

Efectos de la aplicación de poliacrilamidas en dos presentaciones (sólida y líquida) sobre características físicas de un suelo arenoso.

Bongiorno, Florencia Marlene

Legajo 24.550/8

DNI 28.460.440

florenciabongiorno@gmail.com

0221 15 611 6404

Aspirante al título de Ing. Forestal

Oroz, Mariana

Legajo 26.918/0

DNI 34.773.916

maro_oroz@hotmail.com

2314 15 624 760

Aspirante al título de Ing. Agrónoma

Nombre del Director: Ing. Agr. Guillermo Millan

Nombre del Co – Director: Ing. Agr. Luciano Larrieu

Fecha de entrega.

Modalidad Investigación a dúo

Efectos de la aplicación de poliacrilamidas en dos presentaciones (sólida y líquida) sobre características físicas de un suelo arenoso.

Resumen:

Los suelos con textura arenosa, debido a su baja capacidad de retención de agua, nutrientes y elevada permeabilidad, no se adaptan como área de cultivo ni de captación. Una forma de lograr un manejo más eficiente del agua es con el uso de hidrogeles, que constituyen una alternativa sustentable y eficiente para reducir las pérdidas de agua propiciadas por la evaporación y percolación. Dentro de estos polímeros podemos encontrar lo que comúnmente se conoce como poliacrilamida (PAM), la cual es un subproducto de los procesos petroquímicos. Comercialmente las PAM están disponibles en dos tipos de formulaciones: sólida, de grano fino, y emulsiones líquidas.

Con el objetivo de evaluar la incidencia sobre las propiedades hidrofísicas de un suelo franco arenoso al agregado de distintos tipos y dosis de PAM, se analizaron su retención hídrica, estabilidad estructural y su efecto en la biomasa, mediante la producción de materia seca y los días hasta senescencia luego del último riego.

El agregado de dosis crecientes de PAM sólida aumenta la retención hídrica de un suelo arenoso, no siendo así ante el agregado de PAM líquida.

El agregado de concentraciones crecientes de PAM líquida y sólida aumenta la estabilidad estructural de un suelo arenoso, obteniéndose con PAM líquida valores mayores de estabilidad para igual dosis de PAM. El incremento en la dosis de PAM sólida aumenta la cantidad de días antes de la senescencia debida al déficit hídrico y aumenta la producción de materia seca, mientras que el rendimiento no se ve incrementado al utilizar PAM líquida.

Índice:

1.	Introducción	
1.1	Marco teórico	1
1.2	Objetivos	
1.2.1	General	8
1.2.2	Particulares	9
1.3	Hipótesis	
1.3.1	General	9
1.3.2	Particulares	9
2.	Materiales y Métodos	9
3.	Resultados	
3.1	Tratamiento con agregado de PAM sólida	
3.1.1	Sin vegetación	13
3.1.2	Con vegetación	15
3.2	Tratamiento con agregado de PAM líquida	
3.2.1	Sin vegetación	17
3.2.2	Con vegetación	19
4.	Discusión	
4.1	Comparación tratamientos con PAM sólida	22
4.2	Comparación tratamientos con PAM líquida	27
4.3	Comparación entre PAM sólida y líquida	
4.3.1	Sin vegetación	29
4.3.2	Con vegetación	31
5.	Conclusiones	33
6.	Bibliografía	34

Efectos de la aplicación de poliacrilamidas en dos presentaciones (sólida y líquida) sobre características físicas de un suelo arenoso.

1. Introducción

1.1 Marco teórico

Del agua que existe en el mundo, únicamente 2,53% es agua dulce, a su vez aproximadamente las dos terceras partes de ésta se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas (UNESCO, 2003). El agua dulce es imprescindible para la vida, pero la cantidad disponible es escasa y su distribución desigual. Las precipitaciones, las extracciones y la disponibilidad de agua varían considerablemente en el mundo. Así, las lluvias no están distribuidas de manera uniforme en todas las regiones y debe recalcar que tan importante como la cantidad de agua caída, es su distribución durante el año (FAO, 1993; FAO, 1996).

Casi toda el agua dulce que no está congelada se encuentra bajo la superficie en forma de agua subterránea, ésta en general es de muy buena calidad, y se extrae principalmente para obtener agua potable y para uso agrícola (Green Facts, 2009). Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego, el cual es un componente fundamental del conjunto de medidas técnicas necesarias para elevar la productividad (FAO, 1993; UNESCO, 2015).

La calidad del agua también es relevante en este contexto. Debido al aumento de la reutilización y recirculación del agua, como respuesta a la escasez de la misma, la calidad tiende a deteriorarse, reduciendo por tanto la disponibilidad de agua de calidad suficiente para ciertos usos (FAO, 2013a).

América Latina es una de las regiones más ricas en recursos hídricos, participando con un 26% del agua del planeta para solamente 6% de la

población. Ser el continente más rico desde el punto de vista de la disponibilidad de agua per cápita, no implica que no haya poblaciones que padezcan seria escasez de agua. La región experimenta una creciente dependencia del uso de sus fuentes hídricas subterráneas: América del Sur utiliza de ellas entre 40% y 60% del agua que consume (FCCyT, 2012).

En la República Argentina, las zonas áridas, semiáridas, y subhúmedas secas representan el 75% de la superficie total del país (Collado, 2012; FCCyT, 2012). Es relevante considerar que el agua subterránea se ve afectada por concentraciones altas de arsénico y flúor en una parte significativa del territorio (FCCyT, 2012) y también se debe tener en cuenta que todas las aguas subterráneas contienen sales, en cantidad y calidad variables. No obstante el riego ha permitido incorporar a las actividades agropecuarias regiones y suelos que de otra forma no serían productivos (PNR, 2015).

La superficie cultivada en el mundo ha crecido un 12% en los últimos 50 años y la superficie regada mundial se ha duplicado durante el mismo período, lo cual representa la mayor parte del incremento neto en las tierras cultivadas (FAO, 2011). Por otro lado, en los últimos 30 años, la producción agrícola global total ha crecido un 100%, mientras que la expansión de tierras de cultivo solo ha sido de aproximadamente el 15%, y todo este crecimiento ha ocurrido en tierras bajo sistemas de riego (FAO, 2013a).

El riego acapara un 70% del agua extraída superficial y subterránea, y la eficiencia de los sistemas oscila entre el 30 al 40% (Calcagno *et al.*, 2000). En general, se acepta que el objetivo principal de éste es aumentar la productividad del agua de los cultivos, es decir, la cantidad de producción por volumen de agua usada (FAO, 2013a). Para ello, la estimación de la demanda de agua, a través de cualquier sistema de riego, depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento

oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento. Se tienen en cuenta además las propiedades físicas de los suelos que también determinan la forma y cantidad del riego a aplicar; siendo las más importantes la textura y la estructura, aunque hay otras condiciones que afectan la eficiencia del riego como la profundidad efectiva para el crecimiento de las raíces y el drenaje interno del perfil (PNR, 2015).

El suelo es el sostén de la producción agropecuaria que, para Argentina, es la principal fuente de ingresos (Irurtia y Maccarini, 1992). El suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el perfil (FAO, 2013b). A este análisis es importante sumarle cuánta agua se infiltra en realidad en el suelo, lo que depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial (Fernández Reynoso *et al.*, 2012). Cuanta más agua se infiltra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos útiles que puede seguir son: producción vegetal y recarga de la napa freática (FAO, 2013b).

El agua que percola profundamente, aunque puede abastecer la napa freática y ser aprovechada posteriormente, se la considera perdida para el aprovechamiento inmediato de las plantas. Cuanto mayor sea el volumen de agua disponible en la zona radicular, mayor será la cantidad de agua absorbida y transpirada por las plantas cumpliendo su función metabólica y productiva (FAO, 2013b).

Se entiende por infiltración, el proceso de entrada de agua en el suelo a través de su superficie yendo desde las zonas saturadas hacia las no saturadas del perfil (FAO, 2013b). La tasa de infiltración depende tanto de la textura como de la estructura del suelo (PNR, 2015).

La textura es el contenido porcentual de las partículas de diferente tamaño, (arena, limo y arcilla) y tiene influencia en la mayoría de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas de los suelos. La intensidad de aplicación del agua y la cantidad de agua a reponer al suelo o lámina de riego, como ya se dijo, están condicionadas por la tasa de infiltración y la capacidad de almacenaje del suelo, y estas son fuertemente dependientes inicialmente de la textura y secundariamente del manejo del suelo (PNR, 2015).

Entonces, conociendo la textura se pueden estimar muchas de las propiedades hídricas de los suelos, la tasa de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua. Es importante mencionar que la textura es una propiedad muy estable en los suelos, mientras que la estructura y la cantidad y tipo de materia orgánica, que también influyen en las propiedades hídricas, son propiedades que pueden variar a corto y mediano plazo (PNR, 2015).

Los suelos con textura arenosa (más de 85% de arena), debido a su baja capacidad de retención de agua y nutrientes y elevada permeabilidad, no se adaptan como área de cultivo ni de captación. Si fueran utilizados como áreas de cultivo, se requeriría asegurar mayor cantidad de agua y nutrientes para las plantas (FAO, 2013b). En un suelo arenoso la infiltración es más rápida hacia las capas profundas, arrastrando los nutrientes (FAO, 1996).

La estructura del suelo es factor de importancia en la formación de poros de diferentes tamaños y consiste en el agrupamiento de partículas minerales y de materia orgánica para formar unidades mayores o agregados, mientras que la destrucción de dichos agregados produce compactación (PNR, 2015).

En algunos casos, el exceso de riego puede producir encharcamiento y por consiguiente, sobre todo en áreas áridas y semiáridas, salinización (FAO, 2013a). Los posibles impactos negativos en el suelo de mayor trascendencia, generados preponderantemente por el riego son:

- De carácter físico: erosión, disminución de la infiltración y de la conductividad hidráulica.
- De carácter químico: incremento del pH, salinidad, sodicidad y toxicidad (PNR, 2015).

El agua en el suelo puede estar de distintas formas, se conoce como “Capacidad de Campo” a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,002 y 0,05 mm de diámetro. Por otro lado el “Punto de Marchitez Permanente”, se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito, no pudiendo recuperarse cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. De allí el “agua útil”, que es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas, se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente (FAO, 2005).

La evapotranspiración, es el volumen total de agua en estado líquido que pasa del suelo a la atmósfera, en el estado de vapor, en una superficie cubierta por cultivos. Su valor está representado por la suma de dos componentes: el agua no productiva, que es el agua que evapora directamente del suelo y el agua absorbida y transpirada por las plantas (agua metabolizada, productiva) (FAO, 2013b). En sistemas de regadío, el aumento del rendimiento puede obtenerse con medidas agronómicas que maximicen la parte de agua que se destina al uso beneficioso mediante transpiración del cultivo, y que minimicen la porción de agua que se pierde por evaporación no beneficiosa (FAO, 2013a).

Por evaporación no productiva, escurrimiento e infiltración se devuelve al ciclo hidrológico una parte muy importante del agua extraída de las fuentes sin un uso productivo y con una calidad generalmente menor, y ello se debe evidentemente a que se emplean métodos poco eficientes a la hora de aprovecharla (PNR, 2015).

Entonces, el agua, es un recurso natural limitado, de utilización amplia y esencial para la vida, cuya pérdida de calidad puede ocurrir fácil y rápidamente, razón por la cual debe ser preservada en cualquier circunstancia de suministro que se presente (FAO, 2013b).

“En el límite de la escasez, cuando todas las fuentes de agua se han explotado y todas las pérdidas se han reducido mediante la aplicación de sistemas de riego más eficientes, la única opción para conservar y recuperar las reservas de agua subterránea o reducir su ritmo de agotamiento, es reducir el volumen de evapotranspiración” (FAO, 2013b).

El uso de materiales orgánicos sintéticos (polímeros sintéticos), llamados acondicionadores de suelos, constituyen una de las prácticas agrícolas por medio de la cual se pueden restaurar y rehabilitar a los suelos degradados hasta un nivel óptimo de productividad (Ben Hur *et al.*, 1991).

Dentro de estos polímeros podemos encontrar lo que comúnmente se conoce como poliacrilamida (PAM), el cual es un subproducto de los procesos petroquímicos (Azzam, 1980). Sojka *et al.* (2001) mencionan que los términos poliacrilamida y las siglas “PAM” son un término químico genérico, referente a una amplia clase de compuestos. Hay cientos de formulaciones de poliacrilamidas específicas, dependiendo de la longitud de la cadena de polímero, número y tipo de grupo funcional sustituido a lo largo de la cadena (Silva Hernández, 2005).

Barvenik (1994) menciona que, estrictamente hablando, la PAM es un homopolímero de unidades idénticas de acrilamida (AMD). Una PAM puede ser catiónica, neutra o aniónica, esta última forma llega a ser la más comúnmente usada (Levy, 1995).

Además de ser largas, las cadenas de polímeros son flexibles, multisegmentadas, y polifuncionales. Estos polímeros pueden ser caracterizados principalmente por los siguientes parámetros: peso molecular, conformación molecular (enrollada o elástica), tipo de carga, y densidad de carga (Levy, 1995).

Comercialmente las PAM están disponibles en dos tipos de formulaciones: sólida, de grano fino (el más común), y emulsiones líquidas (concentrados de PAM, alcoholes minerales y un agente tensioactivo para ayudar a dispersar la PAM cuando se mezcla con agua) (Evans, 2006).

Barvenik (1994) menciona que las PAM secas tienen las ventajas de bajos costos de transporte y una larga vida de almacenamiento. Las desventajas de la forma seca de las PAM es la necesidad de equipos para disolución, el tiempo que lleva la disolución que es de por lo menos 30-60 minutos y la liberación de polvo por parte del producto durante el manejo si el tamaño de las partículas es demasiado pequeño (Silva Hernández, 2005.)

La PAM tiene una gran capacidad para absorber agua, retenerla y dejarla disponible para las plantas (Akhter *et al.*, 2004). Esta característica de los hidrogeles ha favorecido su aplicación en horticultura y crianza de plántulas. El agregado de 2 g/kg al suelo incrementa la retención de capacidad de campo de un suelo arenoso franco de 171 a 402% (Johnson, 1984). También retrasa la desecación del suelo por la evaporación directa del agua. El incremento de la capacidad de retención en capacidad de campo debido al agregado de

hidrogeles tipo PAM reduce los requerimientos de riego de las plantas (Taylor y Halfacre, 1986).

A su vez las PAM protegen el suelo mediante la reducción del desprendimiento y la floculación de las partículas (Green y Stott, 2001). Modifican la porosidad total, afectando a la densidad aparente del suelo (López Fabal *et al*, 2011), provocando un efecto de generación de poros, aireación y descompactación del suelo (Enseñat de Carlos y Cabot Moura, 2004).

Una forma de lograr un manejo más eficiente del agua es, entonces, con el uso de hidrogeles, que constituyen una alternativa sustentable y eficiente para reducir las pérdidas de agua en la agricultura propiciadas por la evaporación y percolación, reduciendo los costos tanto en insumos (fertilizantes) al disminuir las pérdidas por infiltración, como en energía eléctrica al aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo y permitir reducir la frecuencia de los riegos (López Elías *et al.*, 2016).

1.2 Objetivos:

1.2.1 General

Evaluar la incidencia sobre las propiedades hidrofísicas del suelo del agregado de distintos tipos de PAM y su efecto en la biomasa.

1.2.2 Particulares

Evaluar el efecto sobre la retención hídrica de un suelo arenoso de distintas concentraciones de PAM líquida y sólida.

Evaluar los efectos generados en la estabilidad estructural de un suelo arenoso de distintas dosis de PAM líquida y sólida.

Evaluar la diferencia en tiempo, luego del último riego, en que una especie forrajera alcanza la senescencia, debida al déficit hídrico, en un suelo arenoso con el agregado de PAM líquida y sólida en diferentes dosis.

Evaluar la producción de materia seca en una especie forrajera con el agregado de PAM líquida y sólida en diferentes concentraciones a un suelo arenoso.

1.3 Hipótesis:

1.3.1 General

El agregado de PAM líquida y sólida, a un suelo arenoso mejorará las propiedades hidrofísicas del mismo.

1.3.2 Particulares

El agregado de dosis crecientes de PAM líquida y sólida aumentará en forma proporcional la retención hídrica de un suelo arenoso.

El agregado de concentraciones crecientes de PAM líquida y sólida aumentará la estabilidad estructural de un suelo arenoso.

El incremento en la dosis de PAM, líquida y sólida, aumenta la cantidad de días antes de la senescencia debida al déficit hídrico.

La producción de materia seca (biomasa) de una especie forrajera aumentará ante el agregado de dosis crecientes de PAM líquida y sólida a un suelo arenoso.

2. Materiales y Métodos

Se utilizó un suelo clasificado como Ustipsamments típico de textura franco proveniente del paraje "El Durazno" La Pampa, Argentina. El ensayo se inició en el laboratorio de la cátedra de edafología caracterizando el suelo a utilizar.

Tabla 1: Caracterización del suelo a utilizar en el ensayo

Característica	Unidad	valor
pH	-	6,7
CE	mmhos/cm	0,25
MO	%	1,6
Nitrógeno	%	0,086
Rel. C/N	-	11
Textura	Arena	% 83,4
	Limo	% 14
	arcilla	% 2,6

Tabla 1 Características del suelo a utilizar recogido del horizonte A, hasta 20 cm de profundidad.

Se prepararon macetas de 1 litro de volumen las cuales se llenaron con 1 kg de suelo, recogido del horizonte A hasta los 20 cm de profundidad, con las respectivas dosis de PAM en estado sólido y líquido, se dejó un “testigo” sin agregado de producto; completando tres repeticiones por tratamiento.

Tabla 2: Esquema de tratamientos.

Estado de la PAM	Material	Dosis (%)							
		0,02	0,05	0,08	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
Líquido	Vegetado	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sin vegetación	x	x	x	x	x	x	x	x
Sólido	Vegetado	-	-	-	x	x	x	x	x
	Sin vegetación	-	-	-	x	x	x	x	x

Para las dosis más bajas sólo se realizaron tratamientos para el producto en estado líquido, ya que para las PAM sólidas esto es impracticable debido a su granulometría. Asimismo, en trabajos anteriores se ha observado que la PAM líquida produce un efecto mayor en retención de agua que sólo pudo ser medido por debajo de 0,1 y 0,2%. Esta respuesta sugirió la realización de pruebas con dosis menores a las utilizadas en dichos trabajos, para definir el rango donde se producen los efectos deseados (Iruetia *et al.*, 2012).

Para el material vegetado se trabajó con una especie forrajera, *Avena sativa* L. Las macetas fueron colocadas en condiciones de humedad y temperatura controladas (invernáculo) regándose dos veces por semana y antes de notar estado de sequedad en el suelo. En las macetas que contenían material vegetado, luego de la siembra y emergencia de las plantas, se raleó para dejar 10 plantas por maceta. Después del primer corte, efectuado a los tres meses, se fertilizaron todas las macetas con nitrato de amonio en una dosis equivalente a 100 Kg.ha^{-1} ; la misma se realizó con la finalidad de que la única limitante para el desarrollo de las plantas sea relacionada al agua y no a la falta de nutrientes que podría presentar el suelo debido a su textura arenosa, beneficiando así su rebrote. Se realizó un segundo corte a los seis meses de crecimiento. Luego de la recuperación de las plantas a éste, se limitó el riego y se comenzó a medir los días transcurridos hasta la muerte total de las plantas (PMP). Luego de lo cual se procedió con el trabajo en laboratorio.

Se estandarizaron las muestras, mediante el secado en estufa a 40 grados centígrados con aire forzado o corriente de aire y la posterior molienda y tamizado por 2 milímetros.

La estandarización se realizó para todos los tratamientos reservándose una porción de cada uno para la determinación de estabilidad estructural.

Se midió el contenido hídrico a capacidad de campo (CC), el cual representa la máxima capacidad de retención de agua en condiciones de libre drenaje y se asocia con un Ψ_m (potencial mátrico) = - 0,3 bar = - 0,3 atm = -33kp. También se midió el contenido hídrico a marchitez permanente (PMP) que representa el límite inferior para que las plantas puedan extraer agua del suelo, relacionado con un Ψ_m = - 15 bar = -15 atm = 1.500kp.

Para la determinación de dichos puntos se utilizó el equipo de Richards (Richards y Weaver, 1944). Para medir a CC, el equipo consta de una olla de

presión, una membrana porosa (plato de cerámica), anillos de goma de 1 cm de espesor y 6 cm de diámetro, bomba de presión, manómetro y otros accesorios, estufa 105 -110 °C, recipientes previamente tarados y balanza de precisión a la milésima de gramo.

Se colocó una porción de la muestra sobre los platos de cerámica, dentro de los anillos de goma. Se agregó agua al suelo en el plato poroso, dejándolo reposar para que este se sature y se retiró el exceso con pipeta, se colocó en la olla y se aplicó una presión de 0,3 bares hasta que no escurrió más agua. Por último, se despresurizó la olla y se determinó la humedad de las muestras por el método gravimétrico; se pesó la muestra húmeda y luego se colocó en estufa (a 105°C) hasta peso constante, por diferencia de pesadas se obtiene el contenido hídrico a CC. Para el contenido hídrico del PMP se utilizó un plato extractor preparado para soportar una presión de 15 bares con una placa cerámica calibrada para dicha presión, procediéndose de la misma forma.

Se calculó el agua útil (AU), tanto para el testigo como para cada tratamiento, mediante la diferencia entre CC y PMP.

Para la determinación de estabilidad estructural se preparó una bandeja con una esponja de aproximadamente 6 cm de espesor, cargada con agua y quedando un pelo de 3 cm aproximadamente, para que el contenido de la bandeja se estabilizara la misma se preparó el día antes de la misma. Arriba de la esponja se colocó un papel de filtro, sobre el cual se reposaron los agregados dejándolos durante 1 hora de contacto. Luego los agregados se tamizan por 53 µm en el aparato de Feodoroff, realizando en el mismo 5 vueltas de manija. Para el tamizado en húmedo con alcohol se colocó el material proveniente del tamiz en una placa de Petri arrastrando el material con una piseta con alcohol, eliminando el exceso de líquido con una jeringa. Luego se secó el material en estufa a 40 °C, durante 24 horas. Se calculó el MWD,

que es la suma de la fracción en masa del suelo restante en cada tamiz después del tamizado multiplicado por la abertura media de la malla adyacente. Para esta determinación se utilizó únicamente el tratamiento de humectación lenta del método de Le Bissonnais (Le Bissonnais 1996 y Le Bissonnais *et al.* 1997); debido a que se consideró que este único tratamiento, al ser el menos destructivo, resultaría suficiente para diferenciar el efecto de agregación en los diferentes tratamientos debido a la baja capacidad de estructuración del suelo utilizado.

La determinación de materia seca se realizó cortando material vegetado, al cual se lo sometió a un secado en estufa a 60°C hasta llegar a peso constante. Para medir los días desde el último riego al Punto de Marchitez Permanente se contaron el promedio de días, que tardaron las plantas en llegar a senescencia, luego del último riego.

El análisis estadístico se realizó con Excel (índice de correlación de Pearson) y con InfoStat (ANOVA, Prueba de Tukey, $\alpha=0,05$, medias con una letra común no son significativamente diferentes).

3. Resultados:

3.1. Tratamiento con agregado de PAM sólida:

3.1.1. Sin vegetación:

En el siguiente gráfico (N°1) se analiza la retención hídrica para el tratamiento con PAM sólida que no tuvo presencia de plantas. Se observa que existe una correlación (r) positiva entre las dosis crecientes de PAM tanto para CC ($r=0,92$), como para PMP ($r=0,93$), las dosis que se destacan son 0,8% y 1,6% resultando de éstas dosis los mayores valores de agua útil, aunque para esta determinación solo la dosis de 0,8% presenta diferencia significativa con el testigo (dosis=0).

Retención hídrica con PAM sólida en tratamientos sin vegetación

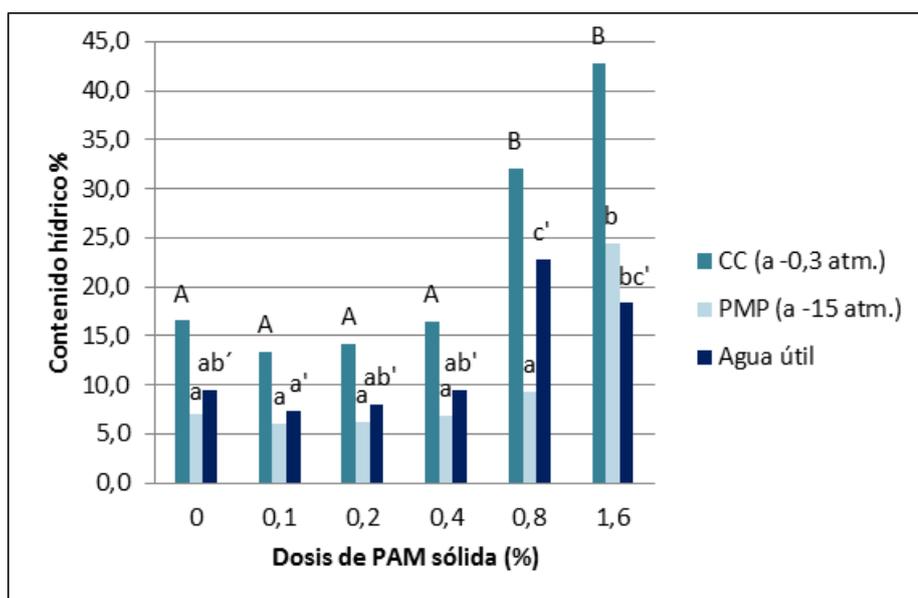


Gráfico N°1 Retención hídrica (%) para capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua útil. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes. Las letras de las medias se comparan mayúsculas entre sí, minúsculas entre sí y minúscula con apóstrofe entre sí.

Para este mismo tratamiento en el gráfico N° 2 se muestran los resultados de estabilidad estructural. Esta variable presenta una correspondencia directa frente al agregado de dosis crecientes de PAM sólida con un $r=0,86$, destacándose las dosis iguales o mayores a 0,4%.

Estabilidad estructural con agregado de PAM sólida sin vegetación

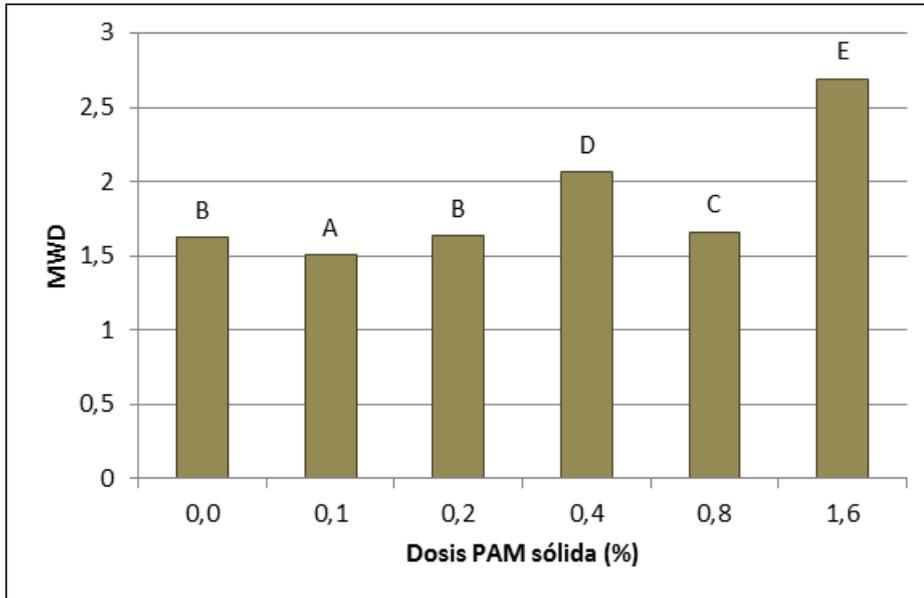


Gráfico N°2 Estabilidad estructural en tratamiento sin vegetación. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

3.1.2. Con vegetación:

Los coeficientes de correlación para las dosis crecientes de PAM sólida en suelo vegetado, fueron para CC $r=0,76$ y para PMP $r=0,93$; en el cual solo se destacó la dosis 1,6%, y como puede observarse en el gráfico N°3, el AU no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Retención Hídrica, suelo con agregado de PAM sólida y vegetación

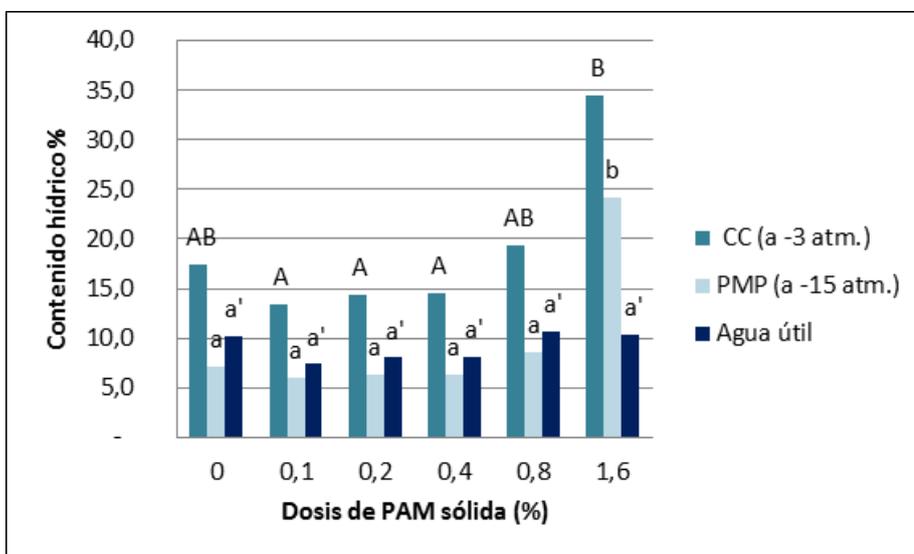


Gráfico N°3 Retención hídrica (%) para capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua útil. Las medias con una letra común no son

significativamente diferentes. Las letras de las medias se comparan las mayúsculas entre sí, las minúsculas entre sí y minúscula con apóstrofe entre sí.

En cuanto a la estabilidad estructural para este mismo tratamiento se observa una correlación positiva para dosis crecientes de PAM sólida ($r=0,82$) a su vez todas las dosis presentan diferencias significativas en relación al testigo.

Estabilidad estructural, suelo con agregado de PAM sólida y vegetación

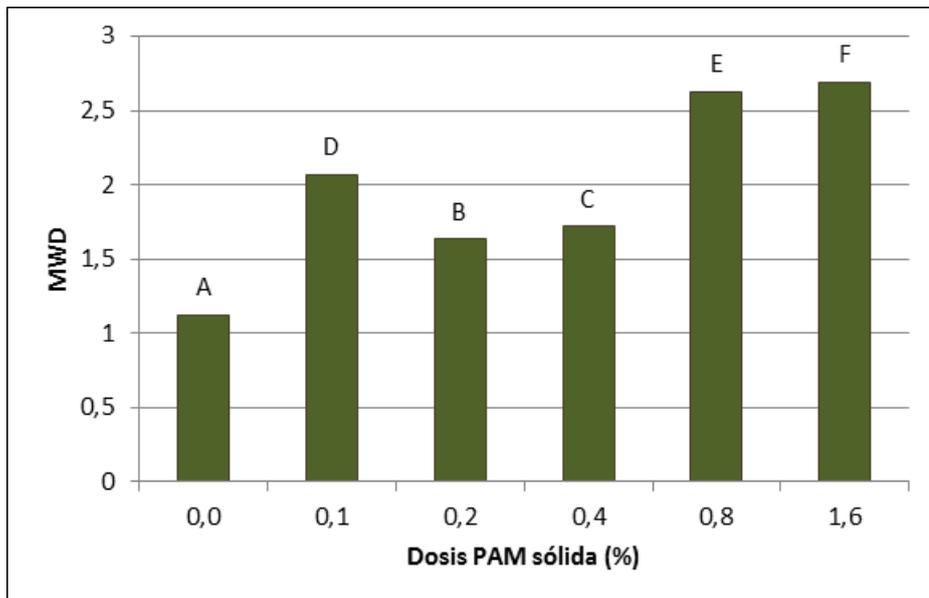


Gráfico N°4 Estabilidad estructural con vegetación. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Los tratamientos con vegetación mostraron un retardo en la senectud a partir del último riego para dosis iguales o mayores que 0,4%.

Días a PMP en promedio

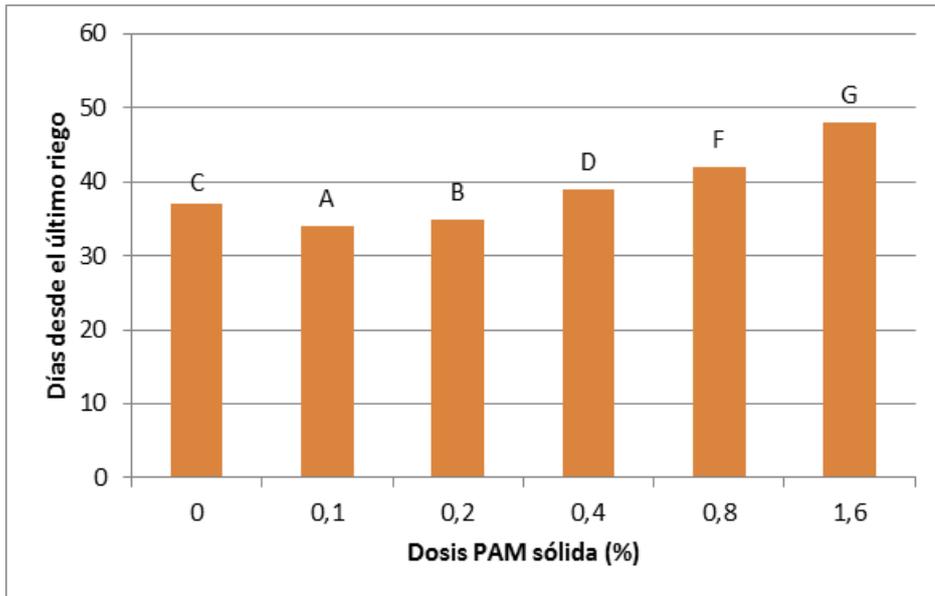


Gráfico N°5. Días a punto de marchitez permanente (PMP) en promedio. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

En el siguiente gráfico (N°6) se representa la producción de materia seca total para las diferentes dosis de PAM sólida. Se puede observar que existe una relación positiva entre el incremento de rendimiento y el aumento de dosis de PAM ($r=0,86$). También se observa diferencias significativas para las dosis de 0,8 y 1,6%. Vale destacar que en todos los tratamientos se observó un rendimiento igual o mayor que el testigo.

Materia seca total, en suelo tratado con PAM sólida

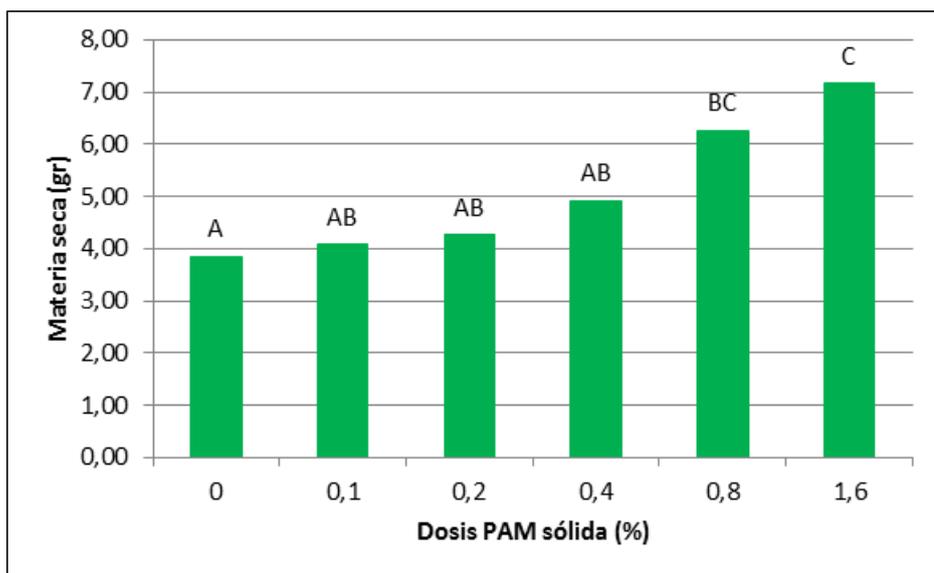


Gráfico N°6 Materia seca total. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

3.2. Tratamiento con agregado de PAM líquida:

3.2.1. Sin vegetación:

En el gráfico N°7 se muestran los resultados obtenidos en retención hídrica en suelos tratados con PAM líquida, la relación para CC ($r=-0,53$) y en consecuencia para AU ($r=-0,70$), con respecto a las dosis crecientes de PAM fue inversa, sin embargo el PMP ($r=0,70$) se relacionó positivamente con ellas.

La retención hídrica para CC en relación al testigo (dosis=0) sólo se destaca la dosis de 0,2%, el resto, inclusive, tienen una respuesta significativamente negativa; para PMP sucede algo semejante, ninguna dosis supera significativamente al testigo, y alguna de ellas son menores a éste (0,05%, 0,08%, 0,1% y 0,2%). En cuanto al AU, en consecuencia a la respuesta de CC, se destaca la dosis de 0,2%, las dosis de 0,8% y 1,6% presentan una diferencia significativa a favor del testigo, no encontrándose diferencias para el resto de las dosis.

Retención Hídrica, suelo con agregado de PAM líquida

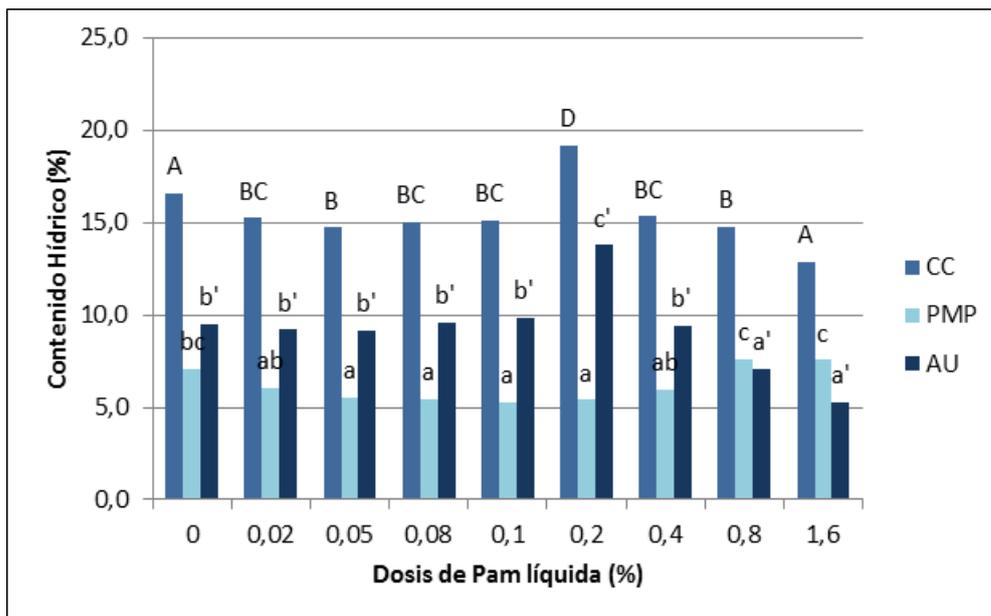


Gráfico N°7 Retención hídrica (%) para capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua útil (AU). Las medias con una letra común no son significativamente diferentes. Las letras de las medias se comparan las mayúsculas entre sí, las minúsculas entre si y minúscula con apostrofe entre sí.

La estabilidad estructural aumentó con el agregado de PAM líquida, destacándose las dosis iguales o superiores a 0,4%; la correlación entre ambas variables fue positiva ($r=0,87$).

Estabilidad estructural, suelo con agregado de PAM líquida, sin vegetación

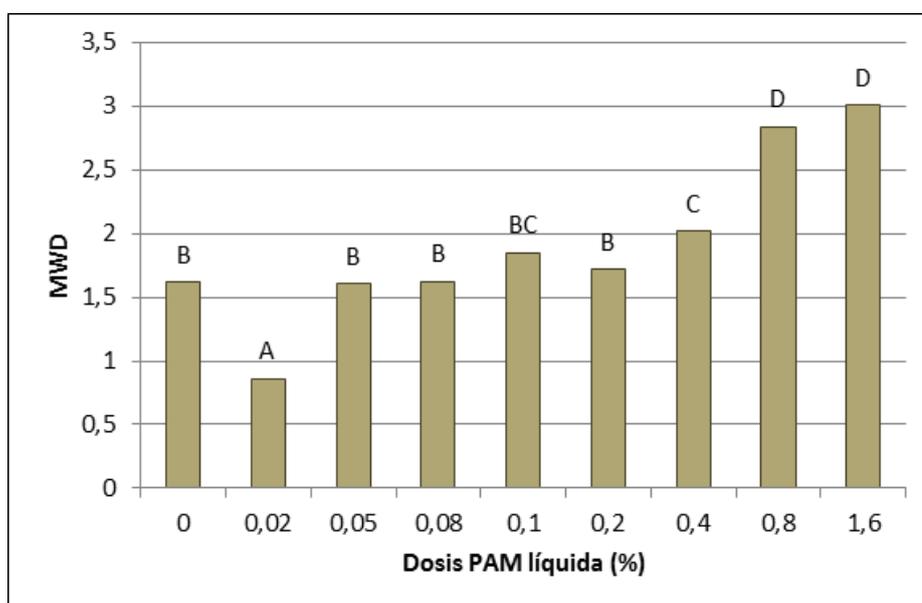


Gráfico N°8 Estabilidad estructural sin vegetación. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

3.2.2. Con vegetación:

El comportamiento en la retención hídrica, para suelos donde hubo presencia de plantas y con el agregado de PAM líquida, tuvo un comportamiento semejante al tratamiento sin presencia de vegetación. La CC ($r=-0,71$) y el AU ($r=-0,81$) presentaron correlaciones negativas con respecto a la variable dosis, mientras que PMP ($r=0,74$) presentó una correlación positiva.

Ninguna dosis, tanto para CC como para PMP, superó significativamente al testigo, aun así el AU se destacó significativamente con la dosis de 0,1%.

Retención Hídrica, suelo con agregado de PAM líquida y vegetación

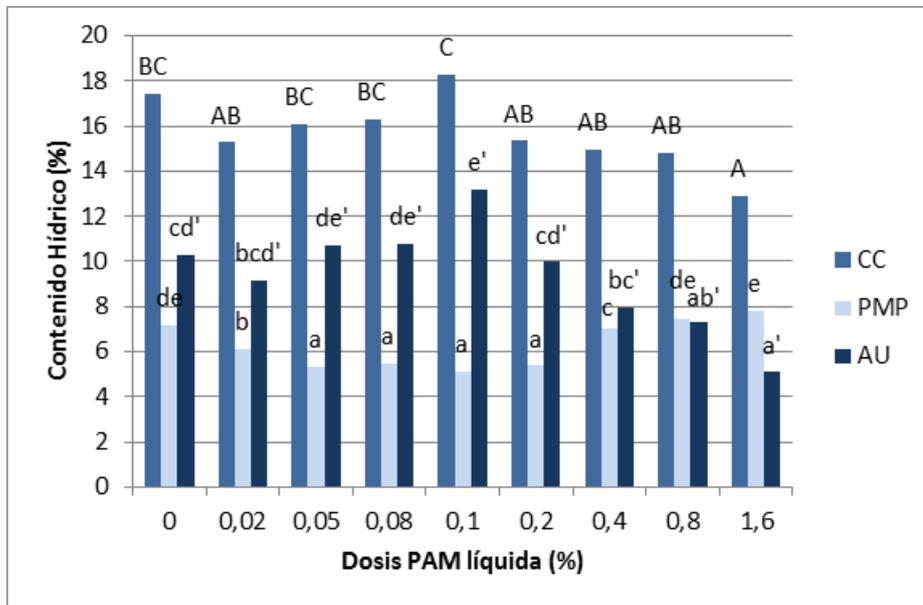


Gráfico N°9 Retención hídrica (%) para capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua útil (AU). Las medias con una letra común no son significativamente diferentes. Las letras de las medias se comparan las mayúsculas entre sí, las minúsculas entre sí y minúscula con apóstrofe entre sí.

La estabilidad estructural, para las muestras tratadas con dosis líquida y con presencia de vegetación, presentan una relación directa ($r=0,88$) con respecto a las dosis crecientes del tratamiento, salvo para 0,02%, todas las dosis presentan diferencias positivas y significativas respecto al testigo.

Estabilidad estructural, suelo con agregado de PAM líquida y vegetación

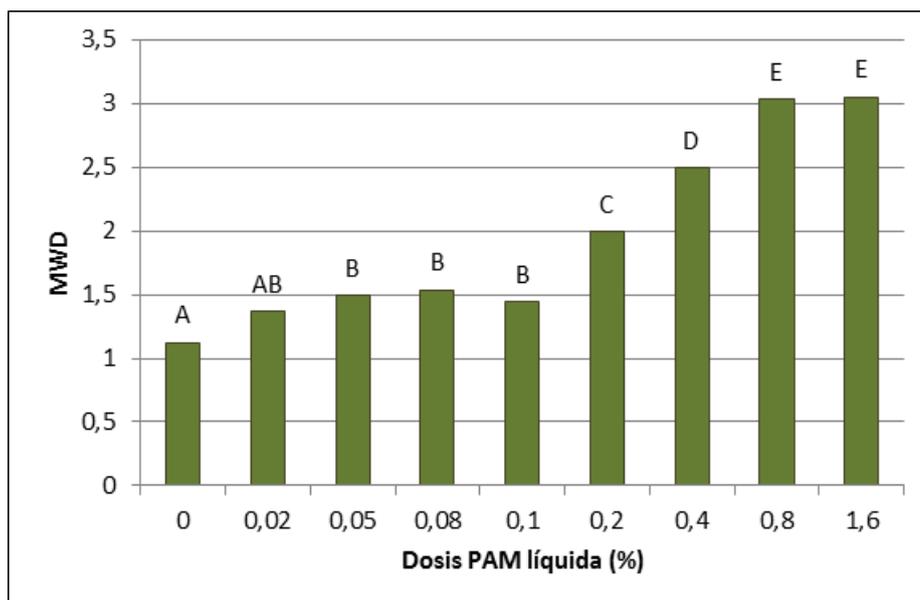


Gráfico N°10 Estabilidad estructural con vegetación. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

El comportamiento de las plantas luego del último riego, tiende a ser independiente de las distintas dosis aplicadas de PAM líquida ($r=0,56$). Las dosis de 0,05% y 1,6% muestran, en el gráfico N° 9, una diferencia positiva y significativa con respecto al testigo.

Días a PMP en promedio, tratamiento con agregado de PAM líquida

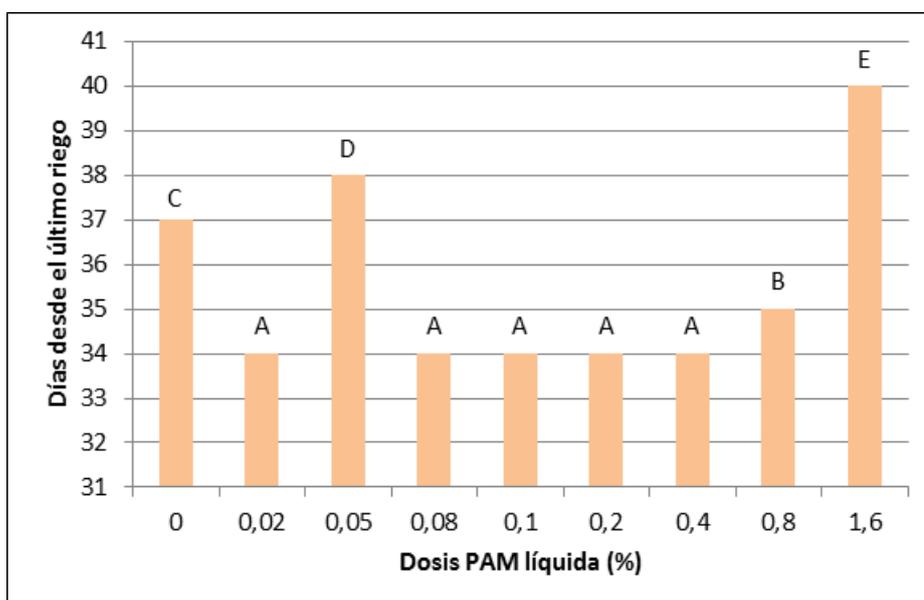


Gráfico N°11 Días a punto de marchitez permanente (PMP) en promedio. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

El crecimiento de las plantas expresado en gramos de materia seca, muestra un comportamiento independiente ($r=0,32$) al aumento de las dosis aplicadas, no presentando ninguna dosis diferencias positivas significativa con respecto al testigo.

Materia seca total, en suelo tratado con PAM líquida

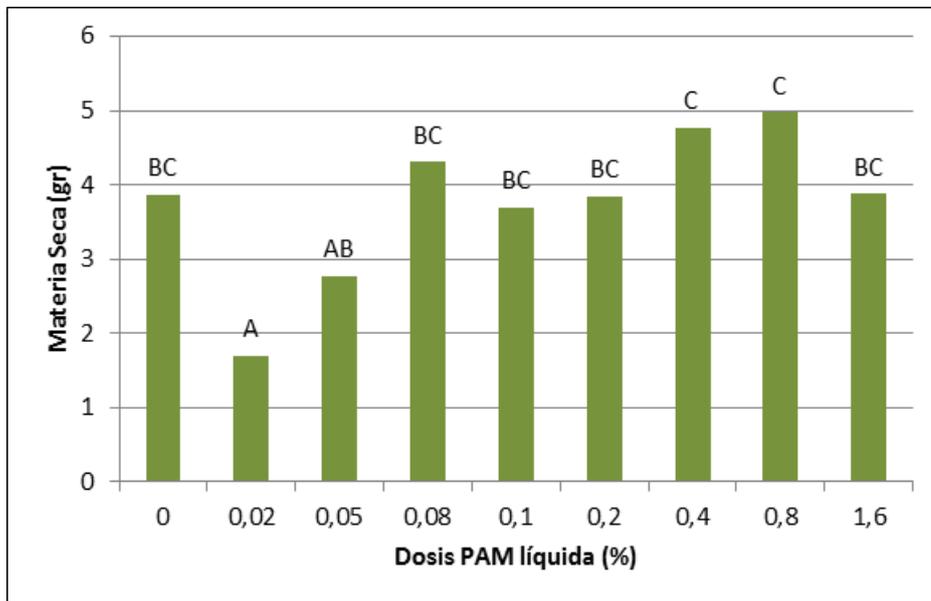


Gráfico N°12 Materia seca total. Las medias con una letra común no son significativamente diferentes.

4. Discusión:

4.1. Comparación de tratamientos con PAM sólida:

El aumento en la retención de humedad coincidió con lo estudiado por Crespo (1989), Osorio y Chávez (1991), Rodríguez y Alcantar (1992), Akhter *et al.* (2004), Silva Hernández (2005), Del Campo García *et al.* (2008), e Irurtia *et al.* (2012). Sin embargo la dosis recomendada en trabajos anteriores entre 0,2% y 0,6%, es menor a la obtenida en este ensayo de 0,8% y 1,6%. Akhter *et al.* (2004) explican que las variaciones en los efectos del hidrogel pueden deberse a diferencias en el tipo de hidrogeles y los suelos, por otro lado Orzolek (1993); Omidian *et al.* (1998) y Kabir *et al.* (2015) especifican para el caso de las PAM,

que las diferencias se deben al tipo de polimerización, composición y entrecruzamiento de estas.

Vale destacar que los valores de agua útil reflejan, para todas las dosis, los valores del contenido hídrico a capacidad de campo (CC), ya que fueron estos los que mostraron respuesta significativa en el suelo sin presencia de vegetación, la respuesta para PMP para ambos tratamientos, solo varió para dosis de 1,6% superando al testigo en un 240%, pero no presentó diferencias entre suelo con y sin vegetación, por lo que no modifica el comportamiento del agua útil.

Evaluando la diferencia entre los contenidos hídricos obtenidos en tratamientos sin vegetación menos los del suelo que interaccionó con las plantas, la mayor diferencia se encuentra entre los resultados de la dosis 0,8% para CC, donde la diferencia entre mediciones asciende a 13% de retención hídrica; lo que se observa en el gráfico N° 13.

Para el caso de la respuesta del suelo tratado con PAM sólida y evaluado luego del crecimiento de las plantas, el cual tuvo el mismo tratamiento que las macetas sin vegetación y en donde la fertilización realizada fue foliar, se infiere que el efecto de la interacción con la vegetación tuvo como resultado la disminución en la retención hídrica en CC, Sojka et al (2007) mencionan que tanto las fuerzas mecánicas, los rayos ultravioletas, las fuerzas químicas y biológicas degradan paulatinamente las cadenas de PAM, de aquí se deduce que el mayor requerimiento de humedad de las raíces comparada con la desecación en suelo desnudo y la interacción mecánica de éstas con la poliacrilamida pudo haberla afectado.

*Comparación del porcentaje de agua útil entre tratamientos con y sin
vegetación*

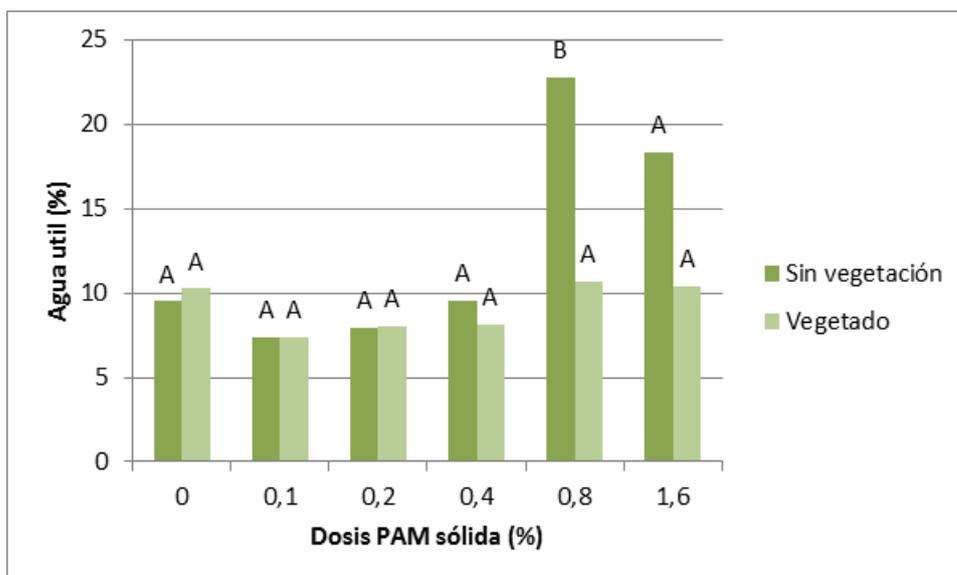


Grafico N°13. Comparación del porcentaje de agua útil entre tratamientos con y sin vegetación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

La estabilidad estructural presenta respuestas, tanto en los tratamientos con y sin vegetación, a partir de dosis de 0,4%, aunque los valores de mayor estructuración se presentan para la dosis de 1,6%.

Mitchell (1986) sostiene que la forma de actuar de las PAM se debe a su capacidad de promover la floculación de las arcillas dispersas y aumentar la estabilidad estructural de los agregados. El efecto depende entonces, según Carr y Greenland (1975), de la cantidad de arcilla del suelo y el peso molecular de la PAM. Si bien se obtuvieron incrementos en la estructuración del suelo, está fue para dosis de 0,4% y 1,6% en suelos sin vegetación y de 0,1%, 0,8% y 1,6% en suelos con vegetación; es decir que si bien la presencia de arcillas influye en el comportamiento de las PAM, en este sentido, coincidimos con Nadler *et al.* (1996), quienes argumentan que a bajas tasas de aplicación el aumento de estabilidad está dado por la densidad de carga del polímero, del contenido de humedad del suelo y del tipo de iones intercambiables, modificados estos en nuestro ensayo por la presencia de raíces en el suelo.

Cabe destacar que sin agregado de PAM los suelos con presencia de vegetación presentaron menores valores de MWD, lo que refuerza la teoría de algún tipo de interacción de las raíces y sus exudados con las PAM, aunque resulta de interés este tópico excede lo estudiado para este trabajo.

Comparación de estabilidad estructural entre tratamientos con y sin vegetación

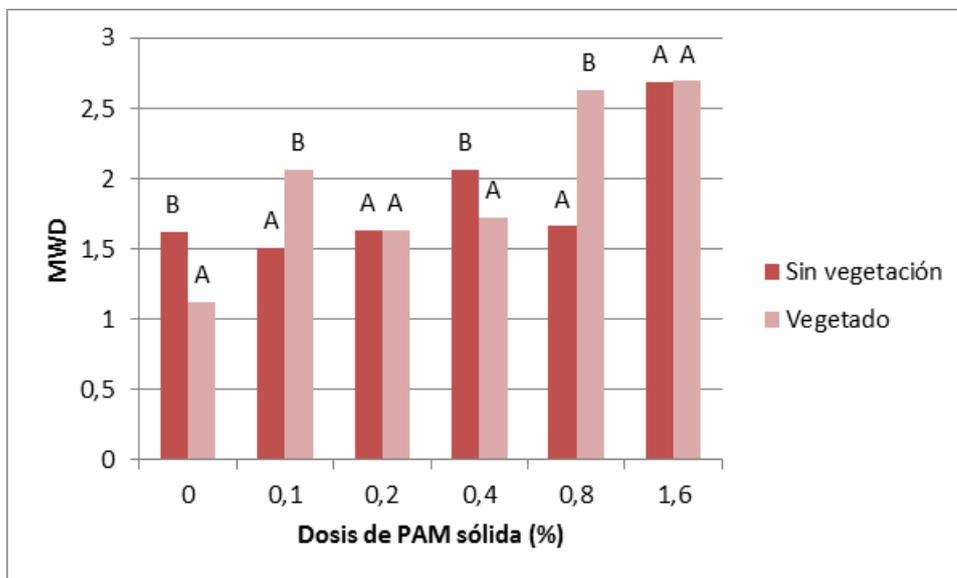


Grafico N°14. Comparación de estabilidad estructural entre tratamientos con y sin vegetación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

El desarrollo de las plantas fue positivo y acompañó relativamente a las dosis crecientes de PAM sólida, siendo las dos mas altas (0,8% y 1,6%) las de mejor respuesta. Para el caso específico de la avena, Chavez García (2007), presenta con muy bajas dosis (20Kg/ha) aumentos de rendimiento de un 35%; Gutiérrez Castañeda *et al.* (2008) obtuvieron con dosis semejantes a las nuestras, resultados positivos para 0,4% y 0,8%, en suelos arenosos para Acelga; Silva Hernández (2005) encontró en trigo, con dosis de 2 g.l⁻¹ de suelo, diferencia significativa en la aplicación de PAM a humedad restrictiva para biomasa total, siendo mayor cuando los requerimientos nutricionales estuvieron cubiertos. Coincidiendo con lo antedicho los resultados muestran un

incremento en el crecimiento de las plantas, el cual asciende a medida que aumenta la dosis de PAM, como se observa en la tabla N°3.

Comparación porcentual del peso en materia seca con el agregado de PAM sólida en plantas de Avena.

Dosis % p/p	Variación %
PAM sólida	Materia seca
0,0	-
0,1	6%
0,2	11%
0,4	28%
0,8	63%
1,6	86%

Tabla 3. Variación porcentual del peso en materia seca con el agregado de PAM sólida.

Para el caso del crecimiento y desarrollo de las plantas, disentimos con López Elías *et al.* (2013), quienes en un ensayo con chile Anaheim (*Capsicum annuum* L.) cv. Cardón en un suelo franco arenoso, concluyeron que la implementación de PAM solo incrementa el contenido de agua en el suelo, favoreciendo la reducción del volumen de agua aplicada, al igual que la frecuencia de los riegos, sin afectar al cultivo.

Luego del último riego las plantas que subsistieron más tiempo correspondieron a las mayores dosis (0,4%, 0,8% y 1,6%) resultado no esperado de acuerdo a lo observado con respecto a la retención hídrica. Denotando que la dosis a aplicar debería ser superior a 0,4%, ya que por debajo de la misma (0,1% y 0,2%) los días de resistencia fueron menores al testigo, lo cual puede observarse en el gráfico N° 5. López Fabal *et al.* (2011) y Del Campo García *et al.* (2008) hallaron respuestas diferenciales para retención hídrica con distintas PAM

comerciales y diferentes succiones, esto nos indica que puede haber un aprovechamiento diferencial por parte de las plantas en cuanto al uso del agua retenida por las PAM que no se exprese en las determinaciones realizadas con la metodología de Olla de Richards.

4.2. Comparación de tratamientos para PAM líquida:

El tratamiento con PAM líquida tuvo un comportamiento singular en cuanto a la determinación de retención hídrica (Olla de Richards), el porcentaje de agua útil se comportó de manera inversa, es decir a mayor dosis de PAM menor retención, tanto en suelo con presencia de plantas como sin presencia de éstas. Coincidiendo con Iurtia *et al.* (2012) que obtuvo para concentraciones de 0,1 y 0,2% incrementos en el agua útil, pero para concentraciones mayores 0,4; 0,8 y 1,6% encontró un efecto impermeabilizante. Por otro lado, habiendo ensayado dosis menores sugeridas por estos autores, no se obtuvo la respuesta esperada; es decir no hubo mayor retención hídrica para dosis de 0,02, 0,05 ni para 0,08%.

Comparación del porcentaje de agua útil entre tratamientos con y sin vegetación

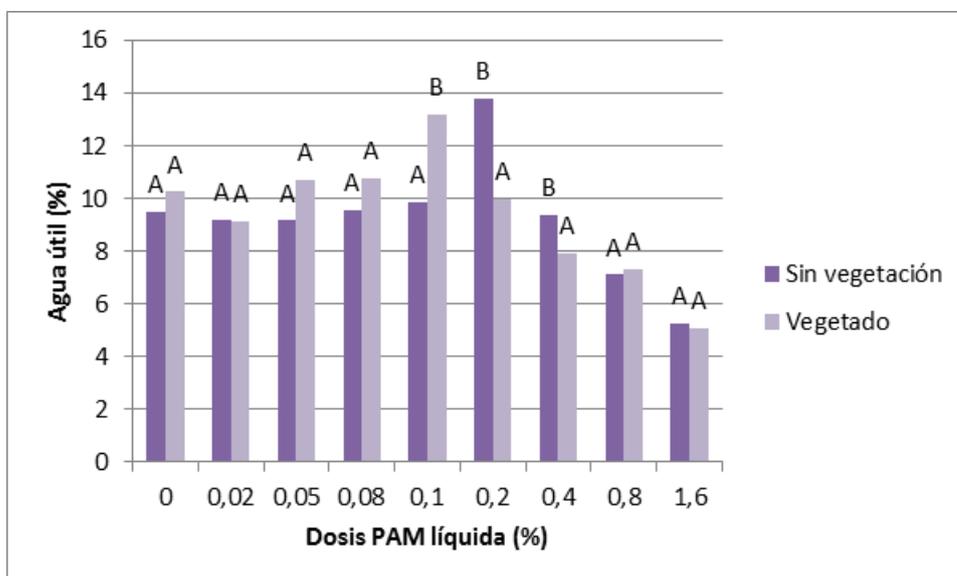


Grafico N°15 comparación del porcentaje de agua útil entre tratamientos con y sin vegetación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

En ambos tratamientos (con y sin planta) la estabilidad estructural aumentó con la dosis de PAM, siendo las mayores dosis las de mejor respuesta. Superaron más de un 75% de respuesta las dosis de 0,8 y 1,6% en el suelo sin plantas y desde 0,2% para suelos con cultivo, mostrando nuevamente una interacción suelo-cultivo-PAM para esta característica. Esto coincide con lo expresado por Enseñat de Carlos y Cabot Moura (2004) quienes explican que los aglomerados del suelo deben su estabilidad, en parte, a la presencia de polímeros naturales provenientes de la materia orgánica, el agregado de PAM aniónica actúa de forma análoga, corrigiendo su deficiencia en suelos de estructura pobre. Como se observa en el gráfico N° 16, las diferencias entre vegetado y sin vegetación, con el tratamiento líquido, para las dosis más altas no tienen diferencia estadística. Sin embargo, la respuesta para dosis de 0, 2 y 0,4% es significativa a la interacción antes mencionada.

Comparación estabilidad estructural entre tratamientos con y sin vegetación

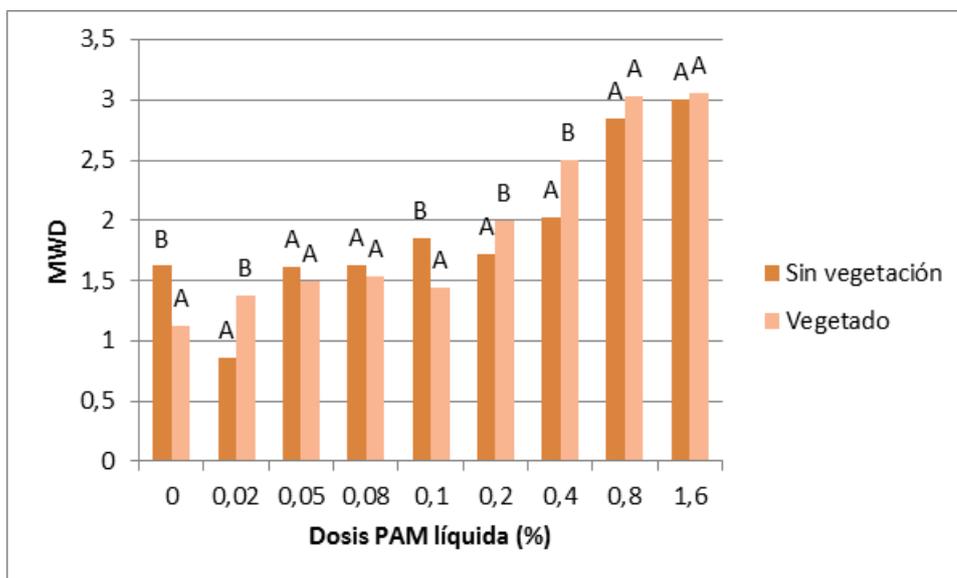


Grafico N°16 Comparación de estabilidad estructural entre tratamientos con y sin vegetación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

En general los tratamientos de PAM líquida tuvieron menor cantidad de días de supervivencia que el testigo, con excepción de las dosis de 0,05% y 1,6% en que la senescencia se retrasó considerablemente con respecto a éste.

Como se observa en los gráficos N° 7 y 9, con respecto al AU, la dosis de 0,05% no presentaban diferencia con el testigo y la dosis de 1,6% tuvo una respuesta menor al testigo, con una variación porcentual cercana al 50% por debajo de este; sumado a que en ambos casos no hay diferencia significativa para estas dosis entre los tratamientos vegetado y sin vegetación (gráfico N° 15). Sin embargo, al no haber correspondencia con el aumento o disminución de las dosis, no se puede explicar por un comportamiento lineal de respuesta a este tratamiento, ni relacionarse con el efecto impermeabilizante observado en los análisis de AU para altas dosis.

Las plantas no mostraron respuesta a la aplicación de PAM líquida, en cuanto a la producción de materia seca; no presentaron diferencia significativa con respecto al testigo y su respuesta fue aleatoria con respecto al aumento de las dosis aplicadas.

4.3. Comparación entre PAM sólida y líquida:

Se realizó la comparación entre las mismas dosis de producto para cada forma de presentación de la PAM.

4.3.1. Sin vegetación:

El comportamiento de las PAM en cuanto a retención hídrica puede observarse en el siguiente gráfico N°17, la respuesta positiva y creciente al aumento de dosis la dio el material sólido. Para las dosis de 0,1 y 0,2% respondió diferencialmente la líquida en relación a la sólida, aunque solo se distaba estadísticamente del testigo la dosis de 0,1%, para el caso de las dosis más

altas, existe diferencia significativa entre tratamientos ya que mientras el sólido aumenta la retención para las mismas dosis el líquido la disminuye.

Comparación del % de contenido de AU entre tratamientos

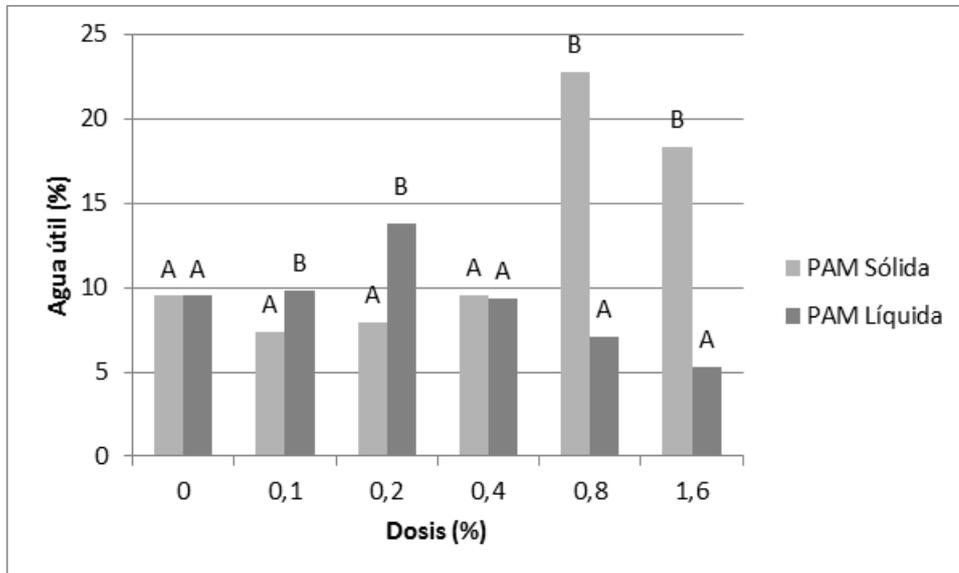


Grafico N°17 comparación del % de contenido de AU entre tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

En la respuesta de estabilidad estructural se observa que la PAM líquida mejora más esta característica en relación a la PAM sólida en dosis de 0,1, 0,8 y 1,6%. En concordancia con Irurtia *et al.* (2012), la PAM líquida no presentó capacidad de dilatación-contracción acompañando la absorción de agua, lo que sí ocurre con las PAM sólidas.

Comparación de la estabilidad estructural entre tratamientos

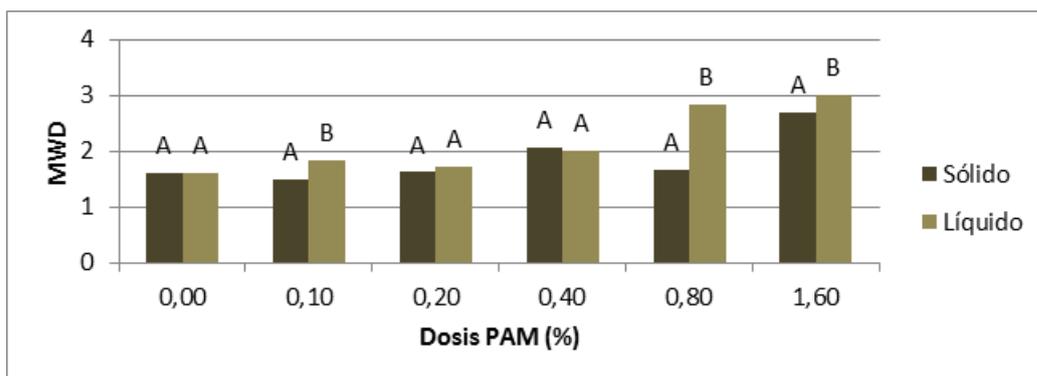


Grafico N°18 Comparación de la estabilidad estructural entre tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

4.3.2. Con vegetación:

Como se ha visto la metodología de la determinación de AU, puede que no sea suficiente para mostrar la relación hídrica de las plantas con la PAM (para ambos estados). Es posible que existan cantidades de agua retenidas en valores menores a las 0,3 atmosferas que son consideradas como agua gravitacional; puede entonces, tal como menciona Del Campo García *et al.* (2008), que con la incorporación de PAM se logre un aumento en la retención de agua a estas tensiones.

Comparación del % de contenido de AU entre tratamientos

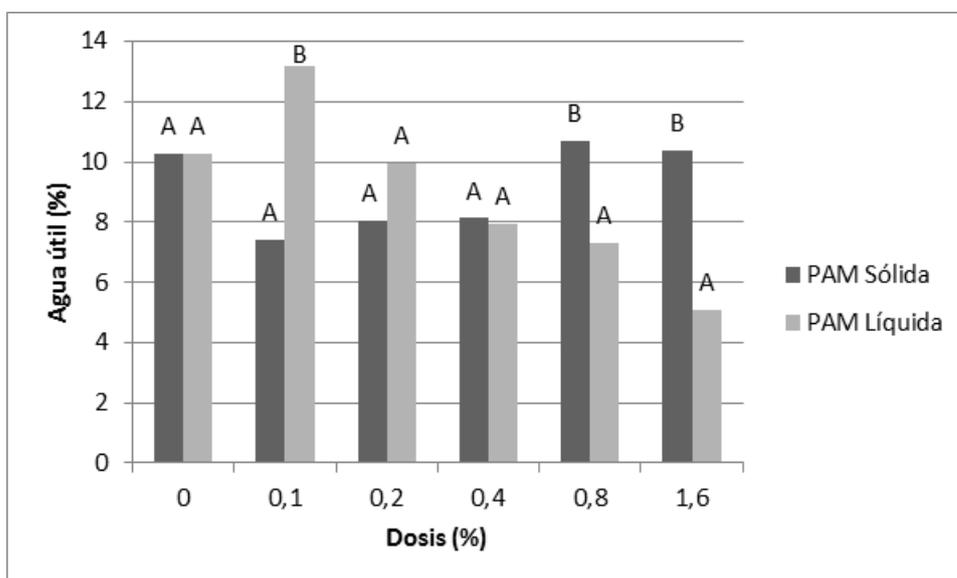


Grafico N°19 Comparación del % de contenido de AU entre tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

Las PAM líquidas generan mayor estabilidad de los agregados a igual dosis de aplicación, a partir de 0,2%. Esto puede explicarse por la diferencia de estado de las poliacrilamidas, ya que como Malik y Letey (1991) sostienen, el tamaño y la conformación molecular del polímero determina su adsorción a la superficie

débil y sin carga de suelos y arenas, así el aumento del área superficial específica del polímero conduce a aumentar la adsorción.

Comparación de la estabilidad estructural entre tratamientos

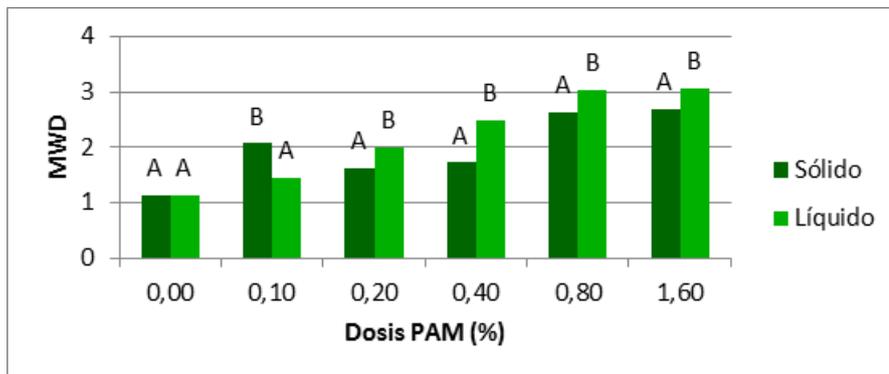


Gráfico N°20 Comparación de la estabilidad estructural entre tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

Para la supervivencia luego del último riego, son las dosis altas de PAM sólida las que muestran la mejor respuesta, siendo significativamente superior a las mismas dosis de PAM líquida.

Comparación de días hasta alcanzar el PMP entre tratamientos

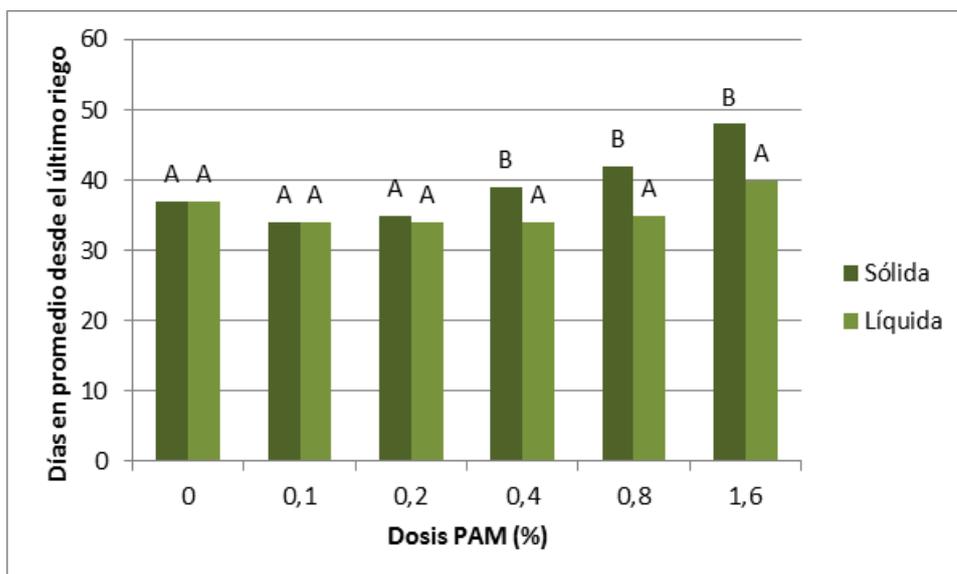


Gráfico N°21 Comparación de días hasta alcanzar el PMP entre tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

En el siguiente grafico (N°22) podemos observar que las dosis de poliacrilamida en estado sólido presentan una producción de materia seca mayor que las dosis en estado líquido, para todas las dosis ensayadas. Como se ha explicado previamente la PAM líquida no mostro efectos positivos en su interacción con el crecimiento de las plantas, y al no mostrar tendencia alguna no se halló relación para estas respuestas.

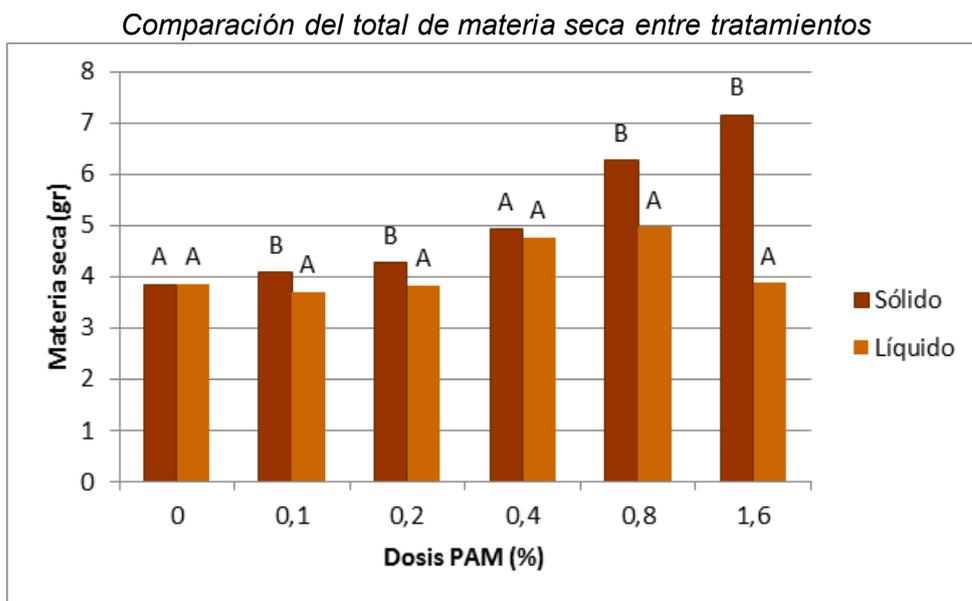


Gráfico N°22. Comparación del total de materia seca entre tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La comparación estadística se lee por dosis, que coincida la letra entre dosis no tiene significado alguno.

5. Conclusiones:

El agregado de dosis crecientes de PAM sólida aumenta la retención hídrica de un suelo arenoso, no siendo así ante el agregado de PAM líquida.

El agregado de concentraciones crecientes de PAM líquida y sólida aumenta la estabilidad estructural de un suelo arenoso a partir de dosis iguales o mayores a 0,2%, obteniendo con PAM líquida valores mayores de estabilidad para igual dosis de PAM.

El incremento en la dosis de PAM sólida aumentó la cantidad de días antes de la senescencia debida al déficit hídrico en dosis mayores a 0,4%. Por el

contrario, los tiempos de supervivencia de las plantas se vieron afectados negativamente con la aplicación de PAM líquida.

La producción de materia seca de Avena aumenta ante el agregado de dosis crecientes de PAM sólida en dosis iguales o mayores a 0,4%. Mientras que el rendimiento no incrementó al utilizar PAM líquida, resultando en algunos casos perjudicial para su producción.

En cuanto a mi carrera este trabajo final me permitió integrar conocimientos y ponerlos en práctica para intentar solucionar un tema que evalué como una problemática, como lo es la baja producción en suelos de textura arenosa, y en lo personal concluir mi carrera. [Mariana Oroz]

Esta experiencia me permitió el ejercicio de investigar y redactar un trabajo de tipo científico, realizarlo en conjunto también fue un reto y un aprendizaje. Interiorizarse en un tópico que resulta de interés, realizar ensayos y expresarlo en un escrito es arduo pero posible. [Florencia M. Bongiorno]

6. Bibliografía:

Akhter, J; Mahmood, K; Malik, KA; Mardan, A; Ahmad, M y MMIqbal.2004.Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant Soil Environ. 50(10): 463-469.

Azzam, R. A.I. 1980. Agricultural polymers, polyacrylamide preparation, application and prospects in soil conditioning. In Soil Science and Plant Analysis, 11(8):767-834.

Ben Hur, M. Gal, y Levy G.J. 1991.Rain energy and soil amendments effects on infiltration and erosion of three different soil types. Aust. J. Soil Res. 29:455-465

Barvenik, F.W.1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. SoilSci. 158:235-243.

Calcagno A; Mendiburo N y Gaviño Novillo M. 2000. Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina. <http://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/inar00200.pdf>

Carr CE, y Greenland DJ. 1975. Potential application of polyvinyl acetate and poly vinyl alcohol in the structural improvement of sodic soils. Soil Science Society of America Journal 7, 47-63.

Chavez García C.A. 2007. Control de la erosión en un sistema de riego en surcos y eficiencia en el uso del agua con aplicación de yeso y PAM. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro universitario Santiago Querétaro, Qro. México

Collado, A. 2012. Desertificación en Argentina: el problema de las 60 millones de hectáreas. <http://inta.gob.ar/noticias/desertificacion-en-argentina-el-problema-de-las-60-millones-de-hectareas>.

Crespo, M.R. 1989. Posibilidades de uso de polímeros sintéticos como conservadores de la humedad del suelo en reforestaciones con pinus halepensis spp. Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo. P. 30.

Del Campo García, AD; Aguilera Segura, A; Lidon Cerezueta, A; Segura & G Orega. 2008. Influencia del tipo y dosis de hidrogel en las propiedades hidrofísicas de tres suelos forestales de distinta textura. Actas de la II Reunión sobre Suelos Forestales 25: 137-143

Enseñat de Carlos, L y Cabot Moura, O. 2004. Estabilización de la estructura del suelo con poliacrilamidas. Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal, ISSN 1131-8988, N° 162, 85-89

Evans R. 2006. Review of the Application of Polyacrylamides for Soil Erosion Reduction Through Sprinklers. Sidney (MT) USDA Agricultural Research Service.

<https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/21563/Review%20of%20the%20App%20of%20Polyacrylamides%20for%20Soil%20Erosion.pdf>

FAO, 1993. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura. Colección FAO: Agricultura N° 26 ISSN 0251 – 1371 - Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma, 1993.

<http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s00.htm#Contents>

FAO, 1996. Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Estudio FAO Montes 131.

<http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage>

FAO, 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo.

<http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm#Contents> Glosario de términos sobre humedad del suelo. (25 de octubre de 2016)

<http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s02.htm>

FAO, 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura Cómo gestionar los sistemas en peligro Resumen Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura Roma, 2011

FAO, 2013a. Informe sobre temas hídricos 38. Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura – FAO Roma, 2013E-ISBN 978-92-5-307633-8 (PDF) © FAO 2013

FAO, 2013b. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe E-ISBN 978-

<http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC (FCCyT). 2012. Diagnóstico del agua en las Américas. ISBN: 978-607-9217-04-4. México, marzo de 2012.

Fernández Reynoso D, Martínez Menes M, Tavarez Espinosa C, Castillo Vega R, Salas Martínez R. 2012. “Estimación de las demandas de consumo de agua” Colegio de postgraduados. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México.

Green y Stott. 2001. Polyacrylamide: a Review of the Use, Effectiveness, and Cost of a Soil Erosion Control Amendment. Sustaining the Global Farm.384-389.

GreenFacts. 2009. Recursos Hídricos Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/

Gutiérrez Castañeda I. de J., Sánchez Cohen I., Cueto Wong J., Trucios Caciono R., Trejo Calzada R., Flores Hernández A. 2008. Efecto del Polímero Aquastock® en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la Acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*) Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo., C.P. 35230 Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 7: 65-72

Irurtia, C.B. y Maccarini, G.D. 1992. FAO. La erosión del suelo en la república Argentina. [http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0b.htm#La erosión del suelo en la República Argentina.](http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S0b.htm#La%20erosi3n%20del%20suelo%20en%20la%20Rep3blica%20Argentina)

Irurtia, C. B.; Mon, R.; Holzmann, R. y Pirolo T. 2012. Efecto de la poliacrilamida en las propiedades físicas de un suelo arenoso. “Latinoamérica unida protegiendo sus suelos” XIX Congreso latinoamericano de la ciencia del

suelo. XXIII Congreso argentino de la ciencia del suelo. Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012

Johnson, M.S. 1984. The effects of gel forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. *J. Sci. Food Agr.*, 35: 1196–1200.

Kabir, M.H.; Amano, Y.; Harada, S.; Gong, J.; Furukawa, H. 2015. “Chemically cross-linked hydrogel having high mechanical strength”. *European Scientific Journal*, 11(6): 1-10.

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.*, 47: 425-437.

Le Bissonnais, Y & D Arrouays. 1997. II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. Sci.* 48: 39-48

Levy, G. J. 1995. Soil stabilizers. *Soil Erosion and Rehabilitation*. In M. Agassi (ed) *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*. Marcel Decker. New York. P. 267-299.

López Elías, J., Huez López, M.A., Rueda Puente, E.O., Jiménez León, J., Rodríguez, J.C., Romero Espinoza, L.K., Dávila Carrera, F. X. 2013. Evaluación de un polímero hidrófilo en chile anaheim (*Capsicum annum* L.) cultivado en invernadero. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* Chapingo, México. *Terra Latinoamericana*, vol. 31, núm. 2, 2013, pp. 115-118.

López Elías, J.; Garza, S.; Jiménez, J.; Huez M. A. y Garrido, O.D. 2016. Uso de un polímero hidrófilo a base de Poliacrilamida para mejorar la eficiencia en el uso del agua. *European Scientific Journal* May 2016 edition vol.12, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431

López Fabal, A.; López López, N.; López Mosquera, M.E. 2011. Modificación de las propiedades de retención de agua de sustratos mediante el uso de superabsorbentes. *Actas de Horticultura 59. Comunicaciones Técnicas de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Actas de las X Jornadas del Grupo*

de Sustratos de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. M^a Teresa Barral Silva, Rosa Devesa Rey e Remigio Paradelo Núñez (Eds.) ISBN 978-84-615-1760-2. 59:42-47.

Malik, M. y Letey J. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers on soil materials. *Soil Science Soc. Am. J.* 55, pp. 380 – 383.

Nadler, A., Perfect E., y Kay B. D. 1996. Effect of Polyacrylamide Application on the Stability of Dry and Wet Aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:555-561.

Mitchell, A.R. 1986. Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration. *Soil Science* 141:353-358.

Omidian, H.; Hashemi, S.A.; Sammes, P.G.; Meldrum, I. 1998 “A model for the swelling of superabsorbent polymers”. *Polymer*, 39(26): 6697-6704.

Orzolek, M.D. 1993 “Use of hydrophylic polymers in horticulture”. *Hort Technology*, 3(1): 41-44.

Osorio, A. y Chávez, C. 1991. La poliacrilamida y soluciones salinas en la retención de agua y fuerza de encostramiento en el suelo. *Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Pachuca, Hidalgo. P. 29.

Plan Nacional de Riego (PNR). 2015. Gestión integral de riego a partir de fuentes de aguas subterráneas. Elementos para evaluar buenas prácticas. Ministerio de agricultura Ganadería y Pesca. http://www.agroindustria.gob.ar/site/agricultura/_pdf/Gestion_Integral_Riego_Agua_Subterranas.pdf

Richards L. A y Weaver L. R. 1944. Moisture retention by some irrigated soil as related to soil-moisture tension. *Journal of Agricultural Research*. Vol. 69 N°6. Washington, D. C.

Rodríguez, G. y Alcantar L. 1992. Efecto de los Hidrogeles de desecho sobre algunas propiedades físicas del suelo. *Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Acapulco, Guerrero. P. 63.

Silva Hernández J. 2005. Efecto de una poliacrilamida en la retención de humedad en el suelo y suministro de nutrimentos en la producción de trigo. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de suelos. Chapingo, México.

Sojka, R.E.; Lentz R.D.; Shainberg I.; Trout T.J.; Ross C.W.; Robbins C.W.; Entry J.A.; Aase J.K.; Bjorneberg D.L.; Orts W.J.; Westermann D.T.; Morishita D.W.; Watwood M.E.; Spofford T.L.; y Barvenik F.W. 2001. Irrigating with Polyacrylamide (PAM) - Nine Years and a Million Acres of Experience. Proceedings of the 4th Decennial Symposium: National Irrigation Symposium. ASAE publication 701P0004, pages 161- 169.14-16. Arizona.

Sojka, R.E.; Bjorneberg, D.L.; Entry, J.A.; Lentz, R.D.; Orts, W.J. 2007 "Polyacrylamide in agriculture and environmental land management". Advances in Agronomy, 92: 75-162.

Taylor KC, y Halfacre RG. 1986. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. Hort. Sci., 21: 1159–1161.

UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, París, Francia, 2003, p. 8

UNESCO. 2015. Agua para un mundo sostenible. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. División de Ciencias del Agua. Italia.
http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf