultivo de gramíneas en macetas de manera de facilitar los procesos de humectación y desecación del suelo durante la temporada. Las macetas se contenían suelo franco arenoso (Fa) y franco arcilloso (FA) con 0, 1, 2 y 3g de producto por kg de suelo.

Además se realizaron mediciones para detectar variaciones en la capacidad de campo de los suelos durante la temporada, que puedan asociarse a una merma en la capacidad de retención del producto PAK en el tiempo, y si existe un cambio en el tamaño de distribución de poros (Sandoval *et al.*, 2012). Las macetas sembradas con gramínea se regaron libremente hasta que se encontraron completamente cubierta y el cultivo alcanzo 10 a 15 cm de altura, luego se realizo un riego abundante y 24 horas después se peso cada maceta.

El cultivo se mantuvo a una altura constante de 10 a 15 cm durante toda la temporada, desechando la biomasa cortada. Se registro el peso de las macetas después de 24 horas de cada riego y se realizo un nuevo riego una vez que se perdía un 10% de este peso.

Al finalizar la temporada se realizaron pruebas de densidad aparente por cilindro (Blake y Hartge, 1986) a los tratamientos y se cuantificó el total de biomasa húmeda en la maceta (raíces y parte aérea).

viii) Efecto del PAK en la salinidad y lavado de sales del suelo

En macetas y tubos de lixiviación de 1 metro de altura se realizaron pruebas de acumulación de sales en dos suelos de clases texturales contrastantes (Fa y FA) con dos dosis de PAK y aplicación de riegos con agua en dos condiciones de conductividad eléctrica (CE).

Se realizaron pruebas con aplicación de PAK de 2 y 4 g por kg de suelo y sin aplicación de producto. Se homogenizaron las muestras de suelo y se aplicaron riegos con agua a 2 y 10 dS/m de CE, la CE del agua se reguló con aplicación de Nitrato de Potasio, los riegos con nitrato de potasio consistieron en aplicar el volumen de agua equivalente al 50% de la humedad aprovechable, 24 horas después del riego se realizó un lavado con agua destilada aplicando el 100% de la humedad aprovechable y se dejó drenar libremente por 48 horas. Este proceso fue repetido 10 veces.

Luego de las 10 aplicaciones de riego se realizaron sondeos de la CE con equipos GS3 en diferentes profundidades y se tomaron muestras de suelo que se analizaron por el método de pasta de saturación.

ix) Isotherma de adsorción del PAK para un nematocida y herbicida suelo activo

Para evaluar la posible adsorción y retención de agroquímicos por parte del PAK, en dos suelos de clase textural contrastante se realizaron pruebas de isoterma de adsorción, adaptando el procedimiento descrito por Cartón *et al.* (1997).

Se evaluó la condición de pruebas blanco, con 2 y 4 g de PAK por kg de suelo. Además se realizó una prueba con producto PAK solo, aplicando 0,5 g de PAK a una solución de concentración conocida de nematocida y herbicida. La relación de suelo/solución será de 2 g de suelo por 50 cm³ de solución.

Las muestras se agitaron de manera continua y se extrajo una alícuota de 1 cm³ del sobrenadante a las 24, 48 y 72 horas de agitación. Para cuantificar la concentración de las muestras se utilizará un HPLC, previamente calibrado para cada producto en específico (curva de calibración).

II. Principales problemas metodológicos enfrentados

i) Características del producto

La característica del PAK de formar un gel y aumentar su volumen generó problemas en las metodologías inicialmente propuestas para algunas evaluaciones. Se observó que al generar un gel en el suelo algunos instrumentos de medición de humedad del suelo como los GS3 y Diviner entregaban datos erráticos, ya que se formaban acumulaciones de producto PAK que el equipo no interpretaba de manera adecuada. Esta misma

característica generaba que dependiendo de la zona donde se midiera el suelo tenía resistencias a la penetración y velocidades de infiltración muy dispares, lo que hizo llegar a la conclusión que esa evaluación poseía un rango de error demasiado grande para ser considerada.

Además, la característica de variar su volumen dependiendo del contenido de agua generó inconveniente al momento de implementar metodologías estandarizadas de obtención de densidad aparente por el método del cilindro, conductividad eléctrica por el método de la pasta de saturación, porosidad total, etc. Ya que el producto presentaba variaciones en el volumen de la muestra al momento de realizar estas determinaciones y se degradaba al ser secado a estufa a 105°C.

ii) Numero de ensayos

Al momento de presentar la propuesta se planteó un número de ensayos y tratamientos que debieron ser corroborados inicialmente en laboratorio, esto llevó a varios problemas a la hora de planificar la logística y el análisis de resultados. Ya que inicialmente el número de cultivos a evaluar y el número de tratamientos por cultivo era muy elevado y no se tenía una experiencia previa que permitiera adaptar las diferentes situaciones al momento e ir obteniendo resultados.

III. Adaptaciones a la metodología original

i) Número de especies y ensayos

Originalmente se había planteado un número muy elevado de cultivos a evaluar, lo que generó muchos problemas al momento de implementar los ensayos. Esto se subsanó disminuyendo el número de ensayos. La justificación de esto es que el producto debe tener un comportamiento que afecte las características físicas del suelo y la disponibilidad de agua en este y no siendo directamente dependiente de la especie que se encuentre plantada en el lugar.

ii) Características del producto

Se decidió evaluar la retención de agua en el suelo de manera directa en laboratorio, cuantificando las variaciones de volumen y generando adaptaciones a la metodología que permitieran obtener resultados comparables entre tratamientos, asumiendo que el volumen real de la muestra es cuando el producto se encuentra 100% hidratado.

Se realizaron mediciones de todas las características físicas del producto solo, para evaluar y corregir comparativamente su impacto sobre el suelo (densidad aparente, curva característica, variación volumen/humectación, etc.).

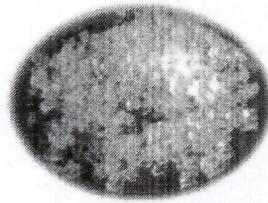
Anexo 2. Ficha técnica

1



FICHA TÉCNICA POLIACRILATO DE POTASIO (PAK)

La siguiente ficha técnica es generada por el grupo de estudio del agua (GEA) en el marco del proyecto financiado por FIA "Riego sólido como alternativa al problema de la sequía y cambio climático en predios de frutales, hortalizas y cereales de la región de O'Higgins" y está formulada para que pueda ser utilizada por todas las entidades relacionadas a la agronomía. Las recomendaciones y resultados presentados aquí son generados por medio de rigurosos ensayos en laboratorio.



CARACTERÍSTICAS Y USOS GENERALES

El PAK es un polímero súper-absorbente o hidrogel y su composición es:

Poliacrilato de potasio 93%

Humedad 6'93%

Densidad aparente 700 g/l

Capacidad de absorción de agua: hasta 500 veces su peso.

Este producto ha sido probado en el mundo como una alternativa al uso eficiente del agua con el fin de aumentar los intervalos de riego, servir como un buffer en caso de sequías severas y la mejora



Curvas Características

Las curvas características relacionan el contenido de agua con la tensión a la cual esta retenida el agua en los poros del suelo.

Ecuaciones Curvas Características

Existen muchas ecuaciones para describir la relación entre el contenido de agua y la tensión en el suelo. La más utilizada es la de van Genuchten-Mualem.

Ec. van Genuchten

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{1}{1 + (\alpha|h|)^n} \right)^m$$

Donde: θ_r es el contenido de agua residual.

θ_s es el contenido de agua a saturación

α , n y m son parámetros de ajustes

h es la tensión del suelo

Ejemplo de Cálculo

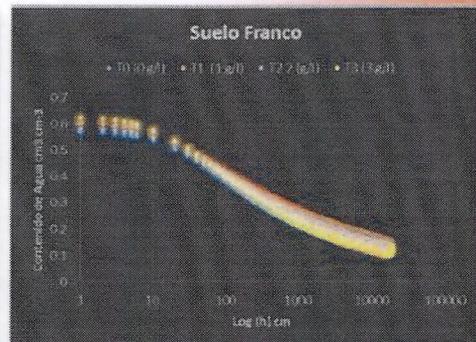
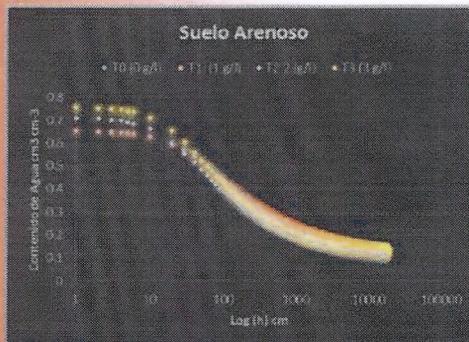
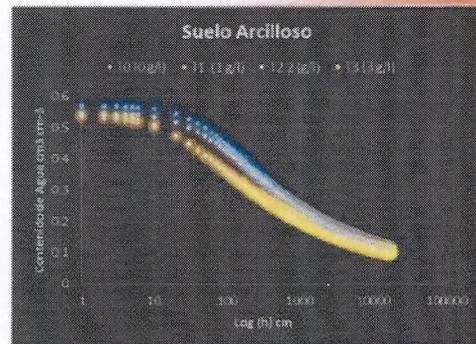
Por medio de esta ficha técnica Ud. dispondrá de los parámetros de ajuste de la ecuación de van Genuchten tales como: θ_r , θ_s , α , n y m . Si ocupamos los valores para arena con 0 g/l de PAK tenemos $\theta_r = 0.09$, un $\theta_s = 0.47$, $\alpha = 0.02$, $n = 1.45$ y $m = 0.31$. Al reemplazar los valores en la ecuación de van Genuchten directamente para una tensión de 0 cm debería dar un contenido de agua volumétrico de 0.651; a una tensión de 1000 cm debería dar un contenido volumétrico de agua de 0.224. Estos valores de tensión generados se pueden comparar con valores de tensiómetros instalados en el campo para un posterior manejo del riego.

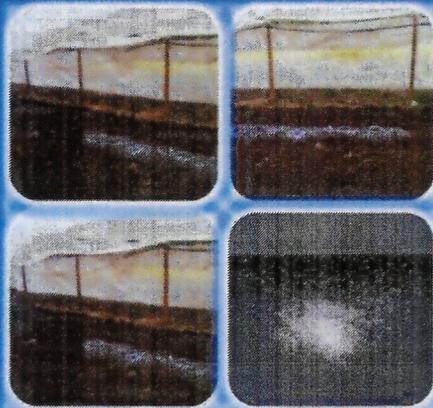


Parámetros Curva Característica

En la tabla se presentan los parámetros de la curva de van Genuchten-Mualem (θ_r , θ_s , α y n) para 4 dosis de PAK y 3 condiciones de suelo.

| Textura | PAK | θ_r | θ_s | α | n | m |
|-----------|-------|------------|------------|----------|------|------|
| Arenoso | 0 g/l | 0.09 | 0.47 | 0.02 | 1.45 | 0.31 |
| Arenoso | 1 g/l | 0.08 | 0.49 | 0.03 | 1.41 | 0.29 |
| Arenoso | 2 g/l | 0.08 | 0.54 | 0.04 | 1.46 | 0.31 |
| Arenoso | 3 g/l | 0.11 | 0.54 | 0.04 | 1.50 | 0.33 |
| Franco | 0 g/l | 0.00 | 0.57 | 0.05 | 1.24 | 0.19 |
| Franco | 1 g/l | 0.00 | 0.61 | 0.05 | 1.22 | 0.18 |
| Franco | 2 g/l | 0.00 | 0.59 | 0.05 | 1.22 | 0.18 |
| Franco | 3 g/l | 0.00 | 0.63 | 0.06 | 1.24 | 0.19 |
| Arcilloso | 0 g/l | 0.00 | 0.57 | 0.02 | 1.31 | 0.24 |
| Arcilloso | 1 g/l | 0.00 | 0.53 | 0.04 | 1.25 | 0.20 |
| Arcilloso | 2 g/l | 0.00 | 0.55 | 0.02 | 1.28 | 0.22 |
| Arcilloso | 3 g/l | 0.00 | 0.55 | 0.05 | 1.25 | 0.20 |





El PAK presenta una tendencia a aumentar en todas las texturas los PDL, PDR, h_{sat} y h_a. Sin embargo, esta tendencia no tiene diferencias estadísticamente significativas ()*

Características Físicas

Los poros de drenaje rápido (PDR), los poros de drenaje lento (PDL), la densidad aparente (da), altura de agua a saturación (h_{sat}) y altura de agua aprovechable (h_a) nos dan indicios del movimiento y retención de agua por el suelo.

| | Arenoso | | | | Franco | | | | Arcilloso | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | 0 g/l | 1 g/l | 2 g/l | 3 g/l | 0 g/l | 1 g/l | 2 g/l | 3 g/l | 0 g/l | 1 g/l | 2 g/l | 3 g/l |
| PDL | 13.2% | 13.2% | 14.1% | 13.6% | 7.4% | 10.9% | 9.7% | 10.1% | 9.9% | 9.9% | 11.4% | 11.3% |
| PDR | 10.3% | 10.6% | 17.3% | 17.3% | 16.3% | 15.3% | 15.2% | 18.9% | 11.8% | 13.7% | 10.1% | 15.0% |
| h _a (vol) | 11.9% | 11.6% | 10.2% | 10.2% | 20.9% | 20.3% | 16.4% | 22.6% | 25.7% | 18.0% | 22.3% | 16.5% |
| h _{sat} (vol) | 23.5% | 23.8% | 31.4% | 30.9% | 23.7% | 26.2% | 24.8% | 29.0% | 21.8% | 23.6% | 21.5% | 26.3% |

(*) A los datos presentes en el cuadro se les realizó un Análisis de varianza con un diseño completamente aleatorizado, donde se realizó un test de Tukey para observar diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 95%. En el ensayo se buscó ver el efecto de la aplicación de PAK en las propiedades físicas de suelo tales como PDL, PDR, h_a y h_{sat}. El ensayo dió como resultado que no existen diferencias significativas para los PDL, PDR, h_a y h_{sat} al aplicar PAK en ninguna textura de suelo.



Agua para la Planta

Cada especie tiene un rango de tensiones de suelo donde la transpiración ocurre de manera óptima. Bajo este contexto el PAK aumenta el contenido de agua entre estas tensiones para tomate, vid, olivo, alfalfa, maíz y vid, en suelos arenosos y francos. En suelos arcillosos el cambio es negativo, es decir el PAK disminuye la retención de agua



Agua para la Planta

Almacenar agua en el suelo es una técnica que realizan muchos agricultores denominándola "barbecho". El PAK logra aumentar el almacenamiento de agua en tomate, olivo, alfalfa y vid para suelos arenosos y francos. El almacenamiento de agua fue calculado entre capacidad de campo y la tensión umbral para máxima transpiración. Para maíz no sirve debido a que su tensión a máxima transpiración está bajo capacidad de campo

Los días de sobrevida son la cantidad de días de transpiración a máxima tasa que permite la aplicación de PAK con respecto a un suelo sin PAK

| Días de sobrevida con aplicación de PAK | | | | | | |
|---|------------------------|--------|-----------|------------------------|--------|-----------|
| ETO | 4 mm día ⁻¹ | | | 7 mm día ⁻¹ | | |
| Especie | arenoso | franco | arcilloso | arenoso | franco | arcilloso |
| vid | (-) | 0.4 | (-) | (-) | 0.2 | (-) |
| maíz | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) |
| alfalfa | (-) | 0.5 | (-) | (-) | 0.3 | (-) |
| olivo | 0.2 | 1.0 | (-) | 0.1 | 0.5 | (-) |
| tomate | (-) | 0.3 | (-) | (-) | 0.1 | (-) |

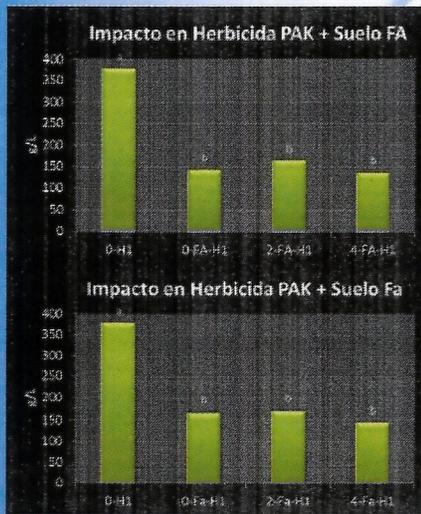
(*) Los días de sobrevida para las especies fueron calculados con una aplicación de 3 gramos por litro de suelo de PAK (a excepción del olivo en arena que fue con una aplicación de 1 g/l) a una profundidad de 60 cm. Los kc de las especies fueron extraídas de Allen (2006) y los límites de tensión para una evapotranspiración potencial de cada especie se extrajeron de Šimůnek et al., (2013)



[Características Químicas]

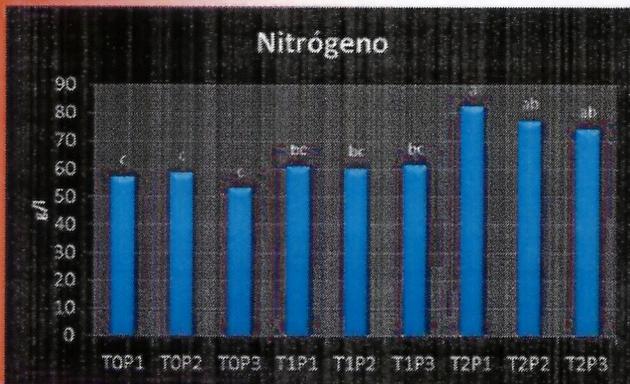
Las características químicas son importantes para saber la interacción entre el suelo y los fertilizantes o pesticidas. Debido a esto se realizaron ensayos con dos suelos contrastantes, franco arcilloso (FA) y franco arenoso (Fa) y dos concentraciones de PAK a 2 y 4 gramos por litro de suelo para un nematocida (N1) y un herbicida comercial (H1). Los ensayos fueron: producto químico sin PAK y suelo, otro con el suelo mas el producto químico y el ultimo ensayo con suelo mas PAK mas el producto químico.

El PAK adsorbe nematocida tanto en suelo franco arenoso como franco arcilloso para concentraciones de 2 y 4 g/l. Con respecto al herbicida no se observa adsorción en ninguna

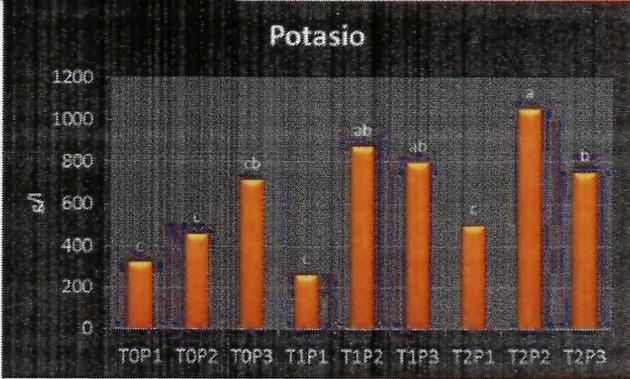




El PAK no adsorbe nitrógeno ni potasio en ninguna condición de suelo. Sin embargo disminuye su lixiviación aumentando la concentración de ellos en los primeros 30 cm de suelo.



T0 = sin PAK
 T1 = 2g/l de PAK
 T2 = 4g/l de PAK
 P1, P2 y P3 son repeticiones.





geA  **GRUPO DE ESTUDIOS DEL AGUA**
UNIVERSIDAD DE CHILE



AGRADECIMIENTOS

El grupo de estudio del agua (GEA) de la Universidad de Chile, agradece a todos los productores que participaron activamente en el proyecto, y a FIA por apoyar la iniciativa durante el transcurso del proyecto. Este proyecto pudo ser realizado gracias al financiamiento del Gobierno de Chile por medio del concurso FIA.

Anexo 3. Posters

"64° Congreso Sociedad Agronómica de Chile", Viña del Mar.
23 al 26 de Septiembre de 2013



METODOLOGÍA DEL USO DE POLIACRILATO DE POTASIO (PAK) COMO ALTERNATIVA PARA ENFRENTAR ESCASEZ HÍDRICA EN LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA Y FRUTAL DE LA REGIÓN DE O'HIGGINS.



Haberland, J., Kremer, C., Rudolffi, Y., Sandoval, G.¹, Candia, R.² y Benavente, M.
Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas

INTRODUCCIÓN

Ante la escasez hídrica que enfrenta la agricultura, se han desarrollado distintas técnicas de manejo con el fin de aumentar la eficiencia en el uso del agua. Una alternativa poco estudiada en Chile, es la utilización de polímeros hidrofílicos de origen sintético utilizados ampliamente en la industria, pero con poco desarrollo a nivel agrícola. En el marco del proyecto PAK (FIA PYT 2012-0214) se determinará la efectividad y forma de uso apropiada del polímero Poliácrlato de Potasio, mediante la aplicación al suelo del producto comercial AQUASORB.

LUGAR DE ESTUDIO

Los ensayos se llevan a cabo en la Región de O'Higgins, en las comunas de Quinta de Tilcoco, Malloa, Lolol y San Francisco de Mostazal; y en dependencias de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana.

METODOLOGÍA

Ensayo 1. Consiste en aplicar distintas dosis de PAK, (0, 1, 2 y 3 kg m⁻³) al suelo, en asociación con plantas de vid, kiwi, ciruelo, olivo, tomate, cebolla, maíz y trigo. El ensayo se realiza de forma paralela en huertos establecidos en condición de suelo franco arcilloso y franco arenoso; y en aplicación en macetas de 100 litros con tres tipos de suelo diferentes, franco, franco arcilloso y franco arenoso. La efectividad de este producto se evaluará en base a las diferencias que otorgue al suelo, y los beneficios en el desarrollo y producción de las especies. Las evaluaciones de suelo serán en base a parámetros físicos (densidad aparente, resistencia a la penetración, curva característica y velocidad de infiltración) medidos durante una temporada de desarrollo de las distintas especies. En planta se medirá el potencial hídrico xilemático, como parámetro fisiológico del estado hídrico y además se determinará la fecha en que se registra cada estado fenológico, así como la producción.

Ensayo 2. Se realizará con estacas de vid y consiste en aplicar las mismas dosis de PAK indicadas en el ensayo 1, en mezcla con sustrato en macetas, y en aplicación al suelo en plantas bajo cubierta de mulch. Las evaluaciones en este ensayo consideran: Porcentaje de prendimiento de plantas, largo de raíz, número de hojas, altura de planta, número de brotes, sobrevivencia al trasplante (evaluada a 30 días y un año después del trasplante), diámetro de tronco, peso fresco y seco de plantas, peso de parte aérea y peso de raíces.

Ensayo 3. Consiste en aplicar PAK a una dosis única, versus un testigo y probar 3 dosis de fertilización, para determinar el efecto del polímero en la eficiencia del uso de fertilizantes.



RESULTADOS ESPERADOS



Se espera que el producto mejore la capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes en el suelo, incremente el aireamiento y se reduzca la resistencia mecánica, lo que facilitaría al desarrollo radical.

En su utilización en vivero se espera que aumente la tasa de prendimiento de plantas y se reduzca tasa de mortalidad al trasplante.

Esta investigación se realiza en el marco del Proyecto FIA PYT - 2012-0214



"65° Congreso Sociedad Agronómica de Chile"
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
27 al 29 de Octubre de 2014

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE DISTINTAS DOSIS DE POLIACRILATO DE POTASIO (PAK) EN LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO



Cristian Kremer^{1,2}, Julio Haberland^{1,2}, Giannina Sandoval^{1,2}, Diego Márquez^{1,2}, Gustavo Alfaro¹, Catalina Schmidt¹, Mario Soto¹ y Lorna Vega¹.

¹ Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

La Pintana, Santiago.

² Grupo de Estudios del Agua-GEA- Universidad de Chile

RESUMEN

El poliacrilato de potasio (PAK) es un polímero que incorporado al suelo mejora la capacidad de retención de agua, sin embargo se desconoce su comportamiento en distintas condiciones de suelo, con objetivo de responder a esa interrogante se probaron 3 dosis de PAK en suelos con distinta clase textural; franco, arcilloso y arenoso. Los tratamientos aplicados fueron: T0 sin aplicación; T1: 1 kg·m⁻³; T2: 2 kg·m⁻³ (dosis recomendada) y T3: 3 kg·m⁻³, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se determinó el efecto de las dosis de PAK en la retención de agua del suelo, mediante curvas características y el impacto sobre el potencial hídrico xilemático (ψ_x). Al comparar las curvas características de suelo de los distintos tratamientos se encontró que en suelos de textura fina no se aprecia diferencia entre los tratamientos, en tanto que en suelos de textura media a gruesa existe diferencia desde la menor dosis aplicada. El efecto de las distintas dosis de PAK en el ψ_x fue distinto según la clase textural; en suelo arenoso, todos los tratamientos con aplicación de PAK generaron respuesta distinta al T0, sin presentar diferencias significativas entre sí ($\alpha=0,05$). En suelo arcilloso el T2 presentó la mejor respuesta de ψ_x , mientras que T1 y T3 no presentaron diferencias después del sexto día desde el riego. Finalmente en suelo franco no se aprecian diferencias significativas en el ψ_x según los distintos tratamientos. Por tanto la aplicación de PAK resulta más efectiva en suelos de textura gruesa, mejorando la capacidad de retención de agua y con ésto una mejor respuesta del estado hídrico de las plantas en ausencia de riego.

LUGAR DE ESTUDIO

Los ensayos se llevaron a cabo en la Región de O'Higgins, en las comunas de Quinta de Tilcoco, Malloa, Lolol y San Francisco de Mostazal; y en dependencias de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Región Metropolitana.

RESULTADOS

Se ha logrado establecer un aumento de un 12 a 30% más en la capacidad de retención de agua en suelos de texturas gruesas (Figura 1).

En las figuras 2 y 3 se aprecia que aplicaciones de PAK al suelo generan potenciales xilemáticos de magnitud menor a los presentes en tratamientos testigos en plantas de ciruelo.

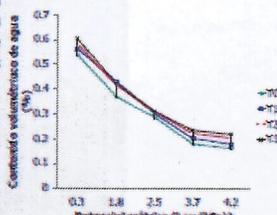


Figura 1. Curva característica de suelo franco arenoso con distintos tratamientos aplicados.

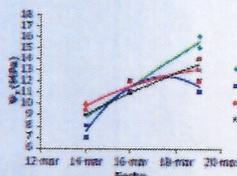


Figura 2. Potencial xilemático (ψ_x) de ciruelos 'Santa Rosa' en suelo franco arenoso con distintas dosis de PAK.

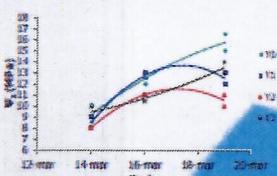


Figura 3. Potencial xilemático (ψ_x) en ciruelos 'Santa Rosa' en suelo franco arcilloso con distintas dosis de PAK.

Se comprobó que el producto mejora las condiciones de retención de agua en el suelo, un aumento en la porosidad y una consecuente disminución de la densidad aparente del suelo (Figura 4).

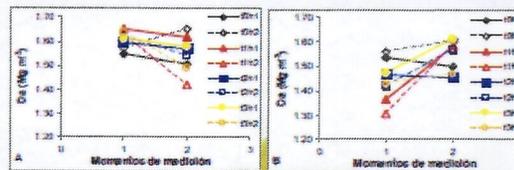


Figura 4. Densidad aparente en suelo franco arenoso (izquierda) y franco arcilloso (derecha), después de uno y seis meses de aplicado el producto.

CONCLUSIONES

El PAK aplicado en suelos de clases texturales gruesas es capaz de generar un aumento estadísticamente significativo en la capacidad de almacenamiento de agua total, lo que se traduce en un mayor periodo de abastecimiento y un retraso en la condición de estrés hídrico de plantas en comparación al testigo, bajo las condiciones estudiadas.

En dosis superiores a 2 g de PAK por m³ de suelo, existe un aumento en la porosidad total en el suelo y una consecuente disminución en la densidad aparente luego de 6 meses de la aplicación.

Esta investigación se realiza en el marco del Proyecto FIA PYT - 2012-0214 con financiamiento del Gobierno Regional de la Región de O'Higgins

Anexo 4. Publicación

Impacto de la aplicación de poliacrilato de potasio en propiedades físicas del suelo y su efecto sobre las plantas.

Resumen

Con el fin de conocer las características principales del producto Poliacrilato de Potasio (PAK) y saber cómo se comporta en medios agrícolas para ser usado como alternativa para mejorar la condición hídrica de los cultivos en condiciones de escases de agua, se sometieron algunas especies vegetales a un análisis de condición hídrica en periodos de máxima demanda atmosférica, para evaluar si es posible su uso como una alternativa de suministro de agua para las plantas. Además se evaluó la capacidad de retener agua y la capacidad de entregarla a diferentes tenciones, sometiendo suelos tratadas con el producto y al producto por si solo a la metodología habitual de generación de curva característica de suelo.

Se detectó que la capacidad de retención del producto PAK es variable y dependiente de la conductividad eléctrica (CE, salinidad) del agua con que sea hidratado, concluyéndose que mientras mayor sea la CE, menos es la capacidad de retención de agua del producto. El producto es capaz de aumentar significativamente la capacidad total de almacenamiento de agua en los suelos de clases texturales gruesas. A pesar de que el aumento en el contenido de agua es significativo, este no impacta de manera significativa el agua disponible para la planta en condiciones de manejo productivo de los cultivos evaluados. Con respecto a su efecto sobre la salinización y el lavado de sales en los suelos, se observó que al propiciar un ambiente de acumulación en superficie, provoca un paulatino aumento en la CE de los suelos al ser aplicados con fertilizantes salinos. De esta misma forma se observó que en condiciones de suelos salinos, el producto dificulta el lavado de sales en los suelos incluso al lavarlos con agua destilada.

Introducción

Una aplicación que está cobrando interés en el mundo agrícola es el empleo de hidrogeles poliméricos para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo el desarrollo de las plantas (Estrada et al., 2010). Sáez *et al.* (2003) definen los hidrogeles como materiales poliméricos entrecruzados en forma de red tridimensional, de origen natural o sintético, que en contacto con el agua aumentan su volumen, formando materiales blandos y elásticos, siendo capaces de retener una fracción significativa de agua en su estructura sin disolverse. Dependiendo de la hidrofilia de los polímeros constituyentes, estos son capaces de captar grandes cantidades de agua, manteniendo su estructura tridimensional (Luzardo *et al.*, 2002). Algunos hidrogeles pueden absorber hasta 200 o 300 veces su propio peso en agua (Gómez y Cádiz, 2011). Autores como Foster y Keever (1990) señalan que estos productos pueden absorber hasta 1000 veces su peso en agua, y que podrían disminuir las frecuencias de

riego y aumentar la capacidad de retención de nutrientes y agua en el perfil, ya que poseen la facultad de modificar las propiedades hidrofísicas del suelo, principalmente aumentando la retención de agua (Latinoamérica Unida Protegiendo sus Suelos, 2012). Esto permite un ahorro de agua de un 25 a 50%, dependiendo de las condiciones de suelo, clima y del vegetal (Soluciones medioambientales, 2012).

Experiencias realizadas en cultivos de cebada, garbanzo y trigo en un suelo franco y franco arenoso demostraron que la aplicación de un hidrogel generó un aumento en la humedad aprovechable del suelo, a diferencia de los tratamientos que no fueron tratados con el producto, y que además generó un aumento en el porcentaje de germinación del cultivo de garbanzo (Akhter *et al.*, 2004). En otros experimentos realizados en plántulas de pepinos se comprobó su eficiencia a la hora de disminuir la densidad aparente del suelo y estimular el crecimiento de raíces de las plántulas, y a su vez se determinó que la duración media del producto utilizado en este caso, fue de 5 años (Al-Harbi *et al.*, 1999).

Los buenos resultados han tenido por consecuencia que la industria fabrique diversos tipos de productos y soluciones apuntando a mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo en base a hidrogeles. Los más utilizados en agricultura, están compuestos en base de acrilamidas, químicamente inerte, transparente y estable en un intervalo amplio de pH y temperatura (Rojas *et al.*, 2006), y generalmente pueden encontrarse como acrilamidas de sodio o potasio. Uno de los más comúnmente utilizados es el poliacrilato de sodio (PAS), el cual es un polímero hidrófilo reticulado, que según diferentes estudios, con su uso se ha logrado aumentar con éxito el rendimiento de diversos cultivos, lo que ha promovido su uso como una enmienda de suelo en áreas con déficit hídrico (Baasiri *et al.*, 1986, Dhliwayo 1993, Azzam, 1983 citado por Gressing y Schmidhalter, 2004).

Los compuestos a base de potasio, son productos granulados que pueden retener hasta 500 veces su peso en agua y poseen una vida útil aproximada de siete años en terreno (Aquawarehouse, 2013), uno de los más utilizados es el poliacrilato de potasio (PAK), que es capaz de absorber agua durante un periodo de dos horas hasta alcanzar el 100% de su capacidad (Soluciones medioambientales, 2012). Cohelo *et al.*, (2008) trabajaron con este polímero, observando su efecto en las propiedades físicas e hídricas del suelo, encontrando mejorías en la capacidad retención de agua, registrando un aumento de 254 gramos por gramo de producto seco utilizando agua desionizada. Junto con lo anterior, observaron una disminución en la capacidad de retención del agua del polímero cuando existe presencia de sales. En otros estudios de aplicación de PAK en cultivos de maíz, se logró adelantar en dos días la emergencia del cultivo, además de encontrarse un aumento en la altura de la planta, el peso seco final y el ancho de hoja (El-Rehim *et al.*, 2004).

En Chile, el PAK como producto comercial recibe el nombre de AquaViva®, distribuido por ABEriego. Y en este estudio se desea evaluar la interacción de algunos productos fertilizantes de uso habitual en la agricultura y el impacto del PAK sobre las condiciones hídricas de las plantas en ambientes de cultivos comerciales y laboratorio. Esto para establecer si es viable su uso como una alternativa para enfrentar el problema de un posible déficit hídrico o de modificación de los manejos culturales asociados al riego.

Materiales y métodos

Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio

Se sometió el producto a soluciones de nitrato de potasio en agua, con conductividades eléctricas conocidas y se evaluó el agua efectivamente retenida por el producto bajo estas condiciones.

En 18 bolsas de tela de poliéster se introdujo 1 gramo de producto PAK a cada una y luego fueron selladas utilizando calor. Luego, en 18 recipientes de 2 litros de capacidad se llenaron de agua con 6 conductividades eléctricas conocidas (3 recipientes por conductividad), las conductividades eran de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 dS/m.

Posteriormente se introdujo 1 bolsa con PAK en cada recipiente y se dejó hidratar durante 24 horas, finalmente se extrajo la bolsa con el producto hidratado, se dejó drenar a la sombra durante 24 horas y se constató el peso del producto hidratado.

Impacto sobre la curva característica

Se realizó un análisis de las curvas características a suelos de clases texturales franco arenoso (Fa) y franco arcilloso (FA) sin producto y también a muestras de cada suelo con 2 dosis de PAK.

Para la evaluación del producto en suelos, se realizó una mezcla homogénea de cada suelo con dosis de 2 y 4 g de producto por litro de suelo, de cada una se extrajo 4 cilindros rasos de dimensiones conocidas, los que fueron pesados y sometidos a diferentes presiones siguiendo el método de obtención de curva característica por cilindro (Blake y Hartge, 1986).

Para obtener la curva característica del producto PAK, se dejó hidratar el PAK durante 24 horas sin limitantes de agua, luego se tomaron 3 muestras rasas con cilindros de dimensiones conocidas, las que fueron pesadas y luego sometidos a diferentes presiones por medio de una olla y plato de presión, siguiendo el mismo proceso que una curva característica por cilindro normal.

Impacto sobre el potencial hídrico foliar en uva de mesa

Se evaluaron dos métodos de aplicación de PAK en uva de mesa: la aplicación directamente bajo los goteros de la planta dentro de un hoyo hecho con barreno y la aplicación del producto en un surco directamente bajo la línea de goteo. Las metodologías se contrastaron con un tratamiento blanco sin aplicación de producto y otro con el manejo habitual del huerto.

Se tomaron cuatro plantas por tratamiento, la dosis aplicadas fueron de 2 g de producto por litro de suelo, considerando el volumen de suelo explorado por las raíces del árbol como 1 metro de profundidad por el largo de la entre hilera y el largo de la sobre hilera. La

aplicación del producto se realizó al comienzo de la temporada y se dejó que las raíces recolonizaran las zonas perturbadas con el manejo habitual del huerto.

Posteriormente durante el mes de enero se realizó un riego abundante de los tratamientos y se les corto el riego. Se verificó la condición hídrica de las plantas, evaluando el potencial xilemático de las plantas centrales de cada tratamiento cada 3-4 días durante un mes, utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003). Paralelamente se tomó registro de la evapotranspiración potencial entregada por una estación meteorológica del huerto y se estableció una relación entre la evapotranspiración potencial acumulada y el potencial xilemático de la planta.

Impacto sobre el potencial hídrico foliar en tomates

Se evaluó dos métodos de aplicación del PAK en cultivo de tomates: mezcla por medio de un moto-cultivador y aplicado directamente en el hoyo de plantación. Las metodologías se contrastaron con un tratamiento blanco con el paso de maquinaria pero sin aplicación de producto y otro con el manejo habitual del campo.

Se realizaron aplicación en superficie de 2 g de producto por litro de suelo (considerando 20 cm de penetración de la maquinaria). Posteriormente se preparó la superficie con un moto-cultivador. El ancho de los ensayos es el ancho de una hilera y cada tratamiento tuvo 6 metros de largo.

Las plantas tuvieron el manejo habitual del campo hasta floración, donde se realizó un riego abundante y se suspendió el riego de los tratamientos hasta que la marchites de las plantas fuese evidente a la vista. Se evaluó periódicamente el potencial hídrico foliar y se consideró como marchites del tratamiento cuando el 50% de las plantas del área de cada tratamiento se encuentren con síntomas de marchitamiento. Para el seguimiento de la condición hídrica, se tomaron muestras de 4 de individuos por tratamiento y se evaluó el potencial xilemático de estos utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003).

Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en el periodo de máxima demanda con aplicación de PAK

Se evaluó el impacto del producto PAK en huertos establecidos de kiwi, vid de mesa, ciruelo y tomates, ubicados en diferentes zonas de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. Luego de incorporar el producto al suelo a comienzos de la temporada, se siguió con sus manejos habituales durante al menos 2 meses para que ocurriera una recolonización de las raíces en las zonas disturbadas, realizando semanalmente un seguimiento de la condición hídrica de los cultivos.

La metodología para evaluar la condición hídrica del cultivo fue utilizando una cámara de presión de tipo Schollander, las muestras fueron tomadas a medio día en el momento de máxima demanda hídrica por parte de la atmósfera (García, 2008 y Shackel, 2003). Se consideraron dos tratamientos; uno sin aplicación de PAK y otro con una aplicación de 2 g de PAK por kg de suelo, considerando un volumen de suelo igual al marco de plantación por un metro de profundidad en el caso de frutales y de 20 cm de profundidad para el caso de los tomates. En cada evaluación y en cada caso se seleccionaron 3 plantas de cada tratamiento y en cada una se tomaron 2 muestras.

Los periodos de evaluación variaron de 4 a 12 semanas consecutivas, siempre coincidiendo que el inicio fuese entre los meses de enero o febrero.

Impacto sobre aplicación de Nitrógeno y Potasio

Se instalaron ensayos en tubos de PVC de 200 mm de diámetro y 80 cm de largo, se realizaron aplicaciones diferenciadas de 2 dosis de PAK (2 y 4 g L⁻¹ de suelo) en un suelo franco arenoso y se aplicaron las mismas dosis de fertilizante a cada tratamiento.

Se montaron los tubos de PVC con una tapa con perforaciones en uno de los extremos. Se llenaron los tubos con suelo hasta los 45 cm, luego se realizó una mezcla homogénea de suelo con cada dosis de producto y se añadió 30 cm más de suelo con PAK dentro de los tubos. Además se dejaron tubos "blanco" con 75 cm de suelo sin aplicación de producto.

Los riegos se calcularon de acuerdo a las propiedades físicas del suelo, aplicando el equivalente al 30% de la humedad aprovechable considerando 1 metro de profundidad de suelo. Se regó cada una semana con un total de ocho riegos, las aplicaciones de fertilizante se dosificaron en cuatro riegos, existiendo siempre un riego sin fertilizante luego de la aplicación.

Finalmente se realizó una extracción de muestras de suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad, las que fueron analizadas en laboratorio. Se evaluó la profundización de las aplicaciones durante el periodo de riego

Resultados

Capacidad de retención del Poliacrilato de Potasio

Se observó que el producto PAK varió su capacidad de retención de agua dependiendo de la concentración de sales que tuviera el medio con el cual se ha hidratado, tal como observó Cohelo *et al.* (2008), el cual realizó un trabajo con el mismo producto. En este estudio se obtuvo como resultado una disminución de aproximadamente un 2,5% de su capacidad máxima de retención (agua destilada) por cada unidad de salinidad en dS/m (Figura 1).

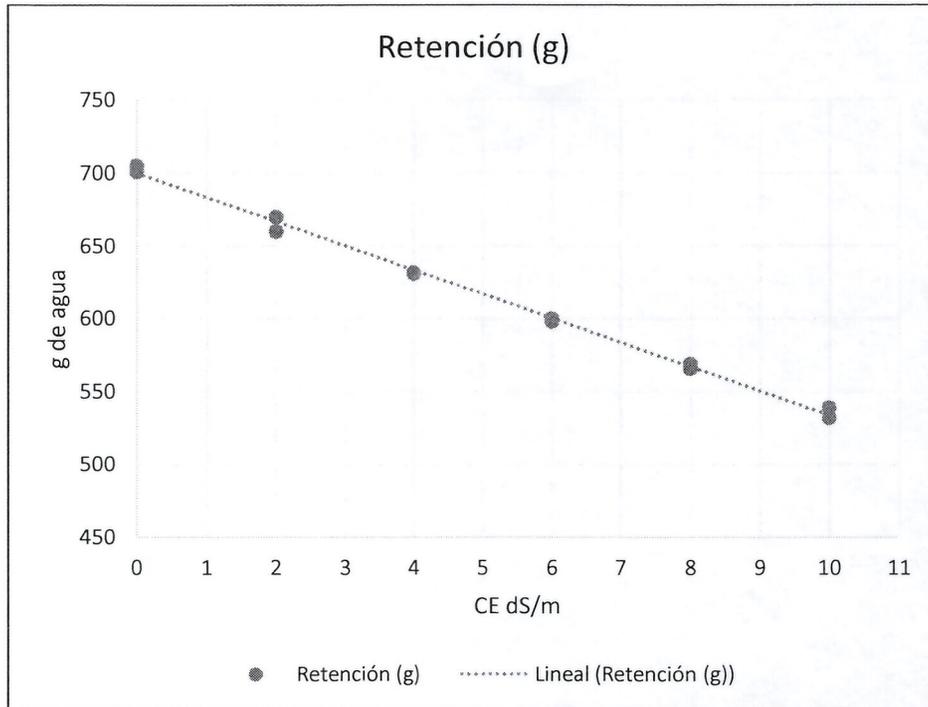


Figura 1. Relación de retención de agua de un gramo de PAK en relación a la salinidad del medio hidratante.

Impacto sobre la curva característica

Se observa en la figura 2, que existe un impacto sobre la retención mostrada por las curvas características en suelos de clases texturales gruesas, tal como evidenció Cohelo *et al.* (2008), generando un aumento en el contenido de agua total de las muestras de suelo respecto a un testigo sin producto, principalmente en entre las tensiones 1 a 100 cm. En el suelo franco también aumenta la retención total de agua, aun que de una manera menor a la observada en el suelo franco arenoso. Contrariamente en el suelo arcilloso, para todas las condiciones, disminuyó la retención del agua al aplicar PAK.

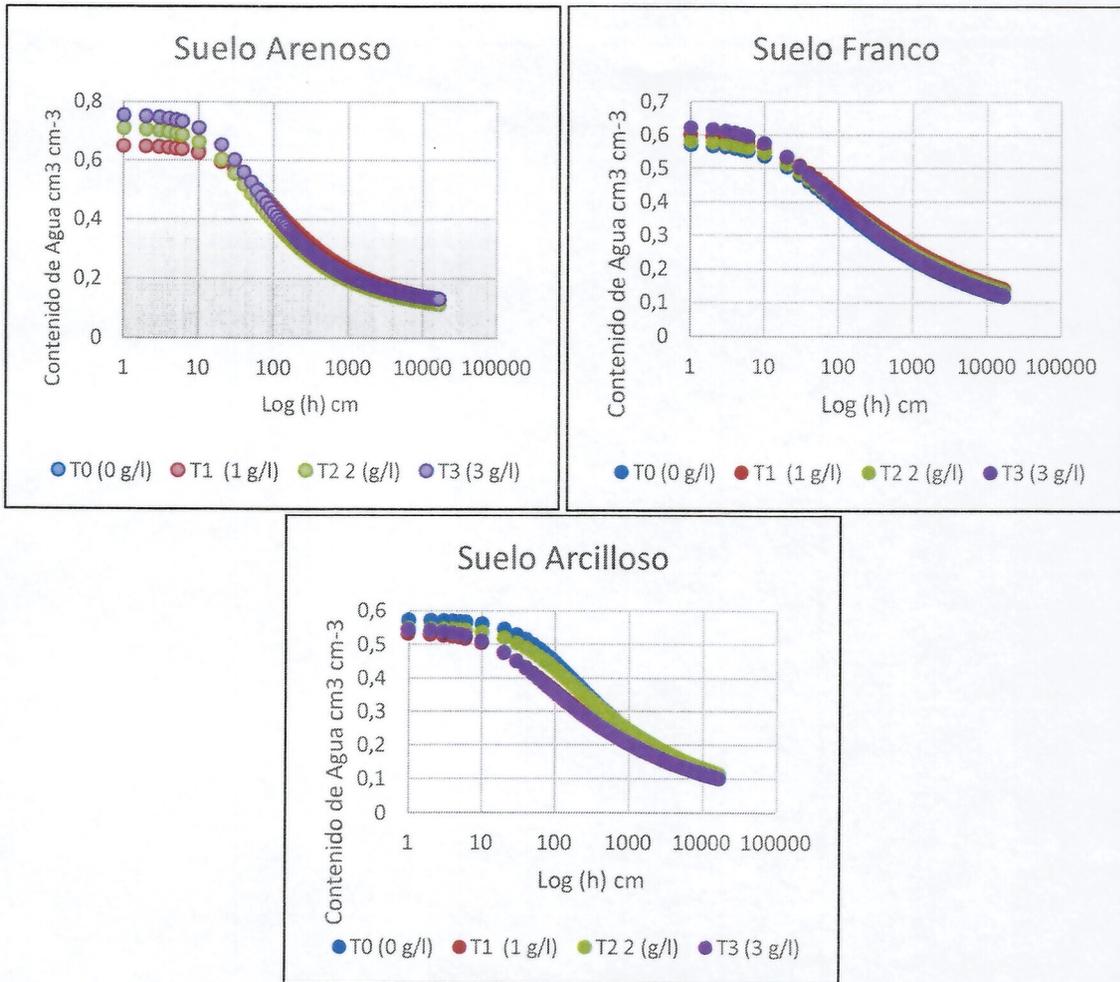


Figura 2. Curvas características en suelos de clase texturales contrastantes con diferentes dosis de PAK donde T0, T1, T2 y T3 son los distintos tratamientos con sus respectivas dosis de PAK.

Al realizar una evaluación del producto sin suelo, a diferentes tensiones, se observó que pasado el umbral de la capacidad de campo (33 kPa) se debe aplicar 400 kPa de presión o más al producto para que comience a liberar agua (Figura 3). Lo que explica en parte el impacto sobre la curva característica, junto con el bajo impacto sobre el contenido de agua disponible para las plantas en el suelo.

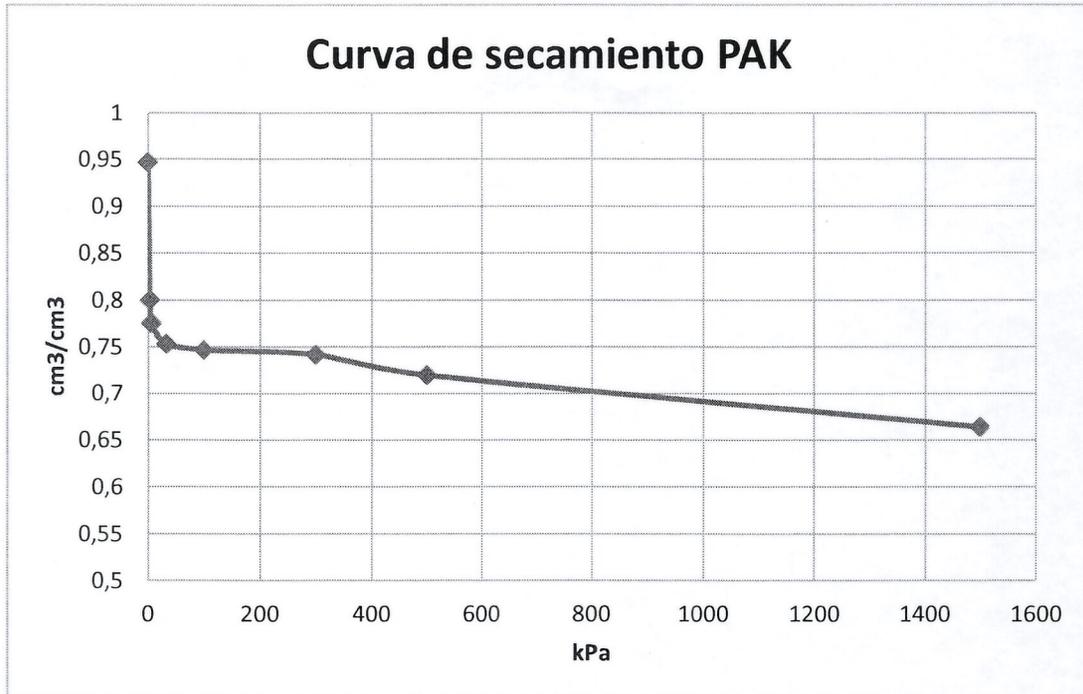


Figura 3. Curva de contenido de agua del producto PAK vs tensión en olla de platos de presión.

Impacto sobre aplicación de Nitrógeno

Luego de aplicar las dosis de fertilizante, se realizó un análisis del contenido de nitrógeno en los suelos a 20, 40 y 60 cm de profundidad (P1, P2 y P3). Se observó que existe una acumulación de nitrógeno en superficie en los suelos con producto PAK (Figura 4), y que a mayor dosis del producto, mayor es la acumulación en superficie con respecto al testigo.

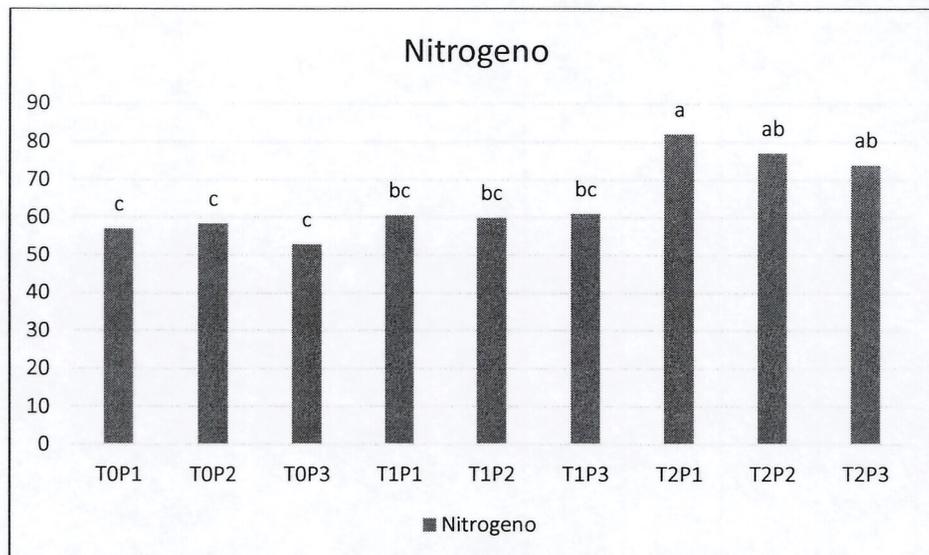


Figura 6. Contenido de nitrógeno en profundidad en suelos con aplicación de PAK en los primeros 30 cm (T0: testigo, T1: 2g/L y T2: 4 g/L).

Impacto sobre aplicación de Potasio

Luego de las aplicaciones de fertilizante, se realizó un análisis de contenido de potasio a 20, 40 y 60 cm de profundidad (P1, P2 y P3). Se observó que existe una acumulación de potasio en superficie en los suelos con producto PAK, y que a mayor dosis del producto, mayor es la acumulación en superficie con respecto al testigo (Figura 5). Se observó que el impacto sobre la lixiviación de potasio es mucho mayor que el impacto sobre el nitrógeno, este comportamiento es similar al observado por Foster y Keever (1990) que sugirieron esto como una forma de aumentar la capacidad de retención de nutrientes en la parte superior del perfil.

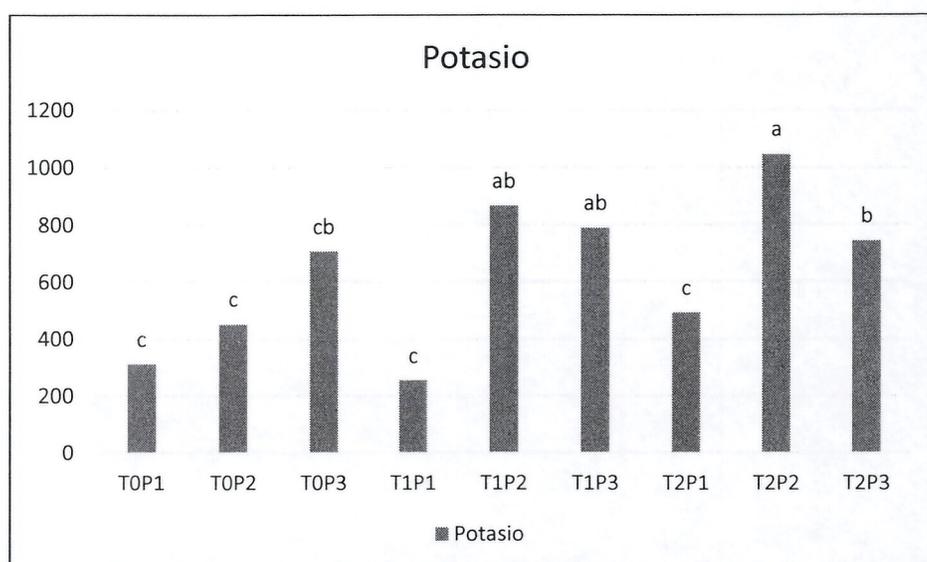


Figura 5. Contenido de potasio en profundidad en suelos con aplicación de PAK en los primeros 30 cm (T0: testigo, T1: 2g/L y T2: 4 g/L).

Impacto sobre el potencial hídrico foliar en uva de mesa

Se apreció que no existen diferencias entre los métodos de aplicación con respecto al testigo en el tiempo de la evaluación (figura 6). Esto pudo deberse a que el producto entrega el agua a tensiones muy altas y a que una planta establecida posee un sistema radical que ha explorado un gran volumen de suelo.

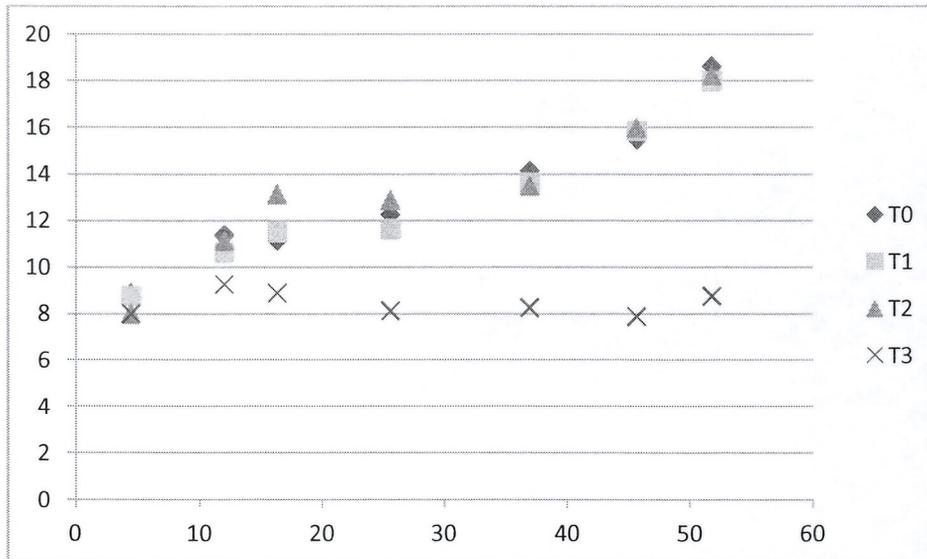


Figura 6. Potencial hídrico foliar versus la evapotranspiración de referencia acumulada. (T0: 0 g/kg; T1: Hoyo barreno; T2: Surco; T3: Manejo habitual)

Impacto sobre el potencial hídrico foliar en tomates

Se observó que no existen diferencias entre los métodos de aplicación, pero sí entre aplicar y no aplicar el producto PAK para un tiempo de evaluación de 30 días sin riego. Como se observa en la figura 7, el producto PAK generó un impacto sobre el potencial de base foliar casi al final del periodo evaluado, en esta etapa el cultivo se encontraba con claros síntomas de deshidratación y la fruta se encontraba con daños irreparables, se observa que el impacto del PAK ocurre en condiciones de estrés hídrico muy superiores a las del manejo habitual del huerto.

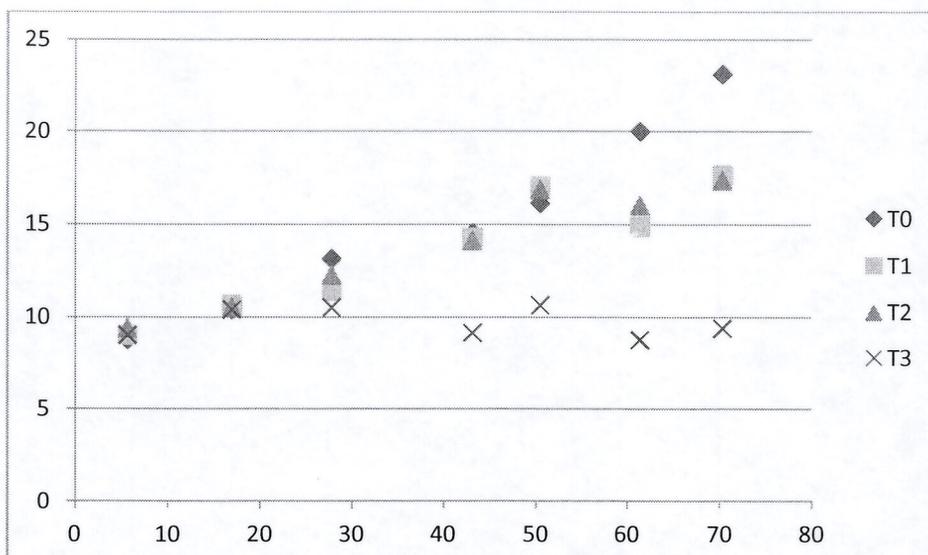
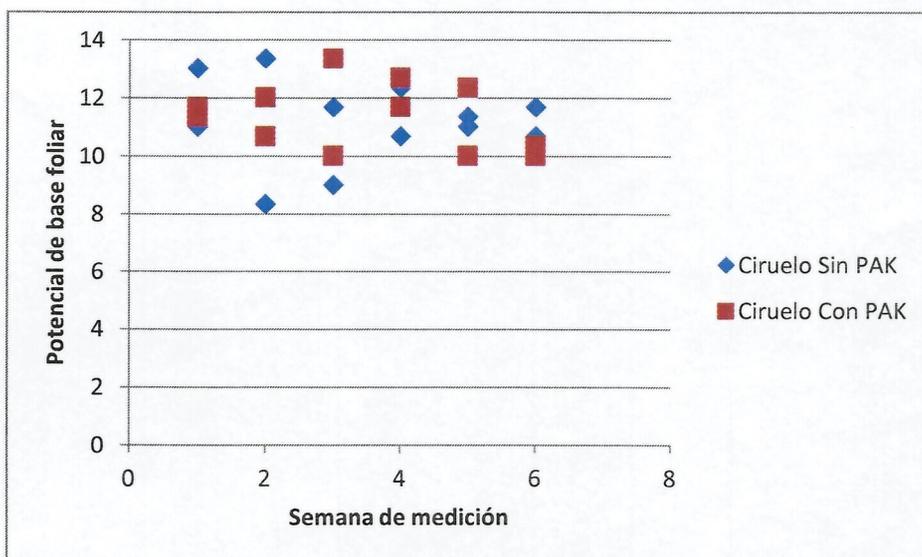
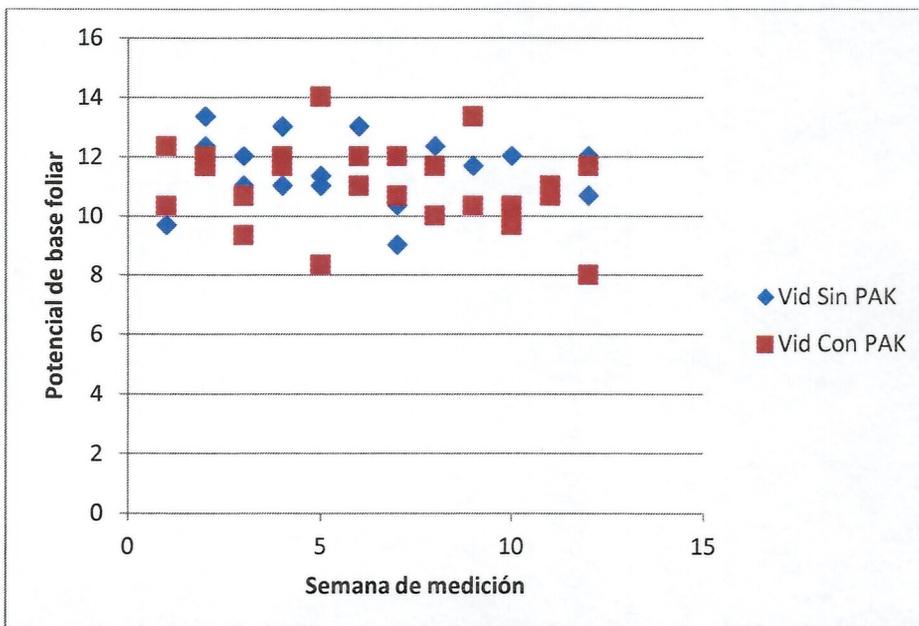


Figura 7. Potencial hídrico foliar versus la evapotranspiración de referencia acumulada. (T0: 0 g/kg; T1: moto-cultivador; T2: hoyo plantación; T3: Manejo habitual)

Seguimiento de la condición hídrica de cultivos con manejo habitual en periodo de máxima demanda con aplicación de PAK

Se observa que en huertos en condiciones de manejo normal durante los periodos de máxima demanda, no existen diferencias significativas entre las plantas con aplicación del producto y las plantas sin la aplicación para ninguna de las especies evaluadas (Figura 8). En términos generales las plantas se mantuvieron entre los rangos habituales de manejo productivo independiente de la aplicación del producto PAK.



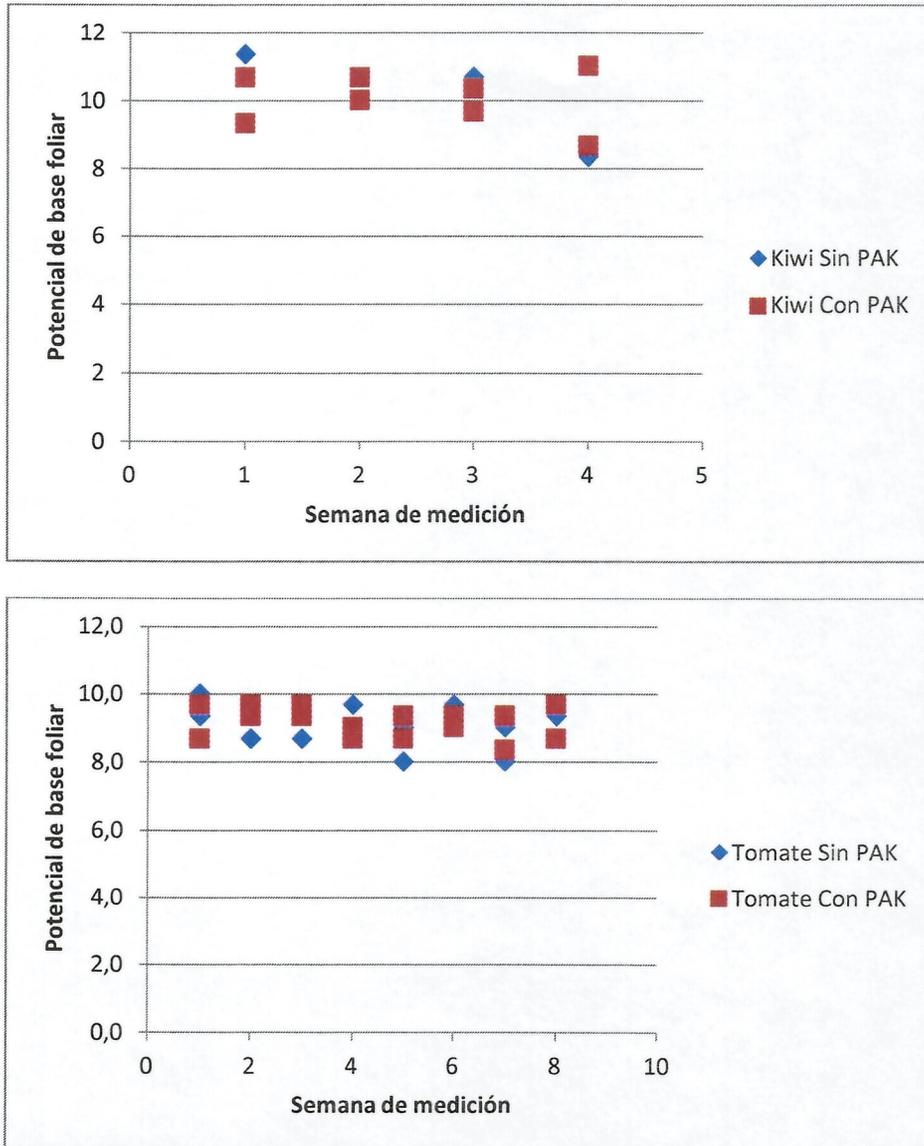


Figura 8. Condición hídrica de base foliar de plantas de Vid de mesa, ciruelo, kiwi y tomate en condiciones de manejo normal con y sin aplicación de PAK.

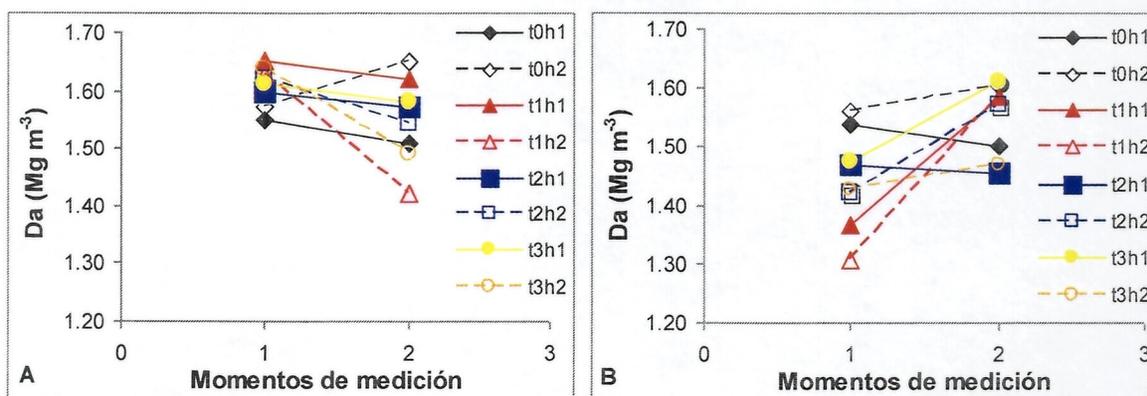
Conclusión

El producto es capaz de retener grandes cantidades de agua, pero no es capaz de entregarla en los momentos adecuados para observar mejoras en la condición hídrica de las especies estudiadas en condiciones de manejo productivo. Al momento de entregar el agua, el producto es capaz de mejorar la condición hídrica de la planta con respecto a un cultivo no tratado, pero esta mejoría no es capaz de impactar significativamente sobre la condición de estrés de la planta. Por estas razones, el producto no se muestra como alternativa para extender las frecuencias de riego en los cultivos agrícolas estudiados, para fines productivos o como remediador de una situación de posible escases hídrica.

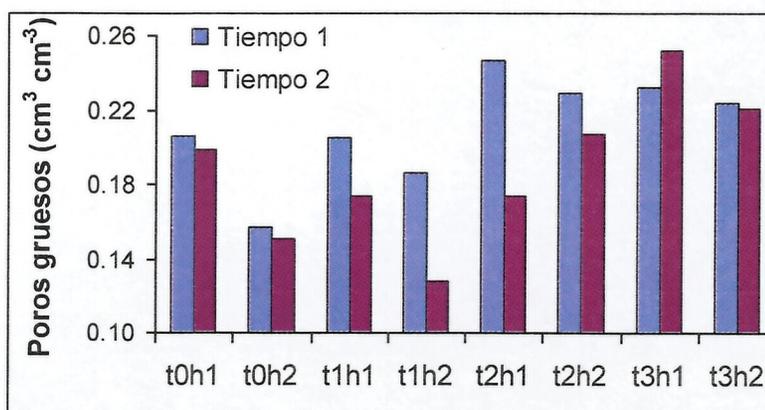
El producto varía su capacidad de retención dependiendo de la salinidad del medio y del agua con que se hidrata, por lo que el aporte final del agua entregada por el producto en estas condiciones, es dependiente de las condiciones del medio y del agua de riego. Además de propiciar un aumento en la concentración de sales en superficie, esto podría dificultar la lixiviación de sales y otros agroquímicos en profundidad, pero favorecer la disponibilidad en superficie de los nutrientes de fácil lixiviación.

Con los antecedentes anteriores se concluye que el producto Poliacrilato de Potasio, bajo las condiciones experimentales detalladas anteriormente y para las especies estudiadas, no es una alternativa viable para enfrentar el problema de un posible déficit hídrico o de modificación de los manejos culturales asociados al riego.

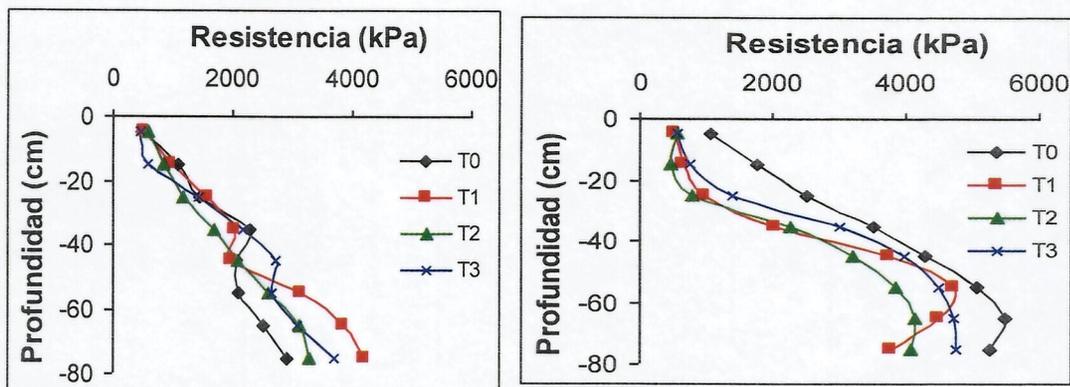
Anexo 5. Otros resultados



Densidad aparente en suelo franco arenoso (izquierda) y franco arcilloso (derecha), después de uno y seis meses de aplicado el producto.



Poros de drenaje rápido del suelo franco arcilloso en los dos tiempos de muestreo (1 y 6 meses de aplicado el PAK).



Resistencia a la penetración (RP) en suelo franco arenoso (derecha) y franco arcilloso (izquierda) a seis meses de aplicado el PAK.

Anexo 6. Materiales y métodos propuesta original

1- ENSAYOS DE LABORATORIO

1.1- FRECUENCIA, VOLUMEN DE RIEGO Y CONSUMO ENERGÉTICO (VINCULADO AL RESULTADO 1 y 3)

1.1.1- ENSAYO DE LABORATORIO MAÍZ Y TRIGO

Ensayo dosis de aplicación.

Para esto se montaran macetas de 0,4 m de diámetro y 1,0 m de altura, las cuales serán rellenas con suelo de textura arcilloso, franca y arenoso, o similar. Para cada combinación cultivo-serie de suelo se establecerán los siguientes tratamientos con el fin de determinar el efecto de distintas dosis:

| | |
|----|-----------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Dosis recomendada |
| T2 | ½ dosis recomendada |
| T3 | 1 ½ dosis recomendada |

En ambos cultivos la unidad experimental serán 2 macetas, con 4 repeticiones en el caso de trigo (se evaluará la superficie central) y con 6 repeticiones en maíz (1 planta por maceta).

A nivel de suelo se estimará la humedad de déficit (Hd) a través de determinaciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del los suelos, y se establecerá un umbral de riego (UR) de 30%. Consumido un 30% de la Hd se repondrá la lámina de agua a través de riego. La evolución del contenido de agua será registrada con un TDR CAMPBELL 616.

OTRAS EVALUACIONES DE SUELO

A cada tratamiento se le realizaran 3 evaluaciones de suelo. La primera de ellas 2 meses después del establecimiento del ensayo, a profundidades de 0-20cm y 20-40 cm, con excepción de las resistencias mecánicas, evaluadas en superficie (costra) o en el perfil, y la infiltrometría, evaluada en superficie. Se repetirá el muestreo a los 4 y 6 meses posterior a la aplicación. A continuación mencionan las evaluaciones a realizar:

- Resistencia a la penetración de la costra superficial con un medidor de fuerza digital de punta plana.
- Resistencia a la penetración del perfil con un penetrómetro de punta cónica.
- Densidad aparente del suelo por los métodos del cilindro y el terrón.
- Retención de agua y distribución de tamaño de poros
- Infiltración acumulada mediante mini disco infiltrómetro.

EVALUACIONES AL CULTIVO

Se espera en cada tratamiento, obtener la frecuencia óptima de riego, el volumen de agua necesaria y el consumo energético de todo el proceso productivo hasta la cosecha, para finalmente determinar cuál de los tratamientos es mejor y si es viable técnica y comercialmente

Potencial hídrico xilemático: Se evaluará en cada estado fenológico el potencial hídrico, previo y posterior a cada riego. En la época de llenado de grano se evaluará entre riego a fin de determinar la curva de hidratación mediante cámara de presión tipo Scholander.

Producción: Se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico y a cosecha se evaluará materia seca y rendimiento productivo.

1.1.2- ENSAYO DE LABORATORIO TOMATE Y CEBOLLA

Ensayo dosis de aplicación.

Para esto se montaran macetas de 0,4 m de diámetro y 1,0 m de altura, las cuales serán rellenas con suelo de textura arcilloso, franca y arenoso, o similar. Para cada combinación cultivo-serie de suelo se establecerán los siguientes tratamientos con el fin de determinar el efecto de distintas dosis:

| | |
|----|-----------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Dosis recomendada |
| T2 | ½ dosis recomendada |
| T3 | 1 ½ dosis recomendada |

En ambos cultivos la unidad experimental serán 2 macetas, con 4 repeticiones por tratamiento. La densidad de plantas por maceta se estimará de acuerdo a la recomendación comercial.

A nivel de suelos se estimará la humedad de déficit (Hd) a través de determinaciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del los suelos, y se establecerá un umbral de riego (UR) de 30%. Consumido un 30% de la Hd se repondrá la lámina de agua a través de riego. La evolución del contenido de agua será registrada con un TDR CAMPBELL 616.

OTRAS EVALUACIONES DE SUELO

A cada tratamiento se le realizaran 3 evaluaciones de suelo. La primera de ellas 2 meses después del establecimiento del ensayo, a profundidades de 0-20cm y 20-40 cm, con excepción de las resistencias mecánicas, evaluadas en superficie (costra) o en el perfil, y la infiltrometría, evaluada en superficie. Se repetirá el muestreo a los 4 y 6 meses posterior a la aplicación. A continuación mencionan las evaluaciones a realizar:

- Resistencia a la penetración de la costra superficial con un medidor de fuerza digital de punta plana.
- Resistencia a la penetración del perfil con un penetrómetro de punta cónica.
- Densidad aparente del suelo por los métodos del cilindro y el terrón.
- Retención de agua y distribución de tamaño de poros
- Infiltración acumulada mediante mini disco infiltrómetro.

EVALUACIONES AL CULTIVO

Se espera en cada tratamiento, obtener la frecuencia óptima de riego, el volumen de agua necesaria y el consumo energético de todo el proceso productivo hasta la cosecha, para finalmente determinar cuál de los tratamientos es mejor y si es viable técnica y comercialmente

Potencial hídrico xilemático: Se evaluará en cada estado fenológico el potencial hídrico, previo y posterior a cada riego. En la época más sensible en términos hídricos para cada cultivo se evaluará entre riego a fin de determinar la curva de hidratación con cámara de presión tipo Scholander.

Producción: Se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico y a cosecha, además de materia seca y rendimiento productivo.

1.1.3- ENSAYO DE LABORATORIO OLIVO, VID, KIWI Y CIRUELO

Ensayo dosis de aplicación.

Para esto se montaran macetas de 0,4 m de diámetro y 1,0 m de altura, las cuales serán rellenas con suelo de textura arcilloso, franca y arenoso, o similar. Para cada combinación frutal-serie de suelo se establecerán los siguientes tratamientos con el fin de determinar el efecto de distintas dosis:

| | |
|----|-----------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Dosis recomendada |
| T2 | ½ dosis recomendada |
| T3 | 1 ½ dosis recomendada |

En frutales la unidad experimental serán 2 macetas, con 4 repeticiones por tratamiento. La maceta contendrá una planta.

A nivel de suelos se estimará la humedad de déficit (Hd) a través de determinaciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del los suelos, y se establecerá un umbral de riego (UR) de 30%. Consumido un 30% de la Hd se repondrá la lámina de agua a través de riego. La evolución del contenido de agua será registrada con un TDR CAMPBELL 616.

OTRAS EVALUACIONES DE SUELO

A cada tratamiento se le realizaran 3 evaluaciones de suelo. La primera de ellas 2 meses después del establecimiento del ensayo, a profundidades de 0-20cm y 20-40 cm, con excepción de las resistencias mecánicas, evaluadas en superficie (costra) o en el perfil, y la infiltrometría, evaluada en superficie. Se repetirá el muestreo a los 4 y 6 meses posterior a la aplicación. A continuación mencionan las evaluaciones a realizar:

- Resistencia a la penetración de la costra superficial con un medidor de fuerza digital de punta plana.
- Resistencia a la penetración del perfil con un penetrómetro de punta cónica.
- Densidad aparente del suelo por los métodos del cilindro y el terrón.
- Retención de agua y distribución de tamaño de poros

- Infiltración acumulada mediante mini disco infiltrómetro.

EVALUACIONES AL CULTIVO

Se espera en cada tratamiento, obtener la frecuencia óptima de riego, el volumen de agua necesaria y el consumo energético de todo el proceso productivo hasta la cosecha, para finalmente determinar cuál de los tratamientos es mejor y si es viable técnica y comercialmente

Potencial hídrico xilemático: Se evaluará el potencial hídrico, previo y posterior a cada riego. En la época de máxima demanda hídrica de cada especie se evaluará entre riego a fin de determinar la curva de hidratación con cámara de presión tipo Scholander.

Producción: Se realizarán seguimientos de largo de brote y se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico en el caso que corresponda, además de materia seca.

1.2- EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE RENDIMIENTO DE PAK POR EXPOSICIÓN SOLAR Y DESESTABILIZACIÓN CON OTROS PRODUCTOS E INSUMOS (VINCULADO AL RESULTADO 6)

Para esto se montarán macetas de 0,4 m de diámetro y 0,5 m de altura las cuales serán rellenadas con un sustrato inerte y sembradas con tomate y cebolla, generando tratamientos con y sin aplicación de PAK y combinándolos con cada producto químico según las dosis recomendadas. También se realizarán tratamientos con un plan de manejo estándar para cada cultivo para determinar si existen efectos sinérgicos entre los agroquímicos que puedan interactuar.

| | | | |
|-----|---------------------|-----|---------------------|
| T0 | Sin Aplicación PAK | T1 | Con Aplicación PAK |
| T2 | T0 + pesticida | T3 | T1 + pesticida |
| T4 | T0 + herbicida | T5 | T1 + herbicida |
| T6 | T0 + nematicida | T7 | T1 + nematicida |
| T8 | T0 + fertilización | T9 | T1 + fertilización |
| T10 | T0 + plan de manejo | T11 | T1 + plan de manejo |

De cada tratamiento se realizarán 4 repeticiones, la unidad experimental será la maceta.

Evaluaciones:

Producción: Se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico y a cosecha se evaluará materia seca y rendimiento productivo.

Análisis: A cosecha se realizarán análisis de suelo para determinar el contenido de fertilizantes. Y análisis de residuos para pesticidas, herbicidas y nematicidas.

Exposición solar

Se aplicará PAK a macetas con 3 suelos de distinta textura (fina, media y gruesa), a los que se les determinará la curva característica de suelo a través del método del plato y olla a presión, luego se someterá a distintos niveles de exposición solar para posteriormente generar nuevas curvas características. Si el producto pierde propiedades de retención de agua, estas nuevas curvas estarán por debajo de las originales y se podrá establecer

Para aproximarse a las condiciones de campo se utilizará la forma de aplicación recomendada por el fabricante para cultivos anuales y el tiempo de exposición será el promedio que toma en campo el realizar las labores entre preparación de suelo y siembra, en la época que corresponda.

De cada tratamiento se realizarán 4 repeticiones, la unidad experimental será la maceta.

1.3- FRECUENCIA Y VOLUMEN DE RIEGO REQUERIDO PARA MANTENER LA PLANTA VIVA (VINCULADO AL RESULTADO 5)

Se montaran macetas con sustrato inerte y la mejor dosis y forma de aplicación obtenida de los ensayos previos. En dichas macetas se establecerán tratamientos con distinto umbral de riego para cada especie, con el fin de determinar el tiempo que tardan los cultivos en llegar a marchitarse asociado a nivel de humedad de suelo. En el proceso se podrá observar cuanto se reduce el potencial productivo bajo distintas condiciones de escasas hídricas y el tiempo que tarda con o sin uso de PAK.

Las especies a utilizar serán: Trigo, maíz, tomate, cebolla, zapallo italiano, ajo, vid, olivos, kiwi y ciruelo.

En el caso de los frutales se utilizaran plantas de vivero, de la edad más avanzada que se puedan conseguir.

Una vez determinados el punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC) en los sustratos con y sin PAK, se establecerán 4 niveles de % umbral de riego; 30%; 50%, 70% y 80%.

Se consideraran 4 repeticiones, variando la unidad experimental según la especie.

Las evaluaciones serán:

Potencial xilemático: mediante cámara de presión para determinar si el cultivo se encuentra bajo estrés.

Producción: Se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico y a cosecha se evaluará materia seca y rendimiento productivo.

Humedad de suelo: Mediante uso de TDR Campbell CS616.

2- ENSAYOS DE CAMPO

2.1- FRECUENCIA, VOLUMEN DE RIEGO Y CONSUMO ENERGÉTICO (VINCULADO AL RESULTADO 1)

2.1.1- ENSAYO DE CAMPO MAÍZ Y TRIGO

Ensayo dosis de aplicación.

Para esto se establecerán en campo parcelas experimentales, ubicados en suelos LO VASQUES y PUDAHUEL, o similar. Para cada combinación cultivo-serie de suelo se establecerán los siguientes tratamientos al momento o previo a la siembra, con el fin de determinar el efecto de distintas dosis:

| | |
|----|-----------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Dosis recomendada |
| T2 | ½ dosis recomendada |
| T3 | 1 ½ dosis recomendada |

El diseño experimental será completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por tratamiento, en maíz la unidad experimental será 5 hileras de 10 plantas, evaluando las plantas centrales para minimizar el efecto borde. Para el trigo se considerará superficie similar para aplicar los tratamientos.

A nivel de suelo se estimará la humedad de déficit (Hd) a través de determinaciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del suelo, y se establecerá un umbral de riego (UR) de 30%. Consumido un 30% de la Hd se repondrá la lámina de agua a través de riego.

OTRAS EVALUACIONES DE SUELO

A cada tratamiento se le realizaran 3 evaluaciones de suelo. La primera de ellas 2 meses después del establecimiento del ensayo, a profundidades de 0-20cm y 20-40 cm, con excepción de las resistencias mecánicas, evaluadas en superficie (costra) o en el perfil, y la infiltrometría, evaluada en superficie. Se repetirá el muestreo a los 4 y 6 meses posterior a la aplicación. A continuación mencionan las evaluaciones a realizar:

- Resistencia a la penetración de la costra superficial con un medidor de fuerza digital de punta plana.
- Resistencia a la penetración del perfil con un penetrómetro de punta cónica.
- Densidad aparente del suelo por los métodos del cilindro y el terrón.
- Retención de agua y distribución de tamaño de poros
- Infiltración acumulada mediante mini disco infiltrómetro.

EVALUACIONES AL CULTIVO

Se espera en cada tratamiento, obtener la frecuencia óptima de riego, el volumen de agua necesaria y el consumo energético de todo el proceso productivo hasta la cosecha, para finalmente determinar cuál de los tratamientos es mejor y si es viable técnica y comercialmente

Potencial hídrico xilemático: Se evaluará en cada estado fenológico el potencial hídrico, previo y posterior a cada riego. En la época de llenado de grano se evaluará entre riego a fin de determinar la curva de hidratación mediante cámara de presión tipo Scholander.

Producción: Se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico y a cosecha se evaluará materia seca y rendimiento productivo.

2.1.2- ENSAYO DE CAMPO TOMATE Y CEBOLLA

Ensayo dosis de aplicación.

En campo se establecerán parcelas experimentales, ubicados en las series de suelo LO VASQUES y PUDAHUEL, o similar. Para cada combinación cultivo-serie de suelo se establecerán los siguientes tratamientos con el fin de determinar el efecto de distintas dosis:

| | |
|----|-----------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Dosis recomendada |
| T2 | ½ dosis recomendada |
| T3 | 1 ½ dosis recomendada |

El diseño experimental será completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por tratamiento, en tomate la unidad experimental será 5 hileras de 10 plantas, evaluando las plantas centrales para minimizar el efecto borde. Para la cebolla se considerará superficie similar para aplicar los tratamientos.

A nivel de suelos se estimará la humedad de déficit (Hd) a través de determinaciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del los suelos, y se establecerá un umbral de riego (UR) de 30%. Consumido un 30% de la Hd se repondrá la lámina de agua a través de riego.

OTRAS EVALUACIONES DE SUELO

A cada tratamiento se le realizaran 3 evaluaciones de suelo. La primera de ellas 2 meses después del establecimiento del ensayo, a profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm, con excepción de las resistencias mecánicas, evaluadas en superficie (costra) o en el perfil, y la infiltrometría, evaluada en superficie. Se repetirá el muestreo a los 4 y 6 meses posterior a la aplicación. A continuación mencionan las evaluaciones a realizar:

- Resistencia a la penetración de la costra superficial con un medidor de fuerza digital de punta plana.
- Resistencia a la penetración del perfil con un penetrómetro de punta cónica.
- Densidad aparente del suelo por los métodos del cilindro y el terrón.
- Retención de agua y distribución de tamaño de poros
- Infiltración acumulada mediante mini disco infiltrómetro.

EVALUACIONES AL CULTIVO

Se espera en cada tratamiento, obtener la frecuencia óptima de riego, el volumen de agua necesaria y el consumo energético de todo el proceso productivo hasta la cosecha, para finalmente determinar cuál de los tratamientos es mejor y si es viable técnica y comercialmente

Potencial hídrico xilemático: Se evaluará en cada estado fenológico el potencial hídrico, previo y posterior a cada riego. En la época más sensible en términos hídricos para cada cultivo se evaluará entre riego, a fin de determinar la curva de hidratación con cámara de presión tipo Scholander.

Producción: Se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico y a cosecha, además de materia seca y rendimiento productivo.

2.1.3- ENSAYO DE CAMPO OLIVO, VID, KIWI Y CIRUELO

Ensayo dosis de aplicación.

En campo se establecerán parcelas experimentales, ubicados en las series de suelo LO VASQUES y PUDAHUEL, o similar. Para cada combinación cultivo-serie de suelo se establecerán los siguientes tratamientos con el fin de determinar el efecto de distintas dosis.

| | |
|----|-----------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Dosis recomendada |
| T2 | ½ dosis recomendada |
| T3 | 1 ½ dosis recomendada |

En frutales la unidad experimental serán 3 plantas, con 4 repeticiones por tratamiento. El tratamiento se aplicará a 3 hileras de 5 plantas cada una, evaluando las 3 centrales.

A nivel de suelos se estimará la humedad de déficit (Hd) a través de determinaciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del los suelos, y se establecerá un umbral de riego (UR) de 30%. Consumido un 30% de la Hd se repondrá la lámina de agua a través de riego.

OTRAS EVALUACIONES DE SUELO

A cada tratamiento se le realizaran 3 evaluaciones de suelo. La primera de ellas 2 meses después del establecimiento del ensayo, a profundidades de 0-20cm y 20-40 cm, con excepción de las resistencias mecánicas, evaluadas en superficie (costra) o en el perfil, y la infiltrometría, evaluada en superficie. Se repetirá el muestreo a los 4 y 6 meses posterior a la aplicación. A continuación mencionan las evaluaciones a realizar:

- Resistencia a la penetración de la costra superficial con un medidor de fuerza digital de punta plana.
- Resistencia a la penetración del perfil con un penetrómetro de punta cónica.
- Densidad aparente del suelo por los métodos del cilindro y el terrón.
- Retención de agua y distribución de tamaño de poros
- Infiltración acumulada mediante mini disco infiltrómetro.

EVALUACIONES AL CULTIVO

Se espera en cada tratamiento, obtener la frecuencia optima de riego, el volumen de agua necesaria y el consumo energético de todo el proceso productivo hasta la cosecha, para finalmente determinar cuál de los tratamientos es mejor y si es viable técnica y comercialmente

Potencial hídrico xilemático: Se evaluará el potencial hídrico, previo y posterior a cada riego. En la época de máxima demanda hídrica de cada especie se evaluará entre riego a fin de determinar la curva de hidratación con cámara de presión tipo Scholander.

Producción: Se realizaran seguimientos de largo de brote y se determinará la fecha de ocurrencia de cada estado fenológico en el caso que corresponda, además de materia seca.

2.2- FORMAS DE APLICACIÓN (VINCULADO AL RESULTADO 4)

ENSAYO DE CAMPO MAÍZ Y TRIGO

Ensayo formas de aplicación.

Con el objeto de evaluar distintas formas de aplicación del producto, se establecerán ensayos sobre la dosis recomendada por serie de suelo, y se intentaran 3 formas de aplicación distintas.

| | |
|----|---|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Aplicación al voleo con recubrimiento |
| T2 | Aplicación mecanizada en el surco de plantación |
| T3 | Aplicación al voleo incorporación con rastra |

El diseño experimental será completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por tratamiento, en maíz la unidad experimental será 5 hileras de 10 plantas, evaluando las plantas centrales para minimizar el efecto borde. Para el trigo se considerará superficie similar para aplicar los tratamientos.

Las evaluaciones de suelo, cultivo y análisis estadístico son idénticas a las de los tratamientos anteriores.

2.2.1- ENSAYO DE CAMPO TOMATE Y CEBOLLA

Ensayo formas de aplicación.

Con el objeto de evaluar distintas formas de aplicación del producto, se establecerán ensayos sobre la dosis recomendada por serie de suelo, y se probaran 2 formas de aplicación distintas.

| | |
|----|---|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Aplicación al voleo con recubrimiento |
| T2 | Aplicación mecanizada en el surco de plantación |
| T3 | Incorporación al suelo |

El diseño experimental será completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por tratamiento, en tomate la unidad experimental será 5 hileras de 10 plantas, evaluando las plantas centrales para minimizar el efecto borde. Para la cebolla se considerará superficie similar para aplicar los tratamientos.

Las evaluaciones de suelo, cultivo y análisis estadístico son idénticas a las de los tratamientos anteriores.

2.2.2- ENSAYO DE CAMPO OLIVO, VID, KIWI Y CIRUELO

Ensayo formas de aplicación.

Con el objeto de evaluar distintas formas de aplicación del producto, se establecerán ensayos sobre la dosis recomendada por serie de suelo, y se intentaran 2 formas de aplicación distintas.

| | |
|----|---------------------------------------|
| T0 | Sin aplicación |
| T1 | Aplicación al voleo con recubrimiento |
| T2 | Aplicación en el hoyo de plantación |
| T3 | Incorporación al suelo |

En frutales la unidad experimental serán 3 plantas, con 4 repeticiones por tratamiento. El tratamiento se aplicará a 3 hileras de 5 plantas cada una, evaluando las 3 centrales.

Las evaluaciones de suelo, cultivo y análisis estadístico son idénticas a las de los tratamientos anteriores.

2.3- EVALUACIÓN DE LA TASA DE MORTALIDAD DE PLANTAS TRASPLANTADAS (VINCULADO AL RESULTADO 7)

Este ensayo se realizará en dependencias de NOVAVID, considerando la etapa de trasplante a campo en las mismas dependencias.

El objetivo es determinar el efecto de PAK en 3 dosis distintas (0,5, 1 y 1,5 de la recomendada en la tasa de mortalidad de las plantas trasplantadas. El manejo de las plantas será el tradicionalmente usado por la empresa.

Las evaluaciones en los distintos tratamientos serán:

- Porcentaje de prendimiento al ser plantadas
- Largo de raíz
- Numero de hojas
- Altura de la planta
- Numero de brotes
- Supervivencia del trasplante (en porcentaje), evaluadas a 30 días de haber finalizado el trasplante y un año después.
- Diámetro de tronco
- Peso fresco y seco de las plantas
- Peso de la parte aérea
- Peso de raíces

La unidad experimental será un grupo de 20 plantas. Cada tratamiento considerará 5 repeticiones.

2.4- EFICIENCIA EN EL USO DE INSUMOS (Resultado 2)

Para este ensayo se generaran tratamientos con y sin uso de PAK, con distintas dosis de fertilizantes según el siguiente cuadro.

| | | | |
|----|---------------------------|----|---------------------------|
| T0 | Sin Aplicación PAK | T1 | Con Aplicación PAK |
| T2 | T0 - 15% de fertilizantes | T3 | T1 - 15% de fertilizantes |
| T4 | T0 - 30% de fertilizantes | T5 | T1 - 30% de fertilizantes |

| | | | |
|--|---------------|--|---------------|
| | fertilizantes | | fertilizantes |
|--|---------------|--|---------------|

La dosis de PAK a utilizar será la recomendada por el fabricante, el diseño y unidad experimental dependerá de los cultivos utilizados, tal como lo indica el ensayo 11.2.1.

En cada ensayo se evaluará el rendimiento y calidad del cultivo.