

Utilización de material rocoso de desecho minero y enmiendas en la elaboración de sustratos edáficos para revegetar terrenos alterados.



Autor: Moreno, María Carolina

Director: Cony, Mariano

Co-director: Trione, Sinibaldo O.

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

Mendoza, Agosto de 2015

RESUMEN

Los terrenos intervenidos por compañías mineras resultan alterados en mayor o menor grado según las actividades propias de cada una de ellas. Esta investigación hace referencia a la minera Alumbreira Ltda., que extrae el yacimiento de cobre, oro y molibdeno Bajo de la Alumbreira ubicado al noroeste de la Provincia de Catamarca.

Este tipo de actividades genera grandes volúmenes de desechos de materiales rocosos extraídos de los “open pits”, muchos de los cuáles pueden constituir sustratos adecuados para la revegetación de los sitios alterados por las mismas.

Consideramos aquí específicamente los materiales rocosos denominadas Barren Core (BC) y Epidoto Clorita (ECI), en dos fracciones: “polvo”, menor a 2 mm y “pedregullo”, con tamaños desde los 2 a los 5-10mm.

A partir de resultados observados en un proyecto de revegetación de la Empresa donde las plantas nativas utilizadas mostraban una mayor supervivencia y crecimiento sobre ECI con agregado de Lombricompuesto (L), se plantearon dos objetivos generales:

1. Determinar por qué el ECI como sustrato edáfico tiene un comportamiento más exitoso en la supervivencia y crecimiento de plantas utilizadas en revegetación, en comparación al BC y al Suelo Aluvial (SAI).
2. Obtener sustratos edáficos a partir de rocas de desecho minero, junto con material aluvial y enmiendas orgánicas, que resulten potencialmente aptos para el uso en revegetación de sitios alterados por la actividad minera.

Se plantean dos Hipótesis de trabajo: 1. “El material rocoso ECI exhibe mayor porcentaje de retención de agua a Capacidad de Campo (C.C.) y al momento de finalización del ensayo, en comparación con BC y SAI”; 2. “Partículas de granulometría fina e intermedia de material rocoso de desecho minero (ECI y BC) combinadas adecuadamente con suelo aluvial y materia orgánica en forma de Lombricompuesto (L), conforman, por sus propiedades físicas y químicas, sustratos edáficos que resultan potencialmente compatibles con el establecimiento de plantas de aridez en el proceso de revegetación de micro sitios por hoyos de plantación”.

Se plantearon los siguientes objetivos particulares: 1. Establecer comparaciones de parámetros hídricos entre los sustratos Epidoto Clorita (ECI), Barren Core (BC), Suelo Aluvial (SAI) y, también por otro lado Lombricompuesto(para conocimiento como

componente orgánico), a fin de determinar si dichos parámetros justifican la relevancia de ECI sobre BC y SAI; 2. Someter a un conjunto de sustratos edáficos de distinta composición a una evaluación preliminar de parámetros hídricos, para posteriormente probar en aquellos sustratos seleccionados la acción de un mulch mineral sobre el tiempo de conservación del agua retenida; 3. Probar la acción del mulch mineral sobre el tiempo de conservación del agua retenida por los sustratos seleccionados, con el objeto de obtener una aproximación de los intervalos de reposición del riego para las plantas establecidas; y 4. Medir la infiltración del agua en sustratos totalmente deshidratados, para verificar la incidencia de cada tipo de componente edáfico sobre dicha variable.

Cada objetivo fue alcanzado a través de una serie de ensayos planificados, trabajando con distintos sustratos y 4 repeticiones por cada uno.

Se encontró que el ECI polvo presenta mayor pérdida diaria de agua que BC polvo y SAI, aunque una capacidad de retención de agua a C.C. significativamente mayor. A su vez, estudios realizados a profundidad mostraron que el contenido hídrico a C.C., en todo el perfil resultó mayor en el polvo de ECI, respecto del BC polvo y SAI. Se observó además, mayores porcentajes de agua retenida a C.C. en sustratos mezclas, compuestos principalmente por ECI y L; mientras que a los 35 días presentaron mayores valores aquellos con ECI y SAI y/o porcentajes elevados de polvo. El agregado de mulch "mineral" resultó beneficioso para la retención de agua por parte de los sustratos. Respecto a la infiltración los polvos de ECI y BC, mejoraron notablemente con el agregado de pedregullo y SAI con L, presentando un tiempo de infiltración significativamente menor, respecto a los sustratos puros.

Se puede concluir que ECI presenta mejores propiedades hídricas que BC y SAI; que los sustrato mezclas que mejores resultados presentan respecto a la retención de agua y tiempo de infiltración en general son aquellos de ECI con L o proporciones equivalente de SAI y L, además del pedregullo; y por último cabe destacar los beneficios del mulch mineral en la retención de agua, siendo una técnica muy simple y práctica de aplicar, con resultados muy útiles respecto a las tareas de revegetación, ya que reduciría el número de riegos durante el establecimiento de las plantas.

Palabras Claves: Material rocoso: Barren Core y Epidoto Clorita- Enmiendas: lombricompuestos y suelo aluvial- Suelos áridos- Sustratos edáficos.

AGRADECIMIENTOS

Quería agradecer a mi familia por la oportunidad que me brindó de poder estudiar.

A Mariano e Ing. Trione por el acompañamiento en el desarrollo de la tesis, por darme la oportunidad de tener esta primer experiencia de investigación.

A mis amigas (Sil, Joha, Cele, Pato, Cyn, Tsune, Ana) que me acompañaron y apoyaron por el camino, y a todas aquellas personas especiales que conocí en la facu y con las que compartí muchos momentos.

A mi novio, Walter, por apoyarme en los momentos más difíciles y compartir los más felices. Por estar ahí siempre e incondicionalmente.

Al Ing. Llera y a Emilia por ayudarme con la parte estadística, y por sus consejos.

A Hugo y Gualberto, por su gran ayuda durante la parte experimental de la tesis.

Para todas aquellas personas que me pueda estar olvidando de mencionar, pero que de alguna manera formaron parte en este camino.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| Estructura de la tesina | 6 |
| Introducción | 7 |
| Antecedentes sobre obtención de sustratos edáficos para revegetación de sitios áridos..... | 9 |
| Justificación, hipótesis y objetivos | 10 |
| Materiales y Métodos..... | 12 |
| Comparación de parámetros hídricos entre BC, ECI, SAI y L..... | 13 |
| Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal en sustratos puros y en material aluvial con lombricompuesto (Ensayo I, Parte A). | 13 |
| Variación periódica del contenido de humedad de los materiales puros a lo largo de una profundidad de 120 cm (Ensayo I, Parte B). | 14 |
| Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal, en sustratos edáficos de distinta composición (Ensayo II) | 14 |
| Acción de un mulch de roca mineral sobre la retención temporal del agua almacenada (Ensayo III) | 15 |
| Capacidad de infiltración del agua en sustratos de diversas composiciones en estado total de deshidratación (Ensayo IV)..... | 16 |
| Análisis estadístico..... | 16 |
| Resultados | 17 |
| Comparación de parámetros hídricos entre BC, ECI, SAI y L..... | 17 |
| Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal en sustratos puros y en material aluvial con lombricompuesto. | 17 |
| Variación periódica del contenido de humedad de los materiales puros a lo largo de una profundidad de 120 cm. | 19 |
| Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal, en sustratos edáficos de distinta composición | 21 |
| Acción de un mulch de roca mineral sobre la retención temporal del agua almacenada..... | 25 |
| Capacidad de infiltración del agua en sustratos de diversas composiciones en estado total de deshidratación..... | 28 |
| Discusión | 28 |
| Conclusiones | 32 |
| Bibliografía | 33 |
| Apéndice | 37 |

Estructura de la tesina

La presente tesina cuenta con un cuerpo principal, donde se detallan los ensayos realizados (Ensayo I, Parte A y B, II, III y IV), junto con el análisis estadístico y resultados para cada uno, discusión y conclusión. Al final del trabajo se adjunta un apéndice, donde se encuentran las planillas con los datos con los que se elaboraron los gráficos de los ensayos I (Parte A), II y III.

1. Introducción

Los suelos naturales donde operan las empresas mineras quedan prácticamente cubiertos por materiales rocosos metalíferos de desecho (estériles¹) en plena oxidación (con riesgo de drenaje ácido² -DA-) o inertes (sin riesgo de DA), ubicados en botaderos y en diques de cola. Estos residuos generan un impacto antiestético y algunos de ellos produce contaminación, por lo que se requiere de una cubierta vegetal para estabilizarlos y recuperarlos (Tordoff, 2000). A su vez, estos terrenos deben ser obligatoriamente recuperados en cuanto a flora y fauna silvestre se refiere, tarea que podría iniciarse a través del proceso de revegetación. Para los botaderos de estériles con riesgo de DA, las empresas mineras deben contar con importante volúmenes de suelo, para cubrir dicho material y proceder a la revegetación. Sin embargo, a aquellas que operan en ecosistemas áridos muy alejados, se les hace muy difícil aprovisionarse de suelos aptos para el crecimiento de plantas (en nuestro caso, para especies vegetales de zonas áridas).

Es posible, como solución a dicho problema, la utilización de rocas de desecho minero como sustrato para el establecimiento de las plantas. Incluso, mediante ciertos procedimientos, podrían aprovecharse para formar un sustrato edáfico compatible con el establecimiento de las plantas de aridez, en el proceso de revegetación del sitio. La forma de revegetar por hoyos de plantación de estos sitios muy alterados, está basada en el concepto que cuando falta o no es posible obtener suelo superficial o “top soil” (zona edáfica más fértil) se puede utilizar en su reemplazo rocas o materiales similares como las arenas (Lyon y Buckman, 1952).

Para que estas rocas puedan llegar a ser parte del crecimiento de las plantas, es imprescindible el estudio previo de alguna de sus características físicas, así como el efecto de las mismas sobre los sistemas vivos. Tales parámetros pueden dar las pautas para conformar, con la adición de enmiendas de suelos, un sustrato edáfico en el cual puedan prosperar especies nativas de zonas áridas.

Esta investigación hace referencia a la minera Alumbreira Ltda., que extrae el yacimiento de cobre, oro y molibdeno Bajo de la Alumbreira ubicado al noroeste de la Provincia de Catamarca

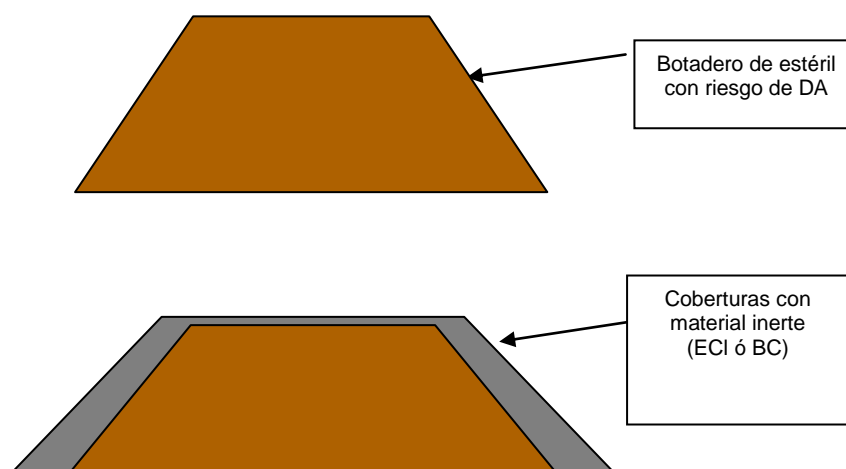
¹ Estéril: material que prácticamente no contiene metal recuperable (Gobierno de Chile, 2006).

² El drenaje ácido es el escurrimiento de soluciones ácidas sulfatadas, frecuentemente con un contenido significativo de metales disueltos, resultado de la oxidación química y biológica de minerales sulfurados y de la lixiviación de metales pesados asociados. Las reacciones de oxidación ocurren en forma natural, y se aceleran por el aumento de exposición de la roca al oxígeno y al agua y por la acción catalizadora de algunas bacterias (Gobierno de Chile, 2002).

(<http://www.infoalumbreira.com.ar>; <http://www.alumbreira.com.ar/institucional.asp>, consultadas el 24/06/2014).

Consideramos aquí específicamente los materiales rocosos de desecho denominados Barren Core (BC) y Epidoto Clorita (ECI), cuya composiciones minerales se desconocen. Los mismos, después de extraídos de las profundidades de la tierra y de su procesamiento, son esparcidos irregularmente en la superficie del terreno, formando capas de distintos espesores, y de granulometría muy variada, con partículas que van de tamaños menores de 2 μm hasta bloques irregulares de gran tamaño. En tareas de rehabilitación efectuadas por la minera sobre las áreas afectadas, se procede en primer instancia por cubrir los sitios con materiales inertes (BC y ECI en los botaderos, y Suelo Aluvial -SAI- de la zona en diques de cola una vez secos), en capas que van de los 2 a 3 metros de espesor, para su posterior revegetación, para evitar que se produzca DA. A continuación se presenta un gráfico explicativo de lo mencionado (Cony, 2012).

Gráfico 1: Esquema de cobertura de botadero, con material inerte (Cony, 2012).



Se ha observado, en parcelas experimentales de revegetación realizadas en la Alumbreira entre los años 2009 a 2012, un mayor éxito en el establecimiento y crecimiento de las plantas, sobre hoyos de plantación instalados en coberturas de ECI, con respecto a las instaladas sobre BC y SAI, hecho que se presenta cuando las raíces se introducen en dichos materiales inertes. Debido a esta observación se ha sugerido que ECI puede constituir un componente de sustrato edáfico superior al de los otros dos componentes minerales, a pesar de no existir diferencias en su composición nutricional, muy pobres en macronutrientes y materia orgánica (Cony et

al., 2012). Es por ello que el estudio se focaliza en investigar diferencias en las propiedades físicas de los materiales.

A su vez, dentro de la amplia gama de dimensiones, las partículas de material rocoso más factibles de ser empleadas en la formación de un sustrato edáfico destinado a los hoyos de plantación serían las comprendidas entre diámetros aproximados menores de 2 μm , hasta 5 ó incluso 10 mm, asimilándolas, en tamaño, desde texturas arcillosas hasta arena gruesa y pedregullo (se utilizará éste término para referirnos a partículas entre 2mm y 5-10mm). Éste último es importante para la elaboración de un sustrato edáfico, ya que confiere macroporosidad al mismo, lo que permiten que el agua drene a través del suelo y permita la entrada de aire a los mismos; los espacios de poros también son necesarios para que las raíces penetren libremente en el suelo a fin de tomar nutrientes y agua (Barber, 2005). Debido a que estos materiales rocosos no aportan, prácticamente, ningún macronutriente, estos sustratos deben ser complementados con enmiendas de diversa naturaleza, muy especialmente materia orgánica, la que a su vez mejora las características físicas de los mismos. En tal caso se hace necesario estudiar propiedades físicas en los componentes simples y combinados, especialmente las relacionadas con parámetros hídricos de suelos agrícolas, para luego experimentar técnicas de obtención de los mismos.

2. Antecedentes sobre obtención de sustratos edáficos para revegetación de sitios áridos.

Se encontró poca información sobre conformación de suelos para revegetación a partir de desechos de mina y el estudio de sus propiedades físicas. Esto, a pesar de que cubrir con suelos traído de otros sitios es una solución rápida y simple, pero resulta muy costosa, y muchas veces estos suelos no son fáciles de obtener. La alternativa es el uso de materiales inertes, que puede ser en sí un residuo obtenido localmente como una cubierta completa, seguido del proceso asistido de recuperación. Además, los pasos clave para una recuperación exitosa implican una enmienda o corrección adecuada del sustrato y la selección de las especies de plantas apropiadas para la revegetación (Li, 2006).

También Tordoff (2000) menciona la estabilización física, que implica cubrir los residuos mineros inestables con un material inocuo (frecuentemente residuos de roca

obtenidos de las operaciones de desmonte-remoción) para reducir la erosión eólica e hídrica.

Sin embargo el establecimiento de plantas sobre los desechos de rocas, está sujeto a severas restricciones físicas, como la baja capacidad de retención de agua de los mismos con regulares y prolongadas sequías en superficie, un bajo contenido de nutrientes y una estructura física pobre (Tordoff, 2000).

Se pueden mencionar al respecto algunos trabajos, como por ejemplo la construcción de suelos artificiales a partir de residuos minerales y orgánicos (Dudeney et al., 2004), estudios de la influencia de la textura sobre distintas propiedades físicas, como la retención de agua y resistencia a la penetración en residuos de bauxita (Buchanan et al., 2010) y la evaluación de la retención de agua en la superficie de un terraplén construido con desechos carboníferos bajo distintos tratamientos (Patzalek et al., 2001).

Es de conocimiento general que tanto la textura como el contenido de materia orgánica influyen en las características de retención de agua de un suelo (Adamu et al., 2012; Da Costa et al., 2013). Sin embargo, otro material importante en la retención de agua es el mulch mineral. Existen diversos estudios al respecto, efectuado en el noroeste de China, relativo a las bondades de la utilización de mulches de grava y arena en distintos cultivos (Li et al., 2002; Wang et al., 2010; Fan et al., 2014).

Por último, otro factor importante en la formación de un sustrato es la infiltración, que permite el ingreso de agua al suelo para su almacenamiento y posterior disposición para las plantas. Un componente fundamental del suelo que interviene en dicho fenómeno es el contenido de materia orgánica. Por eso, para mejorar la infiltración, es necesario la incorporación de la misma al sustrato (Franzluebbbers, 2002; Curtis y Claassen, 2007; Olson et al., 2013).

3. Justificación, hipótesis y objetivos

Como se mencionó anteriormente, se ha observado en tareas de revegetación un mejor comportamiento del material ECI como sustrato edáfico para el establecimiento de las plantas, descartándose que las causas se deban a una mayor fertilidad del mismo con respecto a los otros sustratos (materiales pobres en materia orgánica y macronutrientes). Es preciso buscar, entonces, las causas en las mejores propiedades físicas de este material, con especial énfasis en las propiedades hídricas.

A su vez, la obtención de un sustrato edáfico que, como parte de su composición contenga material rocoso metalífero de desecho de la actividad minera, puede resultar ventajoso para la empresa; esto, debido a que le representaría un menor costo, con respecto a la alternativa de traer suelo apto de otros sitios más alejados.

Hipótesis de trabajo

Hipótesis 1: El material rocoso ECI exhibe mayor porcentaje de retención de agua a Capacidad de Campo (C.C.) y al momento de finalización del ensayo, en comparación con BC y SAI. Por otro lado:

Hipótesis 2: Partículas de granulometría fina e intermedia de material rocoso de desecho minero (ECI y BC) combinadas adecuadamente con suelo aluvial y materia orgánica en forma de Lombricompuesto (L), conforman, por sus propiedades físicas y químicas, sustratos edáficos que resultan potencialmente compatibles con el establecimiento de plantas de aridez en el proceso de revegetación de micro sitios por hoyos de plantación.

Objetivos generales

1. Determinar por qué el ECI como sustrato edáfico tiene un comportamiento más exitoso en la supervivencia y crecimiento de plantas utilizadas en revegetación, en comparación al BC y al Suelo Aluvial (SAI).
2. Obtener sustratos edáficos a partir de rocas de desecho minero, junto con material aluvial y enmiendas orgánicas, que resulten potencialmente aptos para el uso en revegetación de sitios alterados por la actividad minera.

Objetivos particulares

1. Establecer comparaciones de parámetros hídricos entre los sustratos Epidoto Clorita (ECI), Barren Core (BC), Suelo Aluvial (SAI) y, también por otro lado Lombricompuesto (para conocimiento como componente orgánico), a fin de determinar si dichos parámetros justifican la relevancia de ECI sobre BC y SAI.
2. Someter a un conjunto de sustratos edáficos de distinta composición a una evaluación preliminar de parámetros hídricos, con el fin de realizar una selección de los mismos, para posteriormente probar en aquellos sustratos seleccionados la acción de un mulch mineral sobre el tiempo de conservación del agua retenida.

3. Probar la acción del mulch mineral sobre el tiempo de conservación del agua retenida por los sustratos seleccionados, con el objeto de obtener una aproximación de los intervalos de reposición del riego para las plantas establecidas.
4. Medir la infiltración del agua en sustratos totalmente deshidratados, para verificar la incidencia de cada tipo de componente edáfico sobre dicha variable.

Cada objetivo particular se corresponde con cada uno de los ensayos realizados en la presente tesina.

4. *Materiales y Métodos*

Las fracciones componentes de los sustratos edáficos empleadas fueron las siguientes: “polvo” BC y ECI (partículas menores de 2 mm); “pedregullo” de los mismos materiales (partículas de 2mm a 5-10mm); SAI de la zona cuya composición es: arena gruesa en un 75%, arena fina en un 15% (obtenidos por tamices de 0,2mm y 0,02mm respectivamente de acuerdo a la clasificación de las partículas del suelo según el sistema de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo), limo-arcilla en un 3% (método hidrométrico de análisis textural de Bouyoucos -McKean, 1993-) y materia orgánica en un 7% (Walkley y Black (1934) modificado -McKean, 1993-); Lombricompuesto elaborado en la mina (38% de materia orgánica, determinado por Walkley y Black (1934) modificado -McKean, 1993-). Tanto BC como ECI, son nombres de fantasía utilizados en la minería y no se tiene conocimiento de las diferencias en su composición mineral.

La cantidad volumétrica de cada uno de estos componentes en los sustratos edáficos se expresó en porcentajes. Se utilizaron macetas cilíndricas de PVC de 11 cm de diámetro x 25 cm de alto, provistas de drenaje, con capacidad hasta 2.375 cm³. El peso de los volúmenes de los materiales (secos al aire) varió de acuerdo a la composición de los sustratos. En un solo caso el contenedor consistió en un tubo cilíndrico de plástico transparente, de 11 cm de diámetro x 120 cm de largo.

Los contenidos hídricos y su variación temporal se determinaron por gravimetría usando balanza electrónica con capacidad de 31 kg y sensibilidad al miligramo. La máxima retención de agua, una vez drenado el exceso agregado, correspondió al parámetro hídrico denominado Capacidad de Campo (C.C.), que es la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje (Shaxson y Barber, 2005).

Los ensayos se condujeron principalmente bajo las condiciones ambientales del Campo Experimental IADIZA, con reparo de lluvia no interferente con la experimentación.

La planificación de los ensayos estuvo en concordancia con los objetivos particulares. Se evaluó: contenido porcentual de agua retenida a C.C., su disminución a través del tiempo, contenido porcentual de agua retenida finalizado el ensayo y, para el último ensayo, el tiempo de infiltración (estos, por razones de simplicidad, lo mencionaremos como “parámetros hídricos” en la planificación de los ensayos)

Breve descripción de los ensayos: se usaron aquí las siguientes abreviaturas.

Epídoto Clorita polvo: ECI-po

Epídoto Clorita pedregullo: ECI-pe

Barren Core polvo: BC-po

Barren Core pedregullo: BC-pe

Suelo Aluvial: SAI

Lombricompuesto: L

Los porcentajes de cada componente en los sustratos se indicará por su valor numérico, e.g., ECI-po 70%: ECI-po 70.

4.1. Comparación de parámetros hídricos entre BC, ECI, SAI y L.

4.1.1. Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal en sustratos puros y en material aluvial con lombricompuesto (Ensayo I, Parte A).

La composición de los sustratos utilizados fue la siguiente:

1. ECI-po 100
2. BC-po 100
3. SAI 100
4. L 100
5. ECI-po 70 + ECI-pe 30
6. BC-po 70 + BC-pe 30
7. SAI 80 + L 20

Para llevarlo a cabo se procedió a la preparación de los sustratos, y llenado de macetas. Antes se obtuvieron las taras de las mismas, y luego el Peso Seco (PS) más

la tara. Se saturó con agua de red el contenido de la maceta hasta que el agua percolara por drenaje. Luego se esperaron 48hs para realizar las primeras mediciones, a Capacidad de Campo (Peso Húmedo -PH-). Con intervalo de 3 o 4 días se fueron pesando las macetas. Las mediciones se dieron por terminadas a los 30 días, y 36 días para el L. Se trabajó con 3 repeticiones por sustrato.

Con estos datos se fueron obteniendo los porcentajes de agua retenida en el tiempo, lo que permitió la elaboración de curvas de disminución del contenido hídrico a través del tiempo para cada sustrato.

Como complemento, se calculó la pérdida diaria de agua (g%g).

4.1.2. Variación periódica del contenido de humedad de los materiales puros a lo largo de una profundidad de 120 cm (Ensayo I, Parte B).

Se trabajó con 3 sustratos: ECI, BC y SAI en estado puro.

Para la realización del mismo se empleó un contenedor cilíndrico de 120 cm de largo, con orificios laterales obturables, por donde se extrajeron muestras para determinar humedad en estufa a 105 °C. El contenedor se regó a saturación hasta drenaje. No se trabajó con repeticiones por no contar con suficiente material de ECI y BC.

A partir de los datos obtenidos se calculó: el porcentaje de agua retenida en profundidad respecto del sector superficial al finalizar la experiencia, pérdida diaria y total de agua (%), y tiempo de agote total del agua (días) para cada sustrato.

Se elaboraron gráficos de telaraña con los porcentajes de agua retenida, a distintas profundidades (cm) a través del tiempo (días).

4.2. Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal, en sustratos edáficos de distinta composición (Ensayo II).

Se trabajó con los siguientes 19 sustratos:

- A. L 10+BC-po 70+BC-pe 20
- B. L 10+ECI-po 70+ECI-pe 20
- C. L 10+BC-po 35+BC-pe 10+ECI-po 35+ECI-pe 10
- D. L 20+BC-po 60+BC-pe 20
- E. L 20+ECI-po 60+ECI-pe 20
- F. L 20+BC-po 30+BC-pe 10+ECI-po 30+ECI-pe 10

- G. SA1 10+BC-po 70+BC-pe 20
- H. SA1 10+ECl-po 70+ECl-pe 20
- I. SA1 10+BC-po 35+BC-pe 10+ECl-po 35+ECl-pe 10
- J. SA1 20+BC-po 60+BC-pe 20
- K. SA1 20+ECl-po 60+ECl-pe 20
- L. SA1 20+BC-po 30+BC-pe 10+ECl-po 30+ECl-pe 10
- M. L 10+SA1 10+BC-po 60+BC-pe 20
- N. L 10+SA1 10+ECl-po 60+ECl-pe 20
- O. L 10+SA1 10+BC-po 30+BC-pe 10+ECl-po 30+ECl-pe 10
- P. L 20+SA1 20+BC-po 45+BC-pe 15
- Q. L 20+SA1 20+ECl-po 45+ECl-pe 15
- R. L 20+SA1 20+BC-po 25+BC-pe 5+ECl-po 25+ECl-pe 5
- S. L 13+SA1 3+ECl-po 63+ECl-pe 21 (símil usado en la Alumbreira en experimentos a campo)

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo fue el mismo utilizado en el Ensayo I, Parte A. Cada sustrato contó con 4 repeticiones.

Se calculó a partir de los datos, la pérdida diaria de agua (%) y tiempo de agote total (días) para cada sustrato.

4.3. Acción de un mulch de roca mineral sobre la retención temporal del agua almacenada (Ensayo III).

Se utilizaron, del Ensayo II, los sustratos B y Q con buena capacidad de retención de agua a C.C., y los sustratos H y N con baja capacidad de retención (sustratos todos compuestos por ECl), con 3 espesores de mulch mineral:

- * Testigo (T) sin mulch
- * 3 cm de espesor de mulch
- * 6 cm de espesor de mulch

Para realizar el Ensayo, se procedió al llenado de las macetas en la forma habitual y obtención del PS. Luego se colocó el espesor de mulch correspondiente a cada maceta y se saturaron los sustratos así preparados, con agua hasta drenaje. Se procedió luego a pesar las macetas para determinación de humedades (mismos

procedimientos indicados en el Ensayo I, Parte A). Cada sustrato contó con 4 repeticiones.

Se puede utilizar como mulch mineral ripio o la fracción pedregullo de los materiales ECI y BC.

4.4. Capacidad de infiltración del agua en sustratos de diversas composiciones en estado total de deshidratación (Ensayo IV).

Se emplearon los sustratos enumerados a continuación, en estado totalmente seco:

1. BC-po 100
2. ECI-po 100
3. BC-po 75 + BC-pe 25
4. ECI-po 75 + ECI-pe 25
5. SA1 20 + L 20 + BC-po45 + BC-pe 15
6. SA120 + L 20 + ECI-po45 + ECI-pe 15

Para realizar el ensayo se procedió primero, en algunos sustratos, a rellenar con polvo los espacios entre las paredes y el sustrato, ocasionados por la contracción del material, para evitar que el agua escapase por esos conductos. Luego se procedió a agregar un volumen de agua constante para todas las variables, de 300 cm³. Se cubrió la superficie de cada maceta con una lámina de plástico (no en forma hermética) para evitar la evaporación y se registró el tiempo que tardó en insumirse el volumen de agua (horas). Se trabajó con cuatro repeticiones por sustrato.

4.5. Análisis estadístico

Los ensayos siguieron un diseño estadístico totalmente aleatorizado. Se calcularon las medias sobre 3 y 4 repeticiones, según el ensayo, seguidas del Error Estándar de la Media (\pm SEM). Los datos de porcentajes de agua retenida, a C.C. y al tiempo final del ensayo, fueron transformados cuando fue necesario (es decir, cuando no cumplían con los supuestos del ANOVA) según $\arcsen\sqrt{x}$ para ser sometidos al análisis de la varianza (ANOVA) con $\alpha=0,05$. Las Medias fueron separadas de acuerdo a la prueba de Tukey para una $p < 0,05$. En caso de que los supuestos del ANOVA no se cumplieron, aún luego de ser transformados los datos, se utilizó el "test" de Kruskal Wallis. Los datos de tiempo de infiltración (horas), por no cumplir con los supuestos, fueron transformados según logaritmo decimal (\log_{10}), y sometidos al análisis de la

varianza (ANOVA) con $\alpha=0,05$ y las medias separadas de acuerdo a la prueba de Tukey para una $p < 0,05$.

Se debe mencionar que en el análisis estadístico del Ensayo III: “Acción de un mulch de roca mineral sobre la retención temporal del agua almacenada”, a los 37 días no se incluyeron a los testigos, debido a que la naturaleza de los datos (todos de 0 g%g de agua retenida), generaban dificultades en la aplicación del ANOVA.

No se realizó análisis estadístico sobre la pérdida diaria de agua, por ser un dato complementario en el análisis de los resultados.

5. **Resultados**

5.1. **Comparación de parámetros hídricos entre BC, ECI, SAI y L.**

5.1.1. Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal en sustratos puros y en material aluvial con lombricompuesto.

La Figura I muestra como era de esperar, un mayor porcentaje de Agua Retenida a través del tiempo por parte del L. A su vez se pueden estudiar dos aspectos: la pérdida diaria de agua que acusa cada sustrato por un lado, y el porcentaje de agua retenida a C.C. (día 0) por otro. Ambos aspectos son importantes ya que son los determinantes del agua retenida remanente al final del ensayo (día 30).

Podemos observar en la Figura I, que las pendientes para cada sustrato son aproximadamente similares, excepto para ECI-po, que presenta una pendiente levemente mayor y para “SAI+L 80:20”, junto con “BC 70:30” y L, que presentan pendientes levemente menores. La pendiente se ve reflejada en el promedio diario de pérdida de agua, el cual se puede apreciar en el Cuadro I, confirmando lo mencionado anteriormente. ECI-po presenta mayor pérdida diaria de agua (pendiente levemente mayor) que BC-po y SAI. A su vez, una mayor pérdida diaria de agua resulta en un mayor porcentaje de agua perdida al final del ensayo.

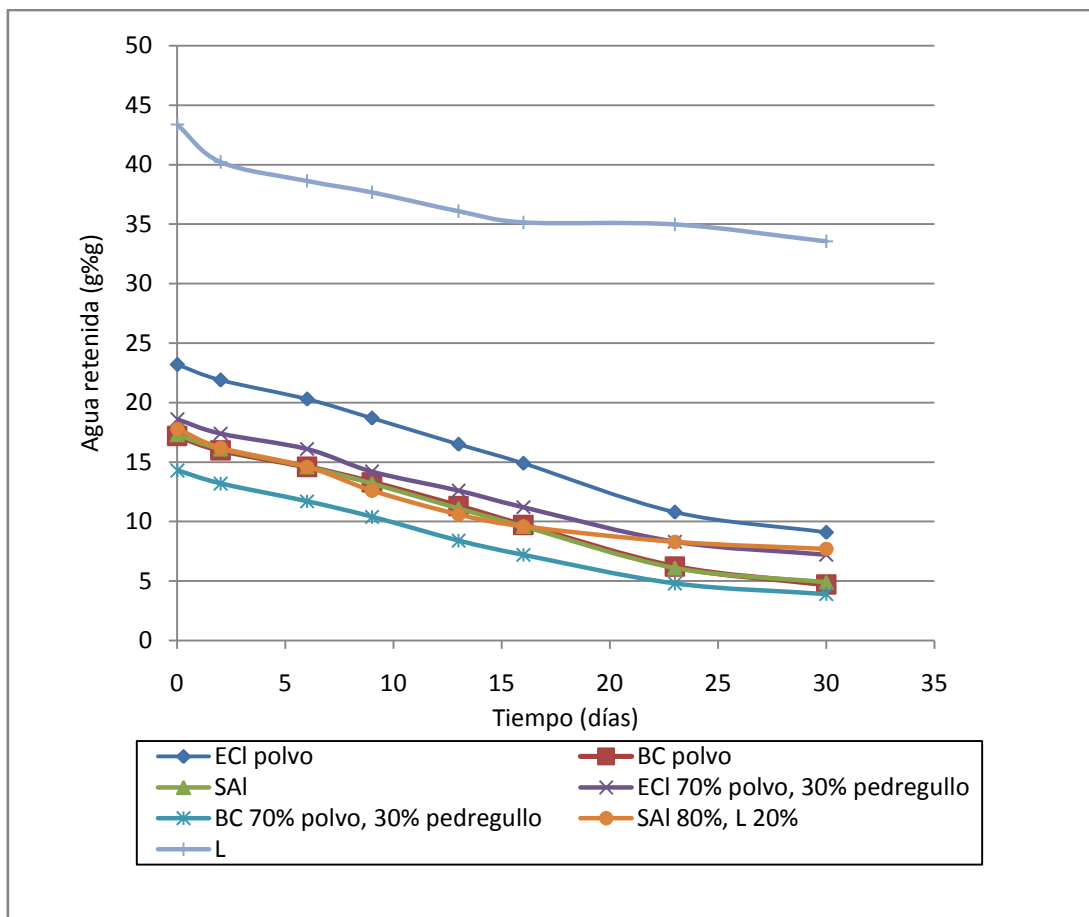


Figura I: Curva de disminución del agua retenida, en porcentaje, para distintos sustratos, a través del tiempo (reproducción de la Planilla I del Apéndice 1).

Cuadro I: Pérdida total de agua al final del ensayo y pérdida diaria para cada sustrato (\bar{X}_3 repeticiones \pm S.E. de la media aritmética entre paréntesis).

| Sustrato edáfico | Agua perdida a 30 días (g/g) | Pérdida H ₂ O/día (g/g) |
|--|------------------------------|------------------------------------|
| ECI polvo | 14,1 (0,33) | 0,47 (0,01) |
| BC polvo | 12,5 (0,14) | 0,42 (0,00) |
| SAI | 12,4 (0,57) | 0,41 (0,02) |
| ECI 70% polvo, 30% pedregullo (ECI 70:30) | 11,4 (0,35) | 0,38 (0,01) |
| BC 70% polvo, 30% pedregullo (BC 70:30) | 10,5 (0,32) | 0,35 (0,01) |
| SAI 80%, L 20% (SAI+L 80:20) | 10,1 (0,11) | 0,33 (0,00) |
| L | 9,81 (1,37) | 0,32 (0,04) |

En el Cuadro II podemos observar que la capacidad de retención de agua del polvo de ECI, a C.C., es significativamente mayor que la del resto de los sustratos, incluso aquellos de polvo de BC y de SAI puros. Por otro lado, BC 70:30 presenta el menor valor sin diferencias significativas con BC-po y SAI. Aunque hubo un incremento del porcentaje de agua retenida en SAI+L 80:20 respecto de SAI puro, la diferencia no fue significativa.

Obsérvese que se ha excluido del análisis al Lombricompuesto, ya que la capacidad retención de agua, tanto a C.C. como al finalizar el ensayo, era muy distinta y elevada

respecto a los otros sustratos, y porque dicho elemento se utiliza como complemento en los sustratos y nunca en estado puro.

A los 30 días, el sustrato con mayor porcentaje de agua retenida fue ECI-po sin diferencias significativas con ECI 70:30y SAI+L 80:20. Si presenta aún diferencias significativas el ECI-po con SAI, BC-po y BC 70:30. Éste último presentó el valor menor sin diferencias significativas con BC polvo y SAI.

Obsérvese que el agregado de L al SAI, aunque provocó una mejora en la capacidad de retención de agua, ésta no fue suficiente para genera diferencias significativas respecto al SAI puro.

Cuadro II: Porcentaje de agua retenida para los distintos sustrato a C.C y a los 30 días (\bar{X}_3 repeticiones \pm S.E. de la media aritmética entre paréntesis).

| Sustrato edáfico | Agua Retenida a C.C. (g%g) | Agua Retenida a los 30 días (g%g) |
|---|----------------------------|-----------------------------------|
| BC 70% polvo, 30% pedregullo (BC 70:30) | 14,3 a (0,6) | 3,9 a (0,4) |
| BC polvo | 17,2 ab (0,3) | 4,7 ab (0,2) |
| SAI | 17,3 ab (0,7) | 4,9 ab (0,1) |
| SAI 80%, Lombricompuesto 20% (SAI+L 80:20) | 17,8 b (1,1) | 7,7 bc (1,2) |
| ECI 70% polvo, 30% pedregullo (ECI 70:30) | 18,6 b (0,8) | 7,2 bc (0,3) |
| ECI polvo | 23,2 c (0,4) | 9,1 c (1,7) |

* Letras distintas indican diferencias significativas a nivel $p < 0,05$.

5.1.2. Variación periódica del contenido de humedad de los materiales puros a lo largo de una profundidad de 120 cm.

Este ensayo complementario y orientativo, a pesar de no contar con repeticiones, muestra:

- En los Cuadros III, IV y V, que el contenido hídrico a Capacidad de Campo, en todo el perfil resultó mayor en el polvo de ECI. Esta Capacidad superó a la del polvo de BC y a la del SAI en un valor porcentual del 9 g%g.
- El porcentaje de agua retenida en profundidad (100-120 cm) respecto del sector superficial (0-20 cm) estimado al finalizar la experiencia fue de magnitud mayor, en un 7,4 g%g para el polvo de ECI, 5,9 g%g para el polvo de BC y 3,9 g%g para el SAI. Por lo tanto la capacidad de retener agua en profundidad es mayor en el polvo de ECI y menor en el SAI.
- Al finalizar la experiencia, la pérdida de agua retenida a Capacidad de Campo en todo el perfil fue del orden del 4 g%g en el polvo de ECI, a razón de 0,27 g%g diario; 3,1 g%g en el polvo de BC, a razón de 0,21 g%g diario y 3,9 g%g en el SAI, a razón de 0,24 g%g diario.

Cuadro III: Variación periódica del agua retenida en polvo de Epidoto Clorita (ECI), a distintas profundidades.

| Días a partir de C.C. | Agua retenida (g%g) según profundidad (cm) | | | | | | $\bar{X} \pm SE$ |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|--------|---------|------------------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-110 | 110-120 | |
| 0 | 21,5 | 20,6 | 21,6 | 20,7 | 21,5 | 21,1 | 21,2 ± 0,2 |
| 4 | 17,0 | 19,7 | 20,9 | 19,9 | 20,7 | 21,6 | 20,0 ± 0,7 |
| 6 | 14,4 | 18,9 | 19,4 | 18,2 | 18,8 | 19,2 | 18,2 ± 0,8 |
| 8 | 15,1 | 18,4 | 18,7 | 18,3 | 18,2 | 18,5 | 17,9 ± 0,6 |
| 15 | 9,8 | 18,7 | 19,4 | 19,7 | 18,3 | 17,2 | 17,2 ± 1,5 |

Cuadro IV: Variación periódica del agua retenida en polvo de Barren Core (BC), a distintas profundidades.

| Días a partir de C.C. | Agua retenida (g%g) según profundidad (cm) | | | | | | $\bar{X} \pm SE$ |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|--------|---------|------------------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-110 | 110-120 | |
| 0 | 10,8 | 11,7 | 11,7 | 11,9 | 11,2 | 12,3 | 11,6 ± 0,2 |
| 6 | 8,5 | 10,1 | 11,5 | 11,5 | 9,5 | 11,1 | 10,4 ± 0,5 |
| 9 | 6,2 | 8,4 | 10,1 | 10,4 | 11,2 | 11,4 | 9,6 ± 0,8 |
| 15 | 4,4 | 7,0 | 9,8 | 9,4 | 9,9 | 10,3 | 8,5 ± 1,0 |

Cuadro V: Variación periódica del agua retenida en Suelo Aluvial (SAI), a distintas profundidades.

| Días a partir de C.C. | Agua retenida (g%g) según profundidad (cm) | | | | | | $\bar{X} \pm SE$ |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|--------|---------|------------------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-110 | 110-120 | |
| 0 | 10,1 | 11,4 | 10,0 | 10,4 | 13,5 | 17,9 | 12,2 ± 1,3 |
| 7 | 6,7 | 7,8 | 8,3 | 6,7 | 8,8 | 7,7 | 7,7 ± 0,3 |
| 13 | 6,8 | 7,5 | 8,0 | 7,9 | 8,1 | 8,4 | 7,8 ± 0,2 |
| 16 | 6,3 | 7,5 | 8,3 | 8,3 | 8,9 | 10,2 | 8,3 ± 0,5 |

En la Figura II, podemos observar que los gráficos muestran con claridad lo mencionado anteriormente. El polvo de ECI presenta mejor capacidad de retención de agua, tanto a profundidad como cerca de la superficie, que el polvo de BC y el SAI puro.

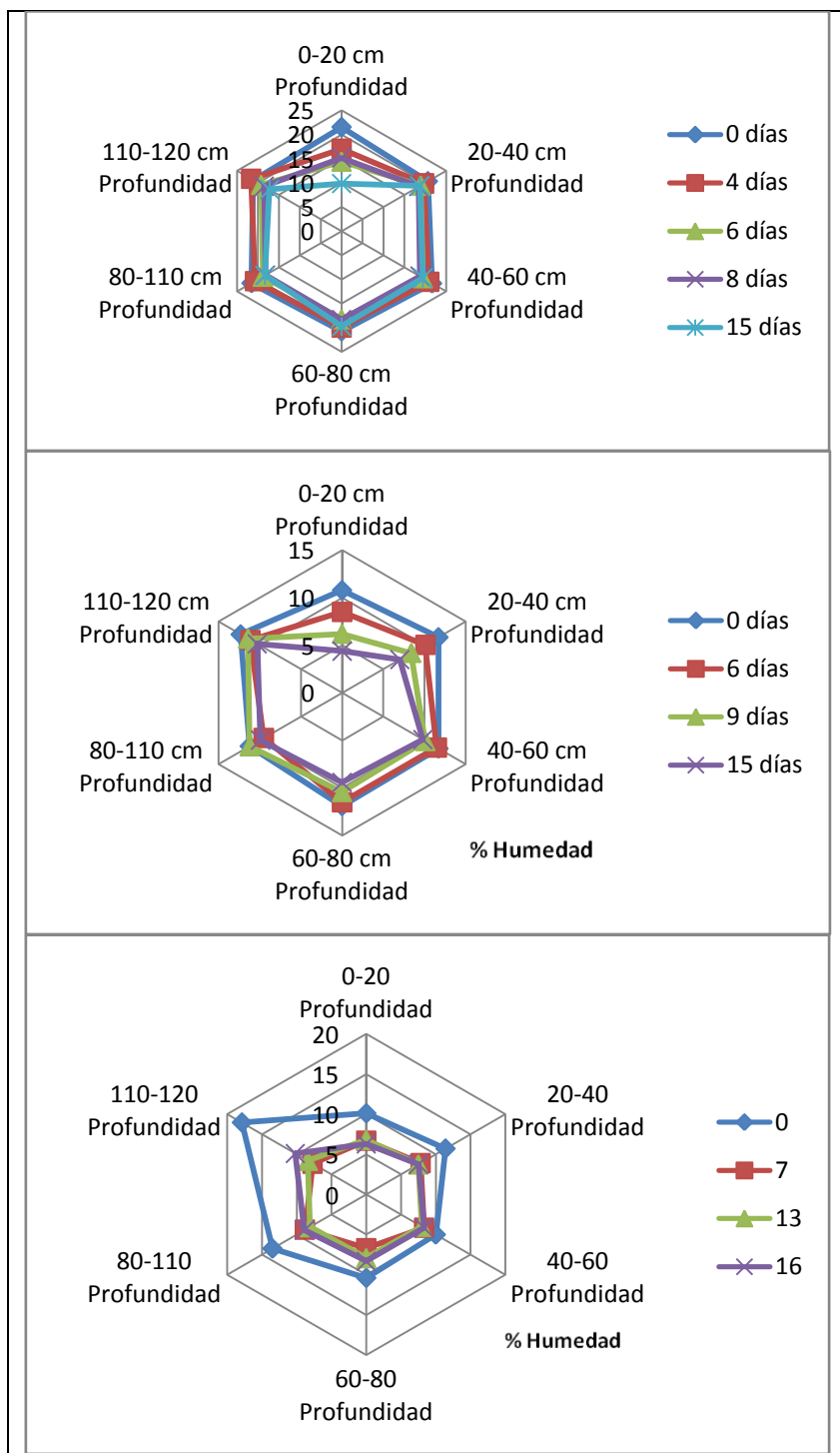


Figura II (reproducción de los Cuadro III, IV y V): Variación del gradiente de humedad en profundidad, del polvo de Epidoto Clorita a los días 0, 4, 6, 8 y 15; del polvo de Barren Core a los días 0, 6, 9 y 15; y del Suelo Aluvial a los días 0, 7, 13 y 16, respectivamente.

5.2. Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal, en sustratos edáficos de distinta composición.

Los sustratos que acusa valores superiores de agua retenida a C.C. (día 0) son aquellos que contienen en diversa proporción: polvo de ECI junto con L, ó ECI

combinado con BC y 20% de L, o BC con 20% de L, como puede apreciarse en la Figura III.

También puede apreciarse en el Cuadro VI que la presencia del polvo de ECI en los sustratos hace que la pérdida diaria de agua sea mayor que la de su similar conteniendo polvo de BC, acorde a los resultados del Ensayo I, hecho que se ve reflejado en las pendientes de las curvas de la Figura III.

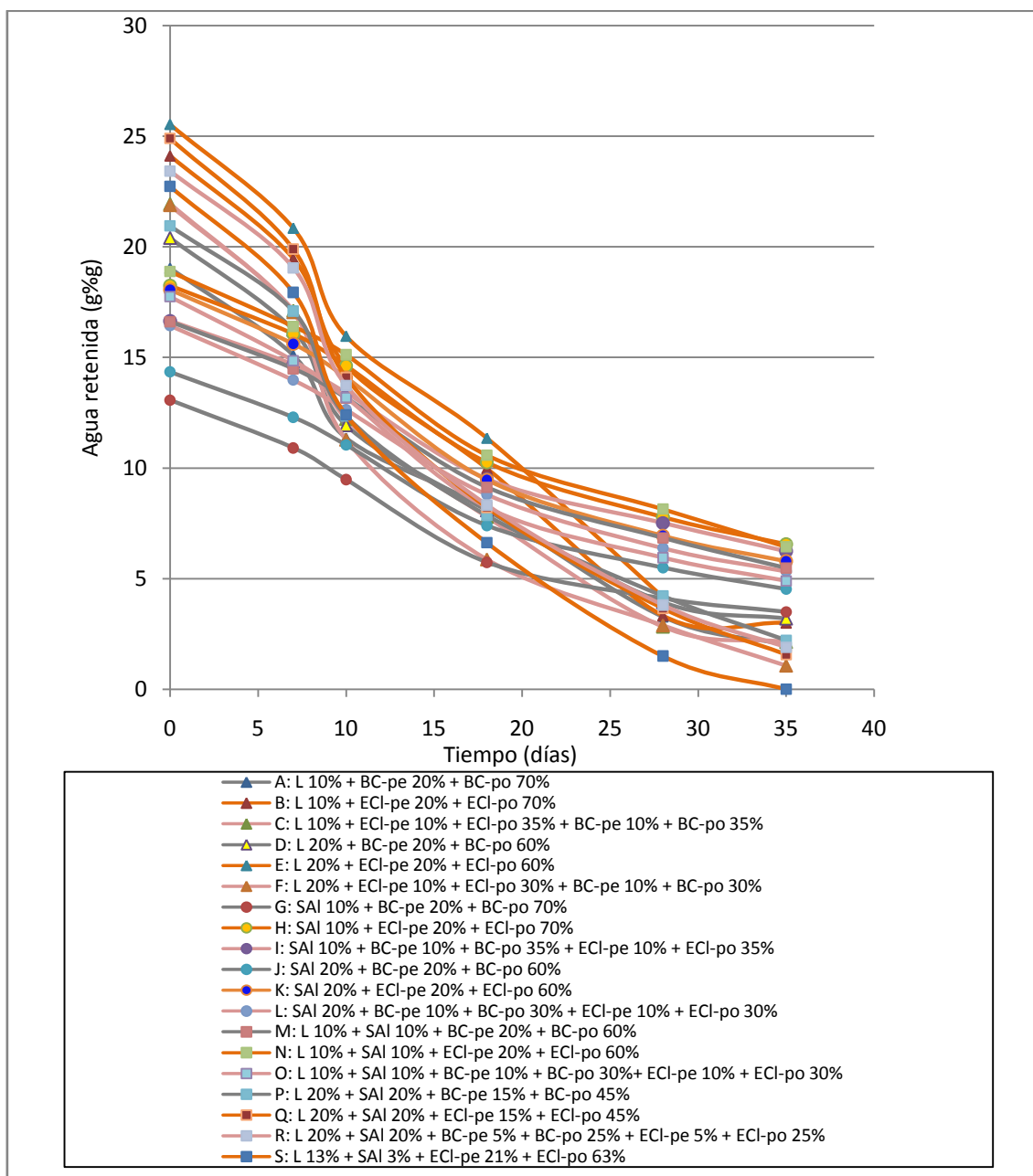


Figura III: Curvas de disminución del agua retenida, en porcentaje, para distintos sustratos, a través del tiempo (reproducción de la Planilla II del Apéndice 2). Curvas: naranjas corresponde a sustratos con ECI, rosadas a sustratos con ECI y BC, y grises a sustratos con BC. Los marcadores de: triángulo corresponden a sustratos con L, cuadrado con L y SAI, y círculos con SAI.

Cuadro VI: Pérdida diaria de agua para cada sustrato. Se muestra en gris, sustratos con BC; en rosado sustratos con mezclas de BC y ECI; en naranja sustratos con ECI.

| SUSTRATO | Pérdida H ₂ O/día (%) |
|---|----------------------------------|
| A: L10% + BC-pe 20% + BC-po 70% | 0,463 (0,001) |
| B: L 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 70% | 0,603 (0,005) |
| C: L 10% + ECI-pe 10% + ECI-po 35% + BC-pe 10% + BC-po 35% | 0,566 (0,004) |
| D: L 20% + BC-pe 20% + BC-po 60% | 0,492 (0,010) |
| E: L 20% + ECI-pe 20% + ECI-po 60% | 0,649 (0,007) |
| F: L 20% + ECI-pe 10% + ECI-po 30% + BC-pe 10% + BC-po 30% | 0,595 (0,005) |
| G: SAI 10% + BC-pe 20% + BC-po 70% | 0,274 (0,002) |
| H: SAI 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 70% | 0,336 (0,002) |
| I: SAI 10% + BC-pe 10% + BC-po 35% + ECI-pe 10% + ECI-po 35% | 0,298 (0,008) |
| J: SAI 20% + BC-pe 20% + BC-po 60% | 0,280 (0,005) |
| K: SAI 20% + ECI-pe 20% + ECI-po 60% | 0,351 (0,002) |
| L: SAI 20% + BC-pe 10% + BC-po 30% + ECI-pe 10% + ECI-po 30% | 0,317 (0,003) |
| M: L 10% + SAI 10% + BC-pe 20% + BC-po 60% | 0,318 (0,003) |
| N: L 10% + SAI 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 60% | 0,356 (0,005) |
| O: L 10% + SAI 10% + BC-pe 10% + BC-po 30%+ ECI-pe 10% + ECI-po 30% | 0,367 (0,008) |
| P: L 20% + SAI 20% + BC-pe 15% + BC-po 45% | 0,535 (0,007) |
| Q: L 20% + SAI 20% + ECI-pe 15% + ECI-po 45% | 0,667 (0,007) |
| R: L 20% + SAI 20% + BC-pe 5% + BC-po 25% + ECI-pe 5% + ECI-po 25% | 0,615 (0,005) |
| S: L 13% + SAI 3% + ECI-pe 21% + ECI-po 63% | 0,690 (0,039) |

Observamos en el Cuadro VII, que los sustratos con mayores porcentajes de agua retenida a C.C., sin presentar diferencias significativas entre ellos son aquellos que contiene ECI (polvo y pedregullos) y Lombricompuesto (a excepción del sustrato N

con un 10% de L y 10% de SAI), seguidos por los sustratos mezclas de BC y ECI con 20% de L o 10% de L pero alto contenido total de polvo (sustrato C), seguidos por sustratos con BC (polvo y pedregullo) y 20% de L.

Los que acusan un menor porcentaje de agua retenida a C.C., sin presentar diferencias significativas entre ellos, son sustratos mayormente compuestos por BC acompañado por SAI seguidos por sustratos mezclas de BC y ECI con SAI o con mezclas de SAI y L al 10% cada uno. Estos últimos junto con un sustrato de BC con estas mismas proporciones de SAI y L. Luego se observan sustratos con ECI complementados con SAI y por último dos sustratos, uno con ECI y otro con BC complementados tan sólo con un 10% de L.

Podemos sintetizar que a C.C. los sustratos con alto contenido de L (20%), primando aquellos con ECI, son los que presentan mayores porcentajes de agua retenida.

Transcurrido 35 días desde C.C., los sustratos que acusan un mayor porcentaje de agua retenida están compuestos por ECI ó mezclas de éste con BC. Los mismos contienen principalmente SAI (10% y 20%), a veces acompañado por 10 % de L, y/o porcentajes elevados de las fracciones polvo. También presentan un alto porcentaje de agua retenida dos sustratos compuestos por BC, uno acompañado de 10% de SAI y 10% de L (sustrato M), y otro con 20% de SAI (sustrato J).

Podemos sintetizar que a los 35 días los sustratos con SAI y/o porcentajes elevados de polvo, primando aquellos con ECI, son los que presenta mayores porcentajes de agua retenida.

Cuadro VII: Porcentaje de agua retenida para los distintos sustrato a C.C y a los 35 días (\bar{X}_4 repeticiones \pm S.E. de la media aritmética entre paréntesis). Los distintos colores corresponde: en gris, a sustratos con BC únicamente; en rosado a sustratos con mezclas de BC y ECI; en naranja a sustratos con ECI únicamente. Todos en distintas proporciones, junto con L y/o SAI. Con trama de puntos se presentan los sustratos complementados sólo con L, trama de barras oblicuas los complementados sólo con SAI y sin trama aquellos con mezclas SAI y L.

| SUSTRATO | Agua retenida a C.C (g%g) | SUSTRATO | Agua retenida a 35 días (g%g) |
|----------|---------------------------|----------|-------------------------------|
| G | 13,07a (0,21) | S | 0,00a (0,00) |
| J | 14,34ab (0,20) | F | 1,07ab(0,30) |
| I | 16,43abc (0,23) | Q | 1,57abc(0,30) |
| M | 16,61abc (0,10) | R | 1,90abc(0,12) |
| I | 16,65abcd (0,36) | C | 2,14abcd(0,17) |
| O | 17,74abcde (0,16) | P | 2,21abcd (0,15) |
| K | 18,06abcde (0,10) | A | 2,80abcde (0,15) |
| H | 18,24abcdef (0,07) | E | 2,82abcde(0,17) |
| N | 18,88bcdefg (0,16) | B | 2,99abcde(0,29) |
| A | 19,03cdefgh (0,15) | D | 3,19bcdef(0,21) |
| D | 20,40cdefghi (0,30) | G | 3,50cdefg (0,13) |
| P | 20,94defghi (0,21) | J | 4,53defgh(0,18) |
| F | 21,88efghi (0,16) | O | 4,90efgh(0,36) |
| C | 21,94efghi (0,30) | L | 5,33efgh (0,16) |
| S | 22,73fghi (0,08) | M | 5,48efgh(0,12) |
| R | 23,42ghi (0,14) | K | 5,78fgh(0,15) |
| B | 24,11 hi (0,26) | I | 6,23gh(0,23) |
| Q | 24,90i (0,31) | N | 6,44gh(0,29) |
| E | 25,53i (0,25) | H | 6,55h(0,08) |

* Letras distintas indican diferencias significativas a nivel $p < 0,05$.

5.3. Acción de un mulch de roca mineral sobre la retención temporal del agua almacenada.

Se puede inferir, a partir de la Figura IV, que el mulch puede disminuir, a lo largo del tiempo, la pérdida de agua que se produce normalmente por evaporación superficial de sustratos edáficos preparados con diversos componentes.

A pesar de las diferencias que ocurren entre sustratos, en todos los casos los mulch superan ampliamente a los testigos, respecto a la mayor retención temporal de agua

almacenada. Dentro de los otros 2 tratamientos, se puede observar que el de 6 cm de espesor parece ser más eficaz que el de 3 cm.

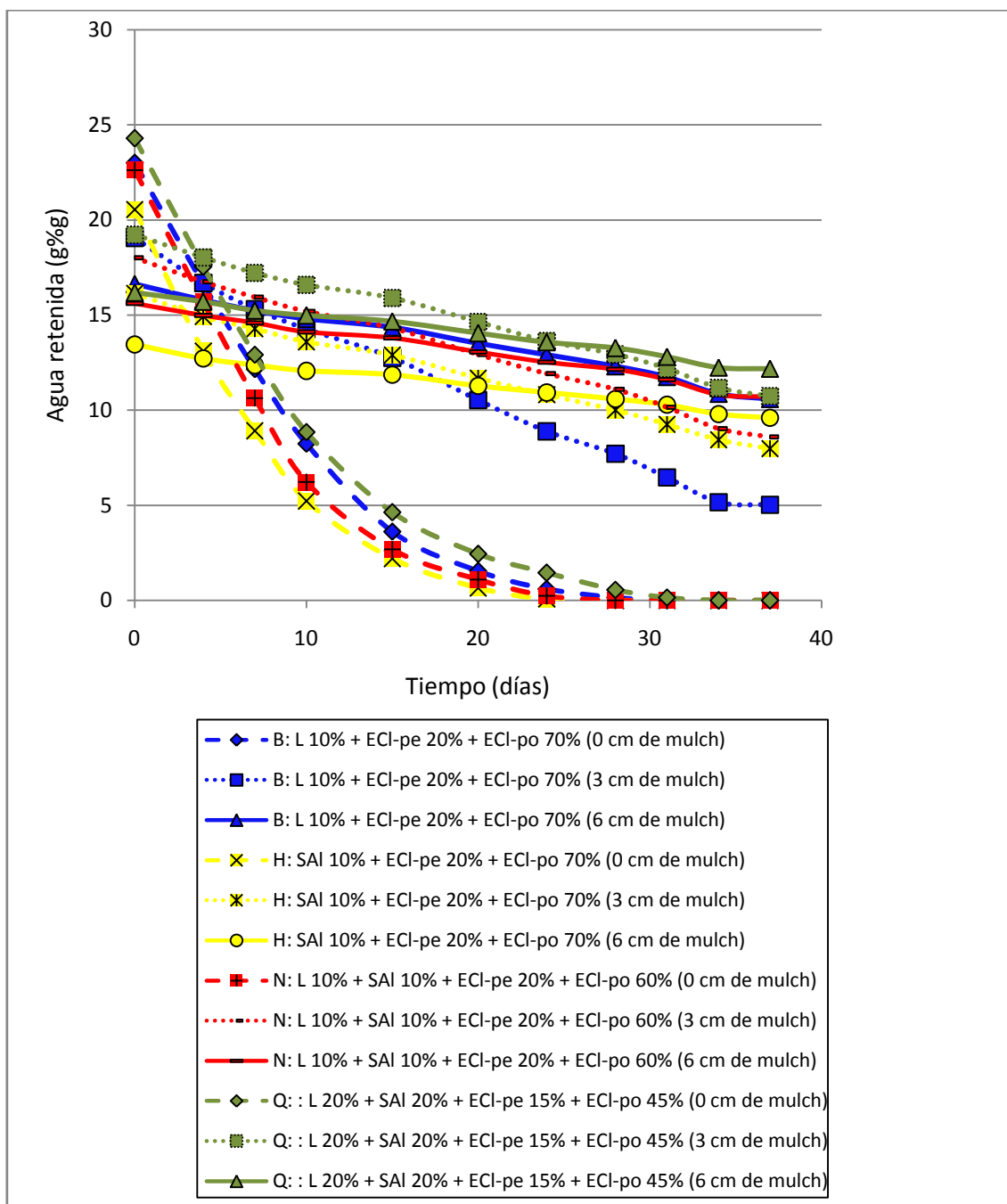


Figura IV: Curva de disminución del agua retenida para distintos sustratos y diferentes espesores de mulch, a través del tiempo (reproducción de la Planilla III del Apéndice 3). Las curvas: de guiones corresponden a 0cm de mulch, de puntos a 3cm de mulch y las continuas a 6cm de mulch.

En el Cuadro VIII se puede observar algo curioso. Aunque las macetas con mulch se llenaron con el mismo volumen de material que el testigo, más el volumen adicional correspondiente al mulch, los testigos presentan valores significativamente mayores a C.C. Esto puede haberse producido, en principio, por problemas técnicos en el

momento del riego inicial a saturación de las macetas (infiltración lenta junto con menor espacio en la parte superficial de la maceta para la lámina de riego, por ocupación de volumen por parte del mulch). Sin embargo, esta situación no fue determinante con los resultados obtenidos una vez finalizado el ensayo.

Se puede observar en el Cuadro IX, que el tratamiento con mejores respuestas fue el Q6, sin diferencias significativas con Q3, N6 y B6. Todos estos sustratos, excepto B, contienen iguales proporciones de L y SAI. Además, el agregado de mulch atenuó las diferencias en los porcentajes de agua retenidas entre sustratos a los 37 días, diferencia muy marcada que se observó a los 35 días en el Ensayo II entre estos mismo sustratos. Esto para todos los casos, excepto para el sustrato B3, con valores significativamente menores. Sin embargo, el tratamiento B6 no presenta diferencias significativas con los otros sustratos de igual espesor de mulch.

Cuadro VIII: Porcentaje de agua retenida, a Capacidad de Campo (\bar{X}_4 repeticiones \pm S.E. de la media aritmética entre paréntesis)

| Sustrato | Espesor de Mulch (cm) | Nominación | Agua retenida a C.C. (%) |
|----------|-----------------------|------------|--------------------------|
| H | 6 | H6 | 13,46a (0,22) |
| N | 6 | N6 | 15,62b (0,16) |
| H | 3 | H3 | 16,14bc (0,12) |
| Q | 6 | Q6 | 16,18bc (0,30) |
| B | 6 | B6 | 16,63c (0,18) |
| N | 3 | N3 | 18,01d (0,14) |
| B | 3 | B3 | 19,05e (0,14) |
| Q | 3 | Q3 | 19,22e (0,23) |
| H | 0 | H0 | 20,55f (0,05) |
| N | 0 | N0 | 22,62g (0,03) |
| B | 0 | B0 | 23,01g (0,14) |
| Q | 0 | Q0 | 24,29h (0,13) |

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

**Q: L 20% + SAI 20% + ECI-pe 15% + ECI-po 45%; N: L 10% + SAI 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 60%; B: L 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 70%; H: SAI 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 70%;

Cuadro IX: Porcentaje de agua retenida, a los 37 días (\bar{X}_4 repeticiones \pm S.E. de la media aritmética entre paréntesis).

| Sustrato | Espesor de Mulch (cm) | Nominación | Agua retenida a 37 días (%) |
|----------|-----------------------|------------|-----------------------------|
| B | 3 | B3 | 5,03a (0,30) |
| H | 3 | H3 | 7,98b (0,51) |
| N | 3 | N3 | 8,59bc (0,50) |
| H | 6 | H6 | 9,60bc (0,14) |
| B | 6 | B6 | 10,59cd (0,76) |
| N | 6 | N6 | 10,70cd (0,37) |
| Q | 3 | Q3 | 10,74 cd(0,65) |
| Q | 6 | Q6 | 12,18d (0,26) |

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

**Q: L 20% + SAI 20% + ECI-pe 15% + ECI-po 45%; N: L 10% + SAI 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 60%; B: L 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 70%; H: SAI 10% + ECI-pe 20% + ECI-po 70%;

5.4. Capacidad de infiltración del agua en sustratos de diversas composiciones en estado total de deshidratación.

Podemos ver en el Cuadro X que el agua no penetró en BC polvo y lo hizo en forma casi imperceptible en ECI polvo. El sustrato que contiene sólo ECI con polvo y pedregullo (sustrato W) tuvo mejor comportamiento que su similar de BC, presentando diferencias significativas en los tiempos de infiltración. Lo mismo se observó entre ECI compuesto por sus dos formas más L y SAI (sustrato Y), respecto a su similar de BC (sustrato X), presentado aquél un tiempo de infiltración significativamente menor a todos los sustratos evaluados.

Cuadro X: Tiempo de infiltración del agua en sustratos totalmente deshidratado.

| VARIABLE | Rep. Nº | Tiempo de infiltración (horas) | Promedio + - (S.E.) | OBSERVACIONES |
|--|-------------|--------------------------------|---------------------|--|
| T: BC po. | 1 a 3 | | | Ensayo dado por finalizado a los 4 días sin penetración. |
| U: ECIpo. | 1 a 3 | | | Ídem (Volumen estabilizado con una baja del nivel de 0,38 (0,05 mL)) |
| V: BC pe 25% + BC po 75% | 1 2 3 | 5,04 4,04 5,48 | 4,85a (0,43) | |
| W: ECI pe 25% + ECIpo 75% | 1 2 3 | 2,22 2,18 2,31 | 2,24b (0,04) | |
| X: BC pe 15% + BC po 45% + L 20% + SAI 20% | 1 2 3 | 0,29 0,36 0,22 | 0,29c (0,04) | |
| Y: ECI pe 15% + ECIpo 45% + L 20% + SAI 20% | 1 2 3 | 0,19 0,11 0,14 | 0,15d (0,02) | |

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

6. Discusión

El estudio de las propiedades hídricas de los distintos sustratos obtenidos a partir de los materiales rocosos de desecho ECI y BC, juntos con enmiendas de SAI y L, aportó

resultados interesantes, confirmando la aptitud de algunos de ellos para fines de revegetación, así como las mejores propiedades hídricas del material de ECI, sobre BC.

Cuando se analizó la “Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal en sustratos puros y en material aluvial con lombricompuesto”, se observó que ECI polvo presenta una pérdida diaria de agua mayor que BC polvo y Suelo Aluvial debido posiblemente a que retiene el agua con menor fuerza. Por su parte, la menor pérdida de agua que acusan los polvos complementados con pedregullo sería debido a una menor evaporación por disminución de la capilaridad. También se puede apreciar el efecto del agregado del Lombricompuesto en el SAI, como una menor pérdida de agua diaria con respecto a los otros sustratos.

Podemos afirmar a partir de este ensayo, que ECI polvo presenta valores de agua retenida mayores que los otros sustratos, tanto a C.C. como luego de transcurridos los 30 días. Sin embargo, al finalizar el ensayo el valor deja de ser significativamente distinto con respecto a “ECI 70:30” y “SAI+L 80:20”. Esto debido a la mayor pérdida diaria de agua que acusa el ECI polvo, junto con la menor pérdida de agua de ECI al incorporarle pedregullo y del SAI al incorporarle el L. Todo esto pone de manifiesto las mejores propiedades hídricas de ECI con respecto a los otros materiales, y la importancia de la incorporación de materia orgánica para lograr aumentos en el agua retenida por los sustratos.

A su vez, el agregado de pedregullo a los polvos de ECI y BC provocó valores menores de agua retenida a C.C. y 30 días, respecto a los polvos en estado puro. Sin embargo, finalizado el ensayo estas diferencias no son significativas, y el empleo de pedregullo en la obtención de los sustratos es fundamental porque los provee de macroporosidad (espacios de aire) lo cual es favorable para el crecimiento de las plantas en el proceso de revegetación en que están implicados éstos.

El análisis de la “Variación periódica del contenido de humedad de los materiales puros a lo largo de una profundidad de 120 cm” nos da una idea del comportamiento a profundidad de los distintos sustratos en estado puros. Se pudo observar que el polvo de Epidoto Clorita aún presentando una mayor pérdida diaria, muestra un mayor porcentaje de agua retenida en todo el perfil al finalizar el ensayo, comparado a los otros sustratos. Por su parte, el comportamiento de BC y SAI con respecto a la pérdida y retención de agua no difirieron demasiado entre ellos.

En el estudio de la “Capacidad de almacenaje de agua y su retención temporal, en sustratos edáficos de distinta composición”, se observó a C.C. que los sustratos que contienen ECI con L, y otros que contienen Lombricompost en un 20%, presentan mayor retención de agua a C.C. Esto nos confirma la importancia de la materia orgánica, ya que favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, lo cual es especialmente importante en el caso de los suelos arenosos (FAO, 2000). Esto se puede corroborar en diferentes estudios de investigación de suelos. Al respecto Adamu y Aliyu (2012) encontraron en tres suelos con distintos manejos, que la capacidad de retención de agua del suelo aumentó con un aumento del contenido de materia orgánica del suelo. Lo mismo se observó en diversos suelos del Estado de Santa Catarina, Brasil, donde suelos con mayor contenido de materia orgánica presentaban mayor retención y disponibilidad de agua (Da Costa et al., 2013). Se puede afirmar por lo tanto que la adición de materia orgánica del suelo aumenta la capacidad de retención de agua del suelo (Ekwue, 1990, citado por Adamu y Aliyu, 2012).

No se observó lo mismo con el Suelo Aluvial en cuanto a efectos positivos sobre la retención de agua a C.C.

Transcurridos 35 días, los factores determinantes en la preservación del agua a largo plazo parecen ser principalmente las fracciones polvos y el SAI. Esto podría ser consecuencia de que a bajos contenidos de agua los poros de menor tamaño, más abundantes en aquellos sustratos con mayor contenido de polvo y SAI, son los principales responsables en la retención de agua.

Podemos analizar también que el agua contenida al finalizar el ensayo (35 días) será función del contenido hídrico a C.C. y la pérdida diaria de agua que acusa cada sustrato. En este ensayo vemos que al ser la pérdida diaria de agua en sustrato con ECI mayor que en aquellos con BC el porcentaje de agua retenida a los 35 días no difiere demasiado entre sustratos similares de estos materiales (aún presentando los sustratos con ECI mayores valores a C.C.). Sin embargo estos resultados podrían ser consecuencia de los pequeños volúmenes con los que se trabajó por maceta, ya que en el Ensayo I, Parte A y B si hubo una diferencia notable en los porcentajes de agua retenida al final de cada ensayo entre ambos materiales con la diferencia en que se encontraban en estado puro (sin SAI ni L).

En el análisis de la “Acción de un mulch de roca mineral sobre la retención temporal del agua almacenada” se demostró la influencia del mulch en su capacidad para aumentar el porcentaje de agua retenida en el suelo.

Los mejores tratamientos fueron Q6, Q3, N6 y B6 ya que presentaron mayores porcentajes de agua retenida a los 37 días, sin diferencias significativas entre ellos. Todos estos sustratos, excepto B, contienen iguales proporciones de L y SAI. A su vez, las diferencias encontradas en el Ensayo II entre estos sustratos prácticamente desaparecen con el agregado de mulch. Esto debido a que la estructura que forma al esparcirlo sobre la superficie evaporante (hoyo de plantación por ej.), deja poros en sentido vertical cuyos diámetros son mucho más grandes que el de los capilares. De ésta manera se controla el ascenso capilar del agua en gran medida.

A saber, la utilización de mulch de grava y arena, es una técnica de cultivo (conocido como Shatian en chino) diseñada para conservar las lluvias esporádicas y limitadas en la región de suelos de loess de drenaje rápido en el noroeste de China. Estudios sobre los efectos beneficiosos de éstos sobre la conservación del suelo y del agua han demostrado que son eficaces en la supresión de la evaporación y las coberturas formadas por mezcla de grava y arena tienden a reducir la evaporación de manera más eficaz en comparación con la grava puro o mulch de arena pura, y que la grava o las coberturas de grava y arena mezclada reducen la escorrentía e incrementan el almacenamiento de la humedad del suelo en comparación con suelos desnudos (Li, et al., 2002; Wang et al., 2011; Fan et al., 2014).

Respecto al estudio de la “Capacidad de infiltración del agua en sustratos de diversas composiciones en estado total de deshidratación”, se observó que los sustratos que contienen únicamente polvo, al secarse adquieren una consistencia pétreo tal, que impiden la infiltración del agua. De todas maneras, debe tenerse en cuenta que los polvos de ambos minerales en estado “pétreo” pueden disgregarse por golpes de herramientas (martillo, pala, barreta, etc.). La introducción de los componentes pedregullos en distintos porcentajes, más el agregado de Humus y Suelos Aluvial, en ese orden, mejoran notablemente el proceso de infiltración en estos sustratos totalmente secos. El agregado de materia orgánica es de crucial importancia para un aumento en la permeabilidad del suelo y con ello en la conductividad hidráulica (Curtis et. al, 2007), reflejándose en una mayor infiltración. En general, la materia orgánica del suelo tiende a aumentar la tasa de infiltración de agua en el suelo. Sin embargo, también depende del manejo y de la presencia de capas compactadas dentro del perfil del suelo (Martínez et al., 2008). Existen diversos trabajos que confirman la relación

positiva de la materia orgánica con la infiltración (Reddy, 1991; Pikul y Allmaras, 1986; Fuentes et al., 2004, citados por Martínez et al., 2008).

7. Conclusiones

Se puede concluir en primera instancia, que el Epidoto Clorita (ECI) presenta mejores propiedades hídricas (capacidad de retención de agua e infiltración) que Barren Core (BC) y Suelo Aluvial (SAI), aún presentando mayor pérdida diaria de agua.

En segunda instancia, los sustrato mezclas que mejores resultados presentan respecto a la retención de agua y tiempo de infiltración en general son aquellos de ECI con Lombricompost (L) o proporciones equivalente de SAI y L, además del pedregullo. El L proporcionaría no sólo abundante agua en los primeros días luego del riego sino también aportaría nutrientes para las plantas. Las fracciones más finas, junto con el SAI son las que retienen agua con mayor fuerza, provocando que los sustratos aún mantengan agua luego de transcurridos más de 30 días desde C.C. La fracción pedregullo, junto con el SAI y L, son elementos importante respecto a la capacidad de infiltración. De esta manera se demuestra la importancia de todos los materiales en la obtención de un sustrato adecuado.

Por último, cabe destacar los beneficios del mulch mineral en la retención de agua, al disminuir la evaporación superficial, siendo una técnica simple y práctica de aplicar, con resultados muy útiles respecto a las tareas de revegetación, ya que su agregado permitiría un menor número de riegos durante el establecimiento de las plantas.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Adamu, G.K.; y Aliyu, A.K. (2012). Determination of the Influence of Texture and Organic Matter on Soil Water Holding Capacity in and Around Tomas Irrigation Scheme, Dambatta Local Government Kano State. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 4(12): 1038-1044. ISSN: 2041-0492.
- Barber, R. y Shaxson, F. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de laFAO* 79. ISSN 1020-0657.
- Buchanan, S.J.; So, H.B; Kopittke, P.M.; y Menzies, N.W. (2010). Influence of texture in bauxite residues on void ratio, water holding characteristics, and penetration resistance. *Geoderma* 158: 421–426.
- Cony, M.; Fernández, M.E; & Páez, J. (2012). Revegetación de zonas áridas argentinas en yacimientos mineros. Simposio sobre restauración ecológica. XXV Reunión Argentina de Ecología. Luján, Buenos Aires. 24-28 de septiembre de 2012 (Resumen).
- Curtis, Matthew J.; y Claassen, Victor P. (2007). Using Compost to Increase Infiltration and Improve the Revegetation of a Decomposed Granite Roadcut. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2: 215–218. ISSN 1090-0241.
- Da Costa, André; Albuquerque J. A.; Da Costa, Adriano; Pértile, P. yRodrigues da Silva,F. (2013). Water retention and availability in soils of thestate of santacatarina-brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:1535-1548.
- Dudeney, A.W.L.; Tarasova, I.I.; y Tyrologou, P. (2004). Co-utilisation of mineral and biological wastes in mine site restoration. *Minerals Engineering* 17:131–139.
- Fan, J.; Gao, Y.; Wang, Q.;Sukhdev, S. M.; y Li, Y. (2014).Mulching effects on water storage in soil and its depletion by alfalfa in the Loess Plateau of northwestern China. *Agricultural Water Management* 138: 10–16.
- FAO (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas de la FAO* 8. Roma.

- Franzluebbers, A.J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research* 66: 197–205.
- Gobierno de Chile (2002). Guía Metodológica sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera. Acuerdo marco de producción limpia sector Gran Minería. Buenas prácticas y gestión ambiental. Chile, 77pp.
- Gobierno de Chile (2006). Manual general de minería y metalurgia. Minas, concentradoras, refinerías, fundiciones, LIX/SX/EW. Portal Minero Ediciones, Santiago, Chile, 399pp.
- Li, M.S. (2006). Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice. *Science of the Total Environment*, 357: 38-53.
- Li, X.; Zhang, R.; Gong, J.; y Xie, Z. (2002). Soil and Water Accumulation by Gravel and Sand Mulches in Western Loess Plateau of Northwest China. 12th ISCO Conference. Beijing, China. 26 al 31 de mayo de 2002.
- Lyon, T.L y Buckman, H.O. (1952). Edafología, Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Traducción del Inglés por V. S. Nicollier. ACME AGENCY SRL, Buenos Aires, 479pp.
- Martínez H., E.; Fuentes E., J. P.; Acevedo H., E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C.SueloNutr. Veg.* 8(1): 68-96.
- McKean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Documento de trabajo No. 129, 103pp.
- Olson, Nicholas C.; Gulliver, John S.; Nieber, John L.; y Kayhanian, Masoud (2013). Remediation to improve infiltration into compact soils. *Journal of Environmental Management* 117: 85-95.
- Patrzalek A.; Kaszubkiewicz, J.; Chodak, T.; y Szerszeń, L. (2001). Evaluation of water retention on the surface of embankment constructed from the carboniferous waste products. *International Agrophysics* 15: 261-267.

- Shaxson, F. y Barber R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO 79. Roma.
- Tordoff, GM; Baker, AJM; & AJ Willis (2000). Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41: 210-228.
- Wang, Y.; Xie, Z.; Malhi, S. S.; Vera, C. L.; Zhang, Y.; y Guo, Z. (2011). Effects of gravel-sand mulch, plastic mulch and ridge and furrow rainfall harvesting system combinations on water use efficiency, soil temperature and watermelon yield in a semi-arid Loess Plateau of northwestern China. *Agricultural Water Management* 101: 88– 92.

APÉNDICE

Apéndice 1**Ensayo I. Primera parte.**

PLANILLA1: \bar{x} _{3 repeticiones} ± SE entre paréntesis (correspondiente a la Figura I)

| Sustrato edáfico | Agua retenida a C.C. y su disminución con el tiempo (%). Tiempo en días. | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 0 | 2 | 6 | 9 | 13 | 16 | 23 | 30 |
| ECI polvo | 23,2 (0,4) | 21,9 (0,4) | 20,3 (0,4) | 18,7 (0,4) | 16,5 (0,3) | 14,9 (0,4) | 10,8 (0,3) | 9,1 (1,7) |
| BC polvo | 17,2 (0,3) | 16,0 (0,3) | 14,6 (0,3) | 13,3 (0,3) | 11,3 (0,3) | 9,7 (0,3) | 6,2 (0,2) | 4,7 (0,2) |
| SAI | 17,3 (0,7) | 16,1 (0,7) | 14,6 (0,6) | 13,2 (0,6) | 11,1 (0,5) | 9,6 (0,4) | 6,1 (0,1) | 4,9 (0,1) |
| ECI 70% polvo, 30% pedregullo | 18,6 (0,8) | 17,4 (0,7) | 16,1 (0,8) | 14,2 (0,6) | 12,6 (0,8) | 11,2 (0,8) | 8,3 (0,5) | 7,2 (0,3) |
| BC 70% polvo, 30% pedregullo | 14,3 (0,6) | 13,2 (0,6) | 11,7 (0,6) | 10,4 (0,6) | 8,4 (0,6) | 7,2 (0,7) | 4,8 (0,5) | 3,9 (0,4) |
| SAI 80%, L 20% | 17,8 (1,1) | 16,2 (1,1) | 14,6 (1,2) | 12,6 (1,2) | 10,6 (1,1) | 9,6 (1,2) | 8,3 (1,2) | 7,7 (1,2) |
| L | 43,37 (4,90) | 40,22 (4,56) | 38,63 (4,43) | 37,67 (4,16) | 36,09 (4,12) | 35,15 (4,12) | 34,98 (4,00) | 33,56 (3,26) |

Apéndice 2

Ensayo II

PLANILLA II: $\bar{X}_{4 \text{ repeticiones}} \pm \text{SE}$ entre paréntesis (correspondiente a la Figura II)

| Sustrato edáfico | Agua retenida a C.C. y su disminución con el tiempo (%). | | | | | |
|---|--|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | Tiempo en días. | | | | | |
| | 0 | 7 | 10 | 18 | 28 | 35 |
| A: L 10% + BC-pe 20% + BC-po 70% | 19,03 (0,15) | 15,09 (0,17) | 11,35 (0,18) | 8,14 (0,13) | 3,27 (0,16) | 2,00 (0,15) |
| B: L 10% + ECl-pe 20% + ECl-po 70% | 24,11 (0,26) | 19,46 (0,34) | 14,63(0,52) | 9,97 (0,72) | 3,32 (0,34) | 2,99 (0,41) |
| C: L 10% + ECl-pe 10% + ECl-po 35% + BC-pe 10% + BC-po 35% | 21,94 (0,30) | 17,12 (0,31) | 12,22 (0,45) | 7,79 (0,56) | 2,83 (0,21) | 2,14 (0,17) |
| D: L 20% + BC-pe 20% + BC-po 60% | 20,40 (0,30) | 16,24 (0,17) | 11,93 (0,19) | 8,08 (0,26) | 3,93 (0,23) | 3,19 (0,21) |
| E: L 20% + ECl-pe 20% + ECl-po 60% | 25,53 (0,25) | 20,84 (0,25) | 15,96 (0,30) | 11,35 (0,28) | 4,16 (0,20) | 2,82 (0,17) |
| F: L 20% + ECl-pe 10% + ECl-po 30% + BC-pe 10% + BC-po 30% | 21,88 (0,16) | 17,04 (0,56) | 11,28 (0,81) | 5,87 (1,00) | 2,89 (0,51) | 1,07 (0,30) |
| G: L 20% + ECl-pe 20% + ECl-po 60% | 13,07 (0,21) | 10,91 (0,22) | 9,48 (0,32) | 5,74 (0,29) | 4,11 (0,18) | 3,50 (0,13) |
| H: SAI 10% + ECl-pe 20% + ECl-po 70% | 18,24 (0,07) | 16,06 (0,19) | 14,62 (0,26) | 10,25 (0,37) | 7,78 (0,18) | 6,55 (0,08) |
| I: SAI 10% + BC-pe 10% + BC-po 35% + ECl-pe 10% + ECl-po 35% | 16,65 (0,36) | 14,67 (0,31) | 13,39 (0,38) | 9,50 (0,45) | 7,51 (0,32) | 6,23 (0,23) |
| J: SAI 20% + BC-pe 20% + BC-po 60% | 14,34 (0,20) | 12,29 (0,21) | 11,04 (0,26) | 7,40 (0,38) | 5,50 (0,22) | 4,53 (0,18) |
| K: SAI 20% + ECl-pe 20% + ECl-po 60% | 18,06 (0,10) | 15,61 (0,22) | 14,09 (0,31) | 9,46 (0,23) | 6,93 (0,17) | 5,78 (0,15) |
| L: SAI 20% + BC-pe 10% + BC-po 30% + ECl-pe 10% + ECl-po 30% | 16,43 (0,23) | 13,97 (0,28) | 12,63 (0,31) | 8,80 (0,38) | 6,38 (0,28) | 5,33 (0,16) |
| M: L10% + SAI 10% + BC-pe 20% + BC-po 60% | 16,61 (0,10) | 14,49 (0,18) | 13,16 (0,16) | 9,13 (0,17) | 6,84 (0,13) | 5,48 (0,12) |
| N: L 10% + SAI 10% + ECl-pe 20% + ECl-po 60% | 18,88 (0,16) | 16,40 (0,44) | 15,12 (0,46) | 10,58 (0,44) | 8,14 (0,40) | 6,44 (0,29) |
| O: L 10% + SAI 10% + BC-pe 10% + BC-po 30%+ ECl-pe 10% + ECl-po 30% | 17,74 (0,16) | 14,85 (0,33) | 13,18 (0,40) | 8,22 (0,53) | 5,95 (0,40) | 4,90 (0,36) |
| P: L 20% + SAI 20% + BC-pe 15% + BC-po 45% | 20,94 (0,21) | 17,09 (0,19) | 12,35 (0,19) | 7,85 (0,19) | 4,21 (0,21) | 2,21 (0,15) |
| Q: L 20% + SAI 20% + ECl-pe 15% + ECl-po 45% | 24,90 (0,31) | 19,90 (0,34) | 14,10(0,54) | 8,22 (0,70) | 3,66 (0,53) | 1,57 (0,30) |
| R: L 20% + SAI 20% + BC-pe 5% + BC-po 25% + ECl-pe 5% + ECl-po 25% | 23,42 (0,14) | 19,05 (0,02) | 13,73 (0,18) | 8,33 (0,23) | 3,81 (0,19) | 1,90 (0,12) |
| S: L 13% + SAI 3% + ECl-pe 21% + ECl-po 63% | 22,73 (0,08) | 17,94 (0,12) | 12,40 (0,15) | 6,62 (0,18) | 1,50 (0,50) | 0,00 (0,00) |

Apéndice 3

Ensayo III

PLANILLA III: \bar{x} 4 repeticiones \pm SE entre paréntesis (correspondientes a la Figura IV)

| Sustrato edáfico | Espesor de mulch (cm) | Agua retenida a C.C. y su disminución con el tiempo (%). Tiempo en días. | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 0 | 4 | 7 | 10 | 15 | 20 | 24 | 28 | 31 | 34 | 37 |
| B | 0 | 23,01 (0,14) | 16,63 (0,14) | 12,16 (0,27) | 8,24 (0,40) | 3,62 (0,25) | 1,54 (0,11) | 0,61 (0,12) | 0,15 (0,09) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) |
| | 3 | 19,05 (0,14) | 16,69 (0,14) | 15,31 (0,18) | 14,27 (0,28) | 12,76 (0,40) | 10,53 (0,53) | 8,89 (0,60) | 7,71 (0,67) | 6,47 (0,71) | 5,16 (0,72) | 5,03 (0,30) |
| | 6 | 16,63 (0,18) | 15,79 (0,09) | 15,24 (0,13) | 14,80 (0,13) | 14,36 (0,22) | 13,52 (0,36) | 12,92 (0,44) | 12,31 (0,50) | 11,75 (0,64) | 10,86 (0,73) | 10,59 (0,76) |
| H | 0 | 20,55 (0,05) | 13,11 (0,97) | 8,92 (1,20) | 5,23 (0,89) | 2,20 (0,28) | 0,66 (0,14) | 0,08 (0,08) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) |
| | 3 | 16,14 (0,12) | 14,93 (0,22) | 14,29 (0,18) | 13,59 (0,21) | 12,90 (0,31) | 11,68 (0,36) | 10,82 (0,37) | 10,01 (0,41) | 9,26 (0,50) | 8,45 (0,51) | 7,98 (0,51) |
| | 6 | 13,46 (0,22) | 12,72 (0,21) | 12,37 (0,20) | 12,07 (0,22) | 11,87 (0,22) | 11,28 (0,16) | 10,93 (0,21) | 10,59 (0,19) | 10,29 (0,17) | 9,80 (0,14) | 9,60 (0,14) |
| N | 0 | 22,62 (0,03) | 15,69 (0,13) | 10,64 (0,21) | 6,22 (0,32) | 2,68 (0,13) | 1,10 (0,15) | 0,24 (0,08) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) |
| | 3 | 18,01 (0,14) | 16,76 (0,20) | 15,94 (0,23) | 15,19 (0,28) | 14,31 (0,32) | 12,93 (0,44) | 11,92 (0,52) | 11,10 (0,58) | 10,16 (0,61) | 9,03 (0,65) | 8,59 (0,50) |
| | 6 | 15,62 (0,16) | 14,98 (0,10) | 14,60 (0,08) | 14,12 (0,11) | 13,80 (0,12) | 13,06 (0,16) | 12,52 (0,21) | 12,15 (0,24) | 11,61 (0,30) | 10,81 (0,32) | 10,70 (0,37) |
| Q | 0 | 24,29 (0,13) | 17,55 (0,12) | 12,92 (0,18) | 8,85 (0,24) | 4,63 (0,17) | 2,44 (0,15) | 1,45 (0,19) | 0,56 (0,15) | 0,16 (0,09) | 0,00 (0,00) | 0,00 (0,00) |
| | 3 | 19,22 (0,23) | 18,03 (0,42) | 17,22 (0,46) | 16,59 (0,47) | 15,90 (0,49) | 14,64 (0,58) | 13,63 (0,57) | 12,94 (0,62) | 12,19 (0,62) | 11,18 (0,62) | 10,74 (0,65) |
| | 6 | 16,18 (0,30) | 15,71 (0,28) | 15,24 (0,30) | 14,98 (0,32) | 14,67 (0,29) | 14,05 (0,30) | 13,58 (0,25) | 13,27 (0,30) | 12,81 (0,26) | 12,24 (0,25) | 12,18 (0,26) |

*B: L 10% + ECI pedregullo 20% + ECI polvo 70%; H: SAI 10% + ECI pe 20% + ECIpo 70%; N: L 10% + SAI 10% + ECI pe 20% + ECIpo 60%; Q: L 20% + SAI 20% + ECI pe 15% + ECIpo 45%