

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“CONTROL DE *Sorghum halepense* (L.) Pers. MEDIANTE
EL USO DE ADITIVOS EN EL GLIFOSATO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÓNOMA

FABIOLA CONDORE MEDRANO

LIMA - PERÚ

2020

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente tesis
(Art. 24 – Reglamento de propiedad intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**“CONTROL DE *Sorghum halepense* (L.) Pers. MEDIANTE
EL USO DE ADITIVOS EN EL GLIFOSATO”**

**Tesis para optar el Título de:
INGENIERA AGRÓNOMA**

FABIOLA CONDORE MEDRANO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Biól. Mg. Sc. Clorinda Vergara Cobián
PRESIDENTA

Ing. Mg. Sc. Jorge Tobaru Hamada
ASESOR

Ing. Mg. Sc. Sarina Moreno LLacza
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Fernando Passoni Telles
MIEMBRO

**Lima – Perú
2020**

ÍNDICE

RESUMEN

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	La grama china (<i>Sorghum halepense</i> L.)	3
2.1.1.	Taxonomía.....	3
2.1.2.	Características botánicas	4
2.1.3.	Problemática.....	5
2.1.4.	Medios de control	6
2.2.	Ácido N-fosfo-metil-glicina (glifosato).....	7
2.2.1.	Generalidades	8
2.2.2.	Mecanismo de asimilación	8
2.2.3.	Modo de acción	10
2.2.4.	Generación de resistencia de la grama china.....	11
2.3.	Adyuvantes.....	12
2.3.1.	Úrea.....	14
2.3.2.	Sulfato de amonio	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1.	Lugar de experimentación.....	17
3.2.	Condiciones ambientales.....	17
3.3.	Materiales	20
3.3.1.	Material experimental	20
3.4.	Metodología.....	20
3.4.1.	Diseño experimental	20
3.4.2.	Obtención de los rizomas en camas de almácigos en campo	21
3.4.3.	Trasplante de rizomas en macetas	22
3.4.4.	Aplicación del herbicida	22
3.4.5.	Variables en estudio.....	22
3.4.6.	Impacto económico.....	23
3.4.7.	Análisis estadístico	23

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1.	Altura de macollo	24
4.2.	Peso Seco	27
4.3.	Porcentaje de materia seca	30
4.4.	Eficacia del control de malezas	32
4.5.	Cobertura.....	34
4.6.	Impacto Económico de los tratamientos	37
V.	CONCLUSIONES	39
VI.	RECOMENDACIONES	40
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	41
VIII.	ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Movimiento de la glucosa (G) y sucrosa (S) hacia el floema.....	9
Figura 2. Mecanismo de asimilación de glifosato (G) en células vegetales a través de enzimas transportadoras (1) y flujo de masas (2)	10
Figura 3. Temperaturas semanales entre el 30 de Noviembre del 2017 y el 3 de enero de 2018 para el ambiente cálido.	18
Figura 4. Temperaturas semanales entre el 16 de Julio y el 10 de agosto de 2018 para el ambiente frío.....	18
Figura 5. Humedades relativas semanales entre el 30 de Noviembre de 2017 y el 3 de Enero del 2018 para el ambiente cálido.	19
Figura 6. Humedades relativas semanales entre el 16 de julio y el 10 de agosto de 2018 para el ambiente frío.	19
Figura 7. Altura de macollo (cm) a través del tiempo en el ambiente cálido.....	24
Figura 8. Altura de macollo (cm) a través del tiempo en el ambiente frío.....	26
Figura 9. Peso seco (g) de la grama china en el ambiente cálido.	28
Figura 10. Peso seco (g) de la grama china en el ambiente frío.	29
Figura 11. Porcentaje (%) de materia seca del rizoma en el ambiente cálido a las 4 semanas de aplicación.....	31
Figura 12. Porcentaje (%) de materia seca del rizoma en el ambiente frío a las 4 semanas de aplicación.....	32
Figura 13. Cobertura (%) de la grama china en el ambiente cálido a través del tiempo.....	35
Figura 14. Cobertura (%) de la grama china en el ambiente frío a través del tiempo.	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de los tratamientos y aleatorización de los tratamientos para ambos ambientes.....	21
Tabla 2. Escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas	23
Tabla 3. Eficacia del glifosato con y sin adyuvantes según escala ALAM del ambiente cálido a través del tiempo.....	33
Tabla 4. Eficacia del glifosato con y sin adyuvantes según escala ALAM del ambiente frío a través del tiempo.	34
Tabla 5. Costo por hectárea según tratamiento.....	38
Tabla 6. Costo de glifosato, úrea y sulfato de amonio según cotización	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico para altura ambiente cálido.....	51
Anexo 2. Análisis estadístico para altura ambiente frío.....	54
Anexo 3. Análisis estadístico de peso seco ambiente cálido.....	57
Anexo 4. Análisis estadístico para peso seco ambiente frío.....	59
Anexo 5. Análisis estadístico de porcentaje de materia seca ambiente cálido.....	61
Anexo 6. Análisis estadístico para porcentaje de materia seca ambiente frío.....	63
Anexo 7. Análisis estadístico de cobertura ambiente cálido.....	65
Anexo 8. Análisis estadístico de cobertura ambiente frío.....	68

RESUMEN

El éxito de un cultivo depende de diversos factores entre los que destaca la presencia de malezas invasoras que pueden reducir producciones hasta en un 80%, por lo que el uso de herbicidas se ha convertido en una necesidad hoy en día, el glifosato es el herbicida más usado a nivel mundial y las preocupaciones ambientales y sanitarias requieren de estrategias para evitar su uso excesivo. En el presente estudio se utilizaron tres distintas dosis de glifosato (2, 3 y 4 L/ha) en conjunto con dos adyuvantes (Úrea y Sulfato de amonio) para evaluar su control sobre la grama china (*Sorghum halepense*) en dos épocas distintas del año (Ambiente cálido y Ambiente frío) evaluándose la altura del macollo, el peso seco, el porcentaje de materia seca, la eficacia del herbicida y la cobertura de la grama. Los resultados mostraron que para el ambiente cálido en todos los parámetros evaluados los adyuvantes generaron diferencias significativas en donde los tratamientos que poseían adyuvantes tuvieron una menor altura de macollo, peso seco, materia seca del rizoma y cobertura en comparación a los tratamientos sin adyuvantes lo cual es un indicativo de la eficacia del glifosato con adyuvantes. Sin embargo, en el ambiente frío el factor Adyuvante obtuvo diferencias significativas en los parámetros de altura de macollo y cobertura los cuales fueron resultados esperados debido a las condiciones distintas que presentaron ambos ambientes durante la aplicación. Por ello, el uso de adyuvantes puede potencialmente disminuir las dosis de glifosato aplicadas lo que a su vez reduciría los costos de aplicación del herbicida.

Palabras clave: Adyuvante, glifosato, grama china, úrea, sulfato de amonio

ABSTRACT

The success of any crop depends on many factors, one of them is the presence of invasive weeds that can reduce production up to 80%, so the use of herbicide has become a necessity today, glyphosate is the herbicide most used worldwide and environmental and health concerns require strategies to avoid its excessive use. In the present study, three different doses of glyphosate (2, 3 and 4 L / ha) were used in conjunction with two adjuvants (Úrea and Ammonium sulfate) to evaluate their control on Johnsongrass (*Sorghum halepense*) in two different moments of the year (First phase and Second phase); the height of the tiller, the dry weight, the percentage of dry matter, the effectiveness of the herbicide and the grass cover were evaluated. In the first phase the results all parameters showed significant differences where the treatments that had adjuvants had lower tiller height, dry weight, dry matter of the rhizome and coverage compared to the treatments without adjuvants, which it is indicative of the efficacy of glyphosate with adjuvants. However, in the second phase, the adjuvant factor obtained significant differences in the parameters of tiller height and coverage, which were expected results due to the different conditions that both phases presented during the application. Therefore, the use of adjuvants can potentially decrease the glyphosate doses applied and reduce the costs of the herbicide applying.

Keywords: Adjuvant, glyphosate, johnsongrass, úrea, ammonium sulfate

I. INTRODUCCIÓN

Con el pasar de las últimas décadas el cambio climático ha cambiado el patrón de distribución de las hierbas termófilas, de emergencia tardía y hierbas oportunistas en donde se ha observado un incremento en su abundancia en varios tipos de cultivo (Peters *et al*, 2014) en los cuales producen grandes pérdidas debido a la competencia con los recursos del suelo y las enfermedades que transmiten (Follak y Essl, 2012).

La grama china (*Sorghum halepense* L. Pers.) es una de las hierbas invasoras más comunes que existe, la cual puede causar pérdidas mayores al 50% en diversos cultivos, en donde una las formas más comunes y económicas para su control es la aplicación de productos químicos herbicidas (Andújar *et al*, 2013).

El uso de productos químicos orgánicos sintéticos se inició 1946 con el ácido 2,4 diclorofenoxiacético más conocido como 2,4D. Hasta la fecha son numerosas moléculas herbicidas desarrolladas para el control de malezas en todo el mundo llegando a totalizar el 47% de la venta de productos fitosanitarios. La cantidad de herbicidas utilizados se debe a que la estimación de las pérdidas por malezas en la producción por no controlarlas ronda al menos el 30% siendo de 80 – 90% en casos severos de infestación (Kogan y Pérez 2003).

En el Perú, uno de los herbicidas más utilizados es el glifosato debido a su amplio espectro de acción, relativa facilidad de uso frente a otros herbicidas selectivos y costo del producto. Es ampliamente utilizado para el control de plantas de hoja ancha y de gramíneas, por lo cual es muy utilizado en el control de grama china.

Por diversas razones como pueden ser el tiempo largo en lograr el control, la urgencia de la eliminación de la grama china, la oportunidad de aplicación del herbicida o la dosis utilizada y la composición de la formulación es que los resultados del control son diversos o insatisfactorios para el agricultor. Es debido a esto que los agricultores han ido mezclando con el glifosato diversos productos que tienen a la mano como aditivos al caldo herbicida para mejorar el efecto, los cuales necesitan ser corroborados.

Es por ello, que la presente investigación plantea utilizar diferentes dosis del herbicida glifosato mezclados con aditivos (adyuvantes) para el control de grama china con lo que se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Probar el efecto del uso de aditivos con el glifosato para el control de grama china (*Sorghum halepense*)

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto de los aditivos en el control de grama china
- Determinar la dosis adecuada para el control de grama china
- Estimar económicamente el efecto el uso de los aditivos con el glifosato

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Las malezas son consideradas actualmente como la plaga más importante que afecta en mayor proporción el rendimiento de los cultivos y las pérdidas son mayores que las causadas por insectos y enfermedades. Interfieren con los cultivos porque compiten por la luz, el agua y los nutrientes. Reducen la calidad de los productos cosechados además de afectar la salud del ganado y de las personas y afectar considerablemente infraestructuras. Las pérdidas originadas por no controlar malezas en trigo y maíz a nivel mundial se estiman en 30% y en casos extremos de infestación de estas poblaciones las pérdidas pueden llegar al orden del 80 – 90%, como los registrados en maíz (Kogan y Pérez, 2003).

Su control se ha hecho cada vez más difícil debido a los cambios en el patrón del clima que han promocionado su proliferación y un desarrollo persistente de resistencia a los herbicidas (Rout *et al*, 2013; Andújar *et al*, 2013).

2.1. La grama china (*Sorghum halepense* L.)

El *Sorghum halepense* conocido en nuestro medio como grama china, tiene en otras regiones los nombres de sorgo de Alepo, soguillo, maicillo, pasto Johnson o Johnson's grass (por el agricultor que lo introdujo en Estados Unidos en 1840). El epíteto "halepense" viene del latín para la ciudad de Alepo (*Haleb*). Es probable que el origen de la especie sea el resultado de la duplicación del número cromosómico de una hibridación natural entre *S. bicolor* x *S. virgatum* en el norte de África (Leguizamón, 2006; Pengue *et al*, 2009).

2.1.1. Taxonomía

El género *Sorghum* comprende tres grandes grupos cromosómicos con n=5 siendo el mayor representante el *S. versicolor*, un segundo grupo con n=10 en donde se encuentra el *S. bicolor* y finalmente un tercer grupo con n=20 en donde ubicamos al *S. halepense*, representando las formas diploide, tetraploide y octaploide del género (Monaghan, 1979).

La clasificación actual de la grama china según el sistema APG III (2009) es como sigue:

Clado: Angiospermas

Clado: Monocots

Clado: Commelinids

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Sorghum*

Especie: *Sorghum halepense* (L.) Pers.

2.1.2. Características botánicas

Según Leguizamón (2003; 2006), la morfología de la grama china es la siguiente:

- **Rizomas**, los rizomas son un elemento central en la propagación de la especie, que coevolucionaron con los sistemas de roturación de la agricultura moderna. Un nuevo rizoma proviene a partir de las yemas axilares y terminales de un rizoma remanente, identificados como primarios. Éstos a su vez, dan lugar a rizomas secundarios, más finos y ascendentes. En sus extremos distales se produce un ensanchamiento que pasa a formar parte de la corona y de ésta a partir de yemas axilares, se originan macollos y un nuevo sistema rizomatoso identificados como rizomas terciarios. Estos también pueden surgir de las yemas formadas de rizomas secundarios.
- **Corona**, es una parte del tallo que se encuentra ubicada inmediatamente por debajo de la superficie del suelo y a partir de la cual se originan los nuevos brotes o vástagos vegetativos llamados macollos. Se conoce como una porción dilatada y con entrenudos muy próximos, desde los cuales se originan una cabellera de numerosas raíces y rizomas terciarios.
- **Raíces**, son adventicias y fibrosas, originándose en los nudos de los rizomas secundarios y terciarios y también de la corona. Las raíces representan alrededor de 10% de la biomasa subterránea de la planta.

- **Macollos y cañas floríferas**, el vástago florífero se encuentra formado por cañas no ramificadas, erectas, huecas y glabras que pueden llegar a superar los dos metros de altura. Una planta aislada puede llegar a producir hasta 15 o más macollos, aunque su número se encuentra regulado por densidad. La grama china es una especie de días cortos para lograr su floración, desconociéndose si necesita o no un umbral térmico para alcanzarla. En general cada macolla, remata en una panoja, existiendo una alta correlación entre el número de macollos y el número de panojas.
- **Las hojas**, las hojas son lineales y anchas. Las vainas foliares poseen márgenes abiertas con lígula membranosa con un ribete piloso, sin aurículas. La lámina o limbo posee de 20 a 40 centímetros de largo por uno a dos de ancho, de tono verde brillante, a veces con pigmentos purpúreos.
- **Inflorescencia**, es una panoja, al comienzo compacta y luego se extiende y abre en forma ampliamente piramidal y laxa, de unos 20cm a 40cm de largo, algo erecta, purpurina y pubescente. Los racimos se encuentran subapilados sobre el eje central y en extremo de cada racimo se disponen las espiguillas de a tres, una sésil, que es fértil y dos pediceladas, estériles (Burkart, 1969).
- **El cariósipide**, es aovado comprimido, castaño oscuro, de 2mm a 3mm de longitud. Su número por panoja oscila entre 180 a 350, dependiendo del biotipo y las condiciones de formación de la panoja.

2.1.3. Problemática

Es considerada una de las peores malezas en 53 países en todo el mundo. Originariamente, esta planta fue introducida en muchos países como forrajera, convirtiéndose posteriormente en un problema para la producción de cultivos como el maíz, girasol y otros por su capacidad bioexpansiva y competitiva. Es una planta que puede hibridarse con otros sorgos, lo que le da la capacidad de adaptarse a distintos ambientes (Leguizamón, 2006; Pengue *et al* 2009).

Debido a su fácil dispersión, la especie ha invadido una enorme variedad de cultivos en donde actúa como un factor de riesgo pues es un reservorio para una enorme cantidad de patógenos (Follak & Essl, 2012) tales como el *Clavibacter nebraskensis* (Webster *et al*, 2019; Ikley *et al*, 2015) y el virus del moteado clorótico del maíz (Achon *et al*, 2017).

Además de ser un competidor directo de los recursos de los cultivos con los que crece, el hecho de emerger de rizomas las hace más competitivas que las semillas al tener una mayor tasa de crecimiento incluso bajo condiciones de estrés, incluso es bastante exitosa al propagarse por medio sexual en donde cada planta puede producir hasta 100 mil semillas (Acciaresi & Guiamet, 2010). Estudios de dinámicas de dispersión de la maleza aplicando parches de grama a zonas de cultivos mostraron que la propagación se daba principalmente dentro de las parcelas, esto debido a que las labores culturales son el principal mecanismo de propagación del *S. halepense*.

La grama china se desarrolla bastante bien en climas cálidos por lo que el calentamiento global podría promover su dispersión a otros lugares de climas más templados, en donde se ha visto que tiene una interacción negativa con especies locales de grama (Busso *et al*, 2013), es por ello que ya se está estudiando su competencia con especies nativas de grama en condiciones de invernadero para tratar de visualizar las dinámicas de propagación de la especie y su impacto en los suelos (Rout *et al*, 2013). Esto último es de mucha importancia pues las gramas invasoras suelen alterar las dinámicas nutricionales regulares del suelo al modificar el perfil de bacterias que lo habitan teniendo una especial repercusión en el ciclo del nitrógeno (Rout & Callaway 2012; Rout & Callaway 2009).

Se ha demostrado que puede reducir la producción de granos de maíz (*Zea mays* L.) entre un 57% a un 88% (Andujar *et al*, 2013; Mitskas *et al*, 2003) y la producción de soya (*Glycine max* L. Merr.) decae entre un 59 y 88% (Williams & Hayes, 1984), también se ha reportado que esta maleza ha interferido en el crecimiento y producción de cultivos de algodón, caña de azúcar, trigo, arroz entre otros con una disminución del rendimiento de entre el 24 y 87% (Nouri *et al*, 2012).

2.1.4. Medios de control

La grama china fue declarada como plaga en 1930 y su cultivo y propagación fueron prohibidos. Hasta mediados de 1960 el método de control más común era la extracción mecánica de los rizomas o la exposición de ellos a las condiciones adversas del clima a través de labores manuales, maquinaria especializada o la integración de estas dos metodologías (Leguizamón, 2012), la aplicación de este método es bastante bueno en pequeñas parcelas

con pequeñas producciones pero resulta ineficiente en grandes extensiones de cultivo incluso con la ayuda de maquinaria especializada en la exposición de los rizomas (Riaz *et al*, 2015).

Debido a la baja efectividad y eficiencia del control mecánico del *S. halepense* se empezó a aplicar herbicidas a gran escala que para la década de 1960 sólo el Monosodio metil arsonato y Dalapon estaban disponibles en el mercado, ya para la década de los 70 y 80 se usaba de manera rutinaria Trifuralina y el glifosato empezaba a aparecer, pero debido a su alto costo para la época estaba relegado a maquinaria que permitiera una aplicación específica en situaciones particulares (Leguizamón, 2012).

Con la introducción de cultivos genéticamente modificados para resistir el glifosato empezó su uso masivo a mediados de los 90, se convirtió en un método eficaz y económico de control de la maleza que para el 2014 ya era usado en el 72% de los cultivos a nivel mundial (Benbroock, 2016; Kukorelli *et al*, 2013)

En los últimos años se han reportado diversos casos de adaptación a los herbicidas probablemente conducidos por su variabilidad genética, ecología y manejos agronómicos (Ferraro y Ghersa, 2013). Se ha observado alrededor del mundo el desarrollo de resistencia a los herbicidas de tipo inhibidores de acetolactato sintasa, (Heap, 2011), inhibidores de la acetil Coenzima A carboxilasa (Kukorelli *et al*, 2013; Burke *et al*, 2006), herbicidas basados en nitroalinina (Heap, 2011) y finalmente las variedades glifosato resistentes (Riar *et al*, 2011); por lo que hoy en día se usan programas especiales para su aplicación (Johnson *et al*, 2014), además el herbicida está siendo usado en conjunto con métodos mecánicos, cruza con variedades no resistentes y la aplicación de adyuvantes junto con los herbicidas para potenciar su efecto (Dyer, 2018; Riaz, 2015).

2.2. Ácido N-fosfo-metil-glicina (glifosato)

El glifosato es el herbicida más usado a nivel mundial debido a su bajo costo, a su alta efectividad, su bajo impacto ambiental, su poca persistencia y su alta seguridad al usarse con cultivos modificados resistentes (Vila-Aiub *et al*, 2008).

2.2.1. Generalidades

La molécula de glifosato fue aparentemente sintetizada por primera vez en una pequeña compañía farmacéutica suiza, pero no fue patentado como herbicida. En 1970 fue sintetizado y patentado para su uso herbicida por la empresa Monsanto, el cual lo lanzó al mercado en 1974 convirtiéndose en el herbicida dominante en el mercado debido a la introducción de cultivos transgénicos resistentes al glifosato en 1996. Es el herbicida más estudiado con más de 20 mil artículos publicados siendo la mayoría realizados en los últimos 15 años (Duke, 2017).

Es un herbicida sistémico de post emergencia, no selectivo y de amplio espectro herbicida que es aplicado al follaje de malezas anuales, bianuales y perennes (Kogan y Pérez 2003; Duke y Powles 2008). Se prevé que para el año 2019 el mercado mundial de glifosato alcance un valor aproximado de 5.46 mil millones de dólares americanos (TMR, 2014).

Su eficiencia puede ser afectada debido a las diversas formas de interacción gracias a su variedades formas iónicas de la molécula, los factores que más afectan al glifosato son la temperatura, radiación, humedad, pH, calidad del agua, concentración al momento de aplicación, modo de asperjado, la presencia de una cutícula altamente serosa, etc (Travlos *et al*, 2017; Faccini y Puricceli, 2010; Ganie *et al*, 2017).

2.2.2. Mecanismo de asimilación

El glifosato es un herbicida especialmente potente por su capacidad de traslocación, en comparación a otros herbicidas, a zonas meristemáticas apicales y radicales y órganos reproductivos subterráneos (Shaner, 2009).

Se aplica de forma dirigida a las hojas de preferencia a las de mayor actividad fisiológica. Este entra a la planta y se trasloca vía apoplasto y simplasto a las zonas de mayor actividad, entre estas a las regiones meristemáticas. La movilidad del glifosato se encuentra estrechamente relacionada al movimiento del agua y azúcares; la traslocación hacia el floema desde las hojas en donde fue aplicado hasta los demás tejidos sigue la ruta de transporte de la sucrosa de la planta mientras el agua que proviene del xilema lo desplaza desde el floema hacia los demás tejidos (Shaner, 2009). Esta facilidad de movilidad dentro del floema se debe a la funcionalidad ionizable del glifosato que cuenta con tres grupos ácidos y una fuerte base amina (Bromilow y Chamberlain, 2000). Una vez el glifosato ingresa a la planta no permanece más de tres días dentro de la misma como tal (Christoffoleti y López 2009).

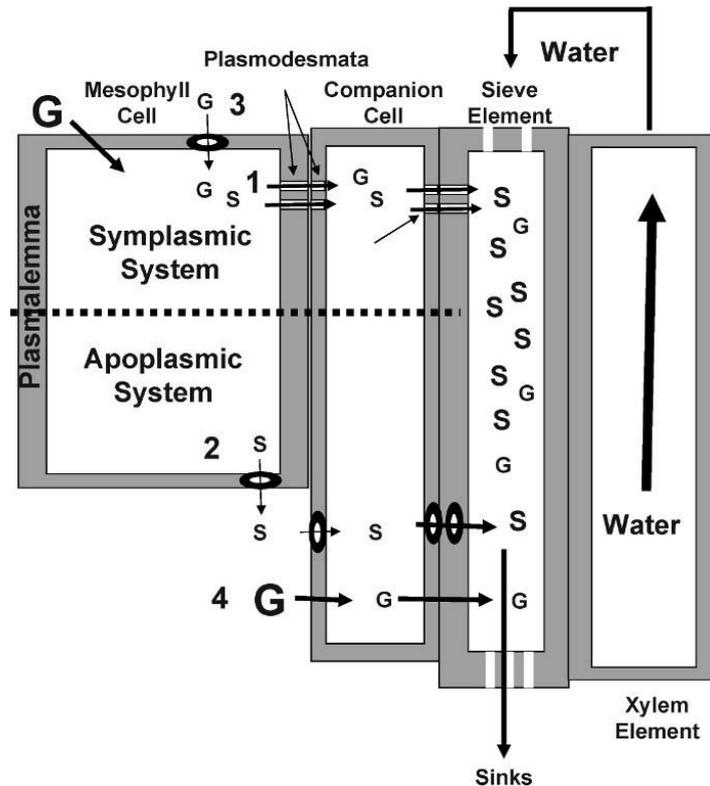


Figura 1. Movimiento de la glucosa (G) y sucrosa (S) hacia el floema (el tamaño de la letra indica la concentración del compuesto).

Fuente: Shaner, 2009.

La forma de asimilación hacia las células de las plantas no está bien dilucidado pero se han observado dos posibles mecanismos: En algunas células vegetales el glifosato es transportado en contra de la gradiente y exhibe una fase de saturación a medida que aumenta la concentración extracelular, lo que nos sugiere que existe un sistema mediado por una enzima transportadora de la membrana, probablemente una transportadora de fosfato. Por otro lado también se ha observado que al inhibir las enzimas transportadoras de la membrana, el glifosato es asimilado por las células vegetales en correlación positiva a la concentración del medio y a favor de la gradiente lo cual implicaría que existe también un transporte pasivo de flujo de masas. Cabe destacar que el efecto de asimilación mediado por enzimas sólo se observa a concentraciones de glifosato muy bajas ya que a grandes concentraciones es probable que ambos sistemas de asimilación se den de forma simultánea solapando el efecto de un sistema con el otro (Denis y Delrot, 1993; Hetherington *et al*, 1998; Morin *et al*, 1997).

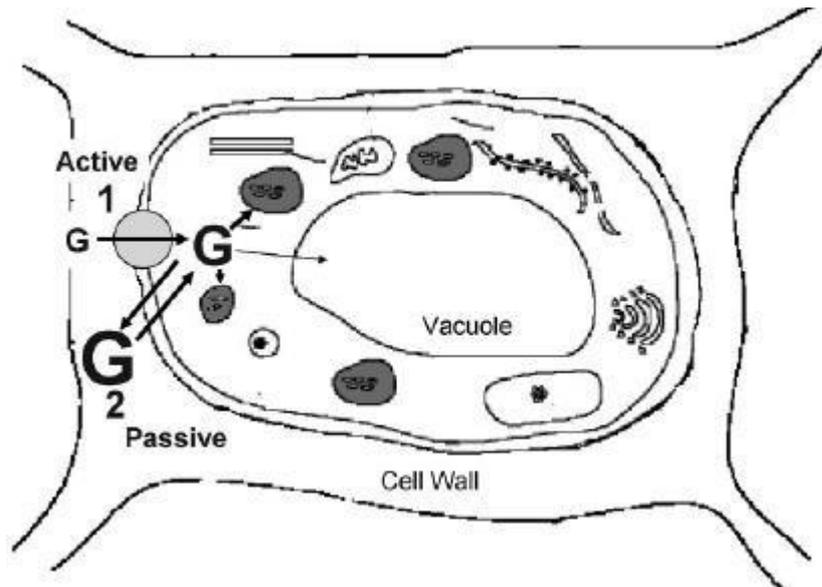


Figura 2. Mecanismo de asimilación de glifosato (G) en células vegetales a través de enzimas transportadoras (1) y flujo de masas (2) (El tamaño de la letra representa la concentración del glifosato). Fuente Shaner, 2019.

2.2.3. Modo de acción

La síntesis de aminoácidos aromáticos (AAA) se realiza en las plantas a través de la vía del shiquimato desde el fosfoenol piruvato y eritrosa 4 fosfato a corismato que es el precursor común a todos los AAA. A partir del corismato se ha identificado que se usa como sustrato base en la síntesis de fenilalanina, tirosina y triptófano (Herrmann y Weaber, 1999).

Las plantas sintetizan una gran cantidad de metabolitos de alta importancia a partir de estos tres AAA, especialmente de la fenilalanina y de varios intermediarios de la vía del shiquimato en donde se calcula que más de un 30% del carbono fijado pasa por esta vía (Tohge *et al*, 2013). Una de las enzimas claves de la ruta del shiquimato es la 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) que cataliza la reacción entre shiquimato-3-fosfato y fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato y fósforo inorgánico; y es el único objetivo conocido del glifosato (Duke y Powles 2008).

Al parecer el glifosato actúa como inhibidor competitivo de EPSPS con respecto a PEP. Como resultado de esta inhibición, se altera la producción de proteínas y previene la formación de una serie de compuestos secundarios como lignina, vitaminas, alcaloides y

compuestos fenólicos. Los síntomas en las plantas afectadas presentan clorosis y luego se tornan de color café, en especial los tejidos jóvenes. La planta tarda entre dos y tres semanas o más después de la aplicación para morir. Esta acción lenta del herbicida se debe al gran tamaño del pool de aminoácidos aromáticos que existe en las plantas (Kogan y Pérez 2003).

A pesar de esto no se sabe exactamente cuál es el mecanismo que provoca la muerte de las plantas, la cual puede deberse a: la acumulación de sustratos de la enzima inhibida, la falta de productos finales generados en la vía inhibida, una gran cantidad de reacciones colaterales desencadenadas por la falta de inhibidores producidos en la vía del shiquimato, una toxicidad inherente del mismo glifosato o una mezcla de todos estos posibles mecanismos. Se ha visto que si se aplican algunos de los metabolitos que se acumulan al aplicar el glifosato, tienen un efecto similar al herbicida, guisantes a los que se les aplicaron quinato en solución, que es uno de los principales metabolitos en acumularse en la planta luego de la interrupción de la vía del shiquimato por parte del glifosato, presentaron una rápida inhibición del crecimiento seguido de la muerte de la planta a los 20 días; por lo que al parecer este metabolito juega un papel importante en el proceso de muerte de la planta (Zabalza *et al*, 2017).

2.2.4. Generación de resistencia de la grama china

El desarrollo de cualquier resistencia implica un proceso de selección ligado a la variabilidad de la especie en donde las continuas aplicaciones del herbicida elimina a los biotipos susceptibles y los resistentes se desarrollan y proliferan (Villalba, 2009; Vila-Aiub *et al*, 2008). El desarrollo de resistencia al glifosato por parte del *S. halepense* se ve reflejado en el aumento de intensidad de las aplicaciones en campo en los últimos años para su control (Benbrook, 2016; Powles, 2008)

El sobreuso del glifosato ha generado la aparición de 21 variedades resistentes al herbicida (Riar *et al*, 2011) convirtiéndose la generación de resistencia en el problema más común en la aplicación de herbicidas (Vila-Aiub *et al*, 2008).

Se ha visto que uno de los mecanismo de resistencia se da por una alteración en la EPSPS en donde la prolina del sitio 106 ha sido sustituida por una serina, alanina o triptófano lo cual disminuye la habilidad del glifosato de unirse a la enzima (Powless y Preston, 2006), aun así

estos biotipos tiene un resistencia mucho más débil en comparación a los cultivos genéticamente modificados y pueden controlarse con tasas de aplicación más altas y frecuentes (Benbrook, 2016; Alarcón-Reverte *et al*, 2015).

Sin embargo, la principal forma de resistencia al glifosato de *S. halepense* se da por una disminución de la absorción o traslocación del herbicida, por lo que no llega al sitio de acción en la concentración suficiente para causar la muerte de la planta (Sammons y Gaines, 2014; Brunharo *et al*, 2016).

A pesar de que los mecanismos que reducen la traslocación no se conocen aún, se ha visto que en algunos biotipos resistentes de gras el movimiento del glifosato parece estar confinado a las zona apicales de las hojas, lo que sugiere la existencia de una barrera aún sin identificar. Algunas investigaciones con células y segmentos de hojas aisladas dan luces de que esta barrera se encuentra a nivel celular pues se impide el paso del glifosato hacia el floema, por lo que esta barrera podría estar en el mismo floema o en las células del mesófilo (Koger *et al*, 2005; Nandula *et al*, 2008, Pérez-Jones *et al*, 2005).

Otros mecanismos suelen estar asociados a cambios químicos y morfológicos en la cutícula, o cambios en la forma u orientación de las hojas que reduce el área de contacto entre las hojas y el herbicida al momento de la aplicación (Heap y Duke, 2018), una modificación en las proteínas transportadoras de fosfato de la membrana, un sistema de bombeo desde el citoplasma hacia vacuolas que secuestran el herbicida lejos de su objetivo, un sistema que bombea activamente el glifosato fuera de la célula o un sistema que lo bombea fuera del cloroplasto en donde no puede alcanzar el sitio activo (Shaner, 2009).

2.3. Adyuvantes

La mayoría de los herbicidas post emergentes requieren del uso de adyuvantes para asegurar su actividad y al mismo tiempo maximizar sus efectos. Estos productos pueden estar incluidos en la formulación comercial del herbicida o bien se requiere agregarlos a la solución asperjada para lo cual deberá hacerse de acuerdo a las especificaciones de la etiqueta del herbicida utilizado (Kogan y Pérez, 2003).

Estos adyuvantes son químicos especializados que deben ser evaluados con cada herbicida particular respecto a su espectro de control y su impacto sobre el cultivo y la salud humana; se ha visto que adyuvantes aminos polietoxilados tienen efectos marcadamente más tóxicos que el mismo glifosato, por lo que la selección de un adyuvante y sus efectos y los de sus productos de degradación es un tema amplio que requiere de diversas investigaciones (Mesnage *et al*, 2019).

Estudios sobre el movimiento de adyuvantes en las plantas han presentado resultados variados en donde algunos de ellos quedan confinados a la superficie de aplicación mientras otros son rápidamente asimilados por la planta (de Ruiter *et al*, 2004), esto debido a la gran variedad de los mismos, pero a su vez dificulta saber si su acción se da únicamente en su acción surfactante, preservante o de reservorio o tiene implicancias dentro de las mismas plantas en acción conjunta con el glifosato. También vale la pena mencionar que algunas concentraciones de adyuvante pueden diferir con respecto a la cantidad de glifosato que finalmente se puede concentrar, debido a los diferentes pesos moleculares de las diferentes sales y los diversos adyuvantes que han sido utilizados por diferentes fabricantes produciendo en ocasiones algunos precipitados que disminuyen la acción del herbicida (Miller *et al*, 2013).

Una de las acciones de los adyuvantes es la disminución del antagonismo de algunas sales hacia el glifosato (Bernards *et al*, 2005), pero el mecanismo más común es aumentar la superficie de contacto entre el herbicida y el follaje de la maleza al disminuir la tensión superficial de la solución herbicida ofreciendo un equilibrio único de propiedades lipofílicas e hidrofílicas, y pueden servir como solventes para herbicidas en la superficie de la hoja (Hess y Foy, 2000), también aumentan el tiempo que la solución permanece en fase líquida sobre las hojas, ayudan en la degradación de los residuos de glifosato no asimilados por la planta y finalmente aumentan la penetración. El uso de los coadyuvantes adquiere mayor importancia cuando las condiciones ambientales promueven una rápida desecación de la solución herbicida o bien un aumento de las ceras cuticulares de las hojas (Kogan y Pérez, 2003; Altuna *et al*, 2010; Lima *et al*, 2019).

Es por ello que la acción de los adyuvantes es marcada en malezas con hojas de superficies hidrófobas en donde los surfactantes ayudan a que el herbicida sea retenido en contacto con las hojas aumentando la tasa de absorción y traslocación (Leaper y Holloway, 2000), y es por

ello también que muchos de estos adyuvantes suelen ser aceites (Schrübbbers *et al*, 2016; Sharma y Singh, 2000)

2.3.1. Úrea

Se ha utilizado mucho por productores medianos y pequeños como fuente de nitrógeno y como adyuvante de glifosato, debido a que se absorbe con facilidad en las hojas, posee una baja fitotoxicidad y es altamente soluble tanto en agua como en aceites; ayuda en la absorción de químicos en la hoja como herbicidas, abonos foliares y/o reguladores del crecimiento (Bondada et al, 2006), además se cree que tiene un efecto acidificante en el pH del agua que podría aumentar la eficacia del herbicida, aunque en recientes estudios se observó que el efecto acidificante era casi nulo en comparación con otros adyuvantes como el sulfato de amonio (Pinto de Carvalho et al, 2009). El aumento de la eficacia se ve traducida como un control más eficaz de malezas con glifosato a dosis más baja (Rao, 1979)

Por otra parte, la úrea muestra menos causticidad a herramientas de pulverización y se presenta menos peligro para la salud. Por lo tanto, la úrea es aceptada como una nueva, eficaz y ambientalmente amigable adyuvante para el glifosato (Li et al, 2012).

Su uso como adyuvante ha tenido resultados muy variados, a dosis de 720g/ha de glifosato con dos distintas concentraciones de úrea (625g/ha y 1250g/ha) no mostraron diferencias significativas con respecto a aplicaciones de sólo glifosato en el control de las malezas *Sida acuta*, *Bidens pilosa*, *Digitaria sanguinalis*, *Mimosa pudica*, *Sclerocarpus phyllocephalus*, *Eleusine indica*, *Emilia fosbergii*, *Lepidium virginicum*, *Commelina diffusa* y *Sporobolus poiretii* en zonas de cultivo comercial de mangos (Ayala et al, 2015).

Aplicaciones de fosfato de amonio con úrea han tenido efectos similares al sulfato de amonio, aunque su aplicación en solitario como adyuvante ha tenido un efecto mucho menor en el control de *Cyperus rotundus* en comparación al sulfato de amonio (Suwunnamek, y Parker, 1975).

Aplicaciones de úrea fosfato (Reacción de úrea con ácido fosfórico) como adyuvante ha disminuido la DL50 en 12 especies de maleza entre las que destacan el *Amaranthus*

retroflexus L., *Setaria faberi* Herrm, *Sorghum bicolor*, *Artemisia annua* L, *Hibiscus trionum*, *Chenopodium album* L, *Humulus scandens* Merr. L, entre otros; lo cual significa que se puede alcanzar altas eficiencias a bajas dosis de glifosato disminuyendo costos, residuos del herbicida en productos finales y una menor exposición entre el glifosato y sus manipuladores, aunque también se ha observado que el efecto destaca o puede ser disminuido dependiendo de la temporada en que se aplique (Li *et al*, 2012).

2.3.2. Sulfato de amonio

Los fertilizantes de amonio constituyen un tipo importante de adyuvantes. Pueden prevenir la formación de partículas en la mezcla del tanque, disminuir la tensión superficial, aumentar la propagación de herbicidas y la penetración en la hoja (Tu *et al*, 2003; Nalewaja y Matysiak, 2000). Además, el amonio ha demostrado ser más efectivo que las sales de sodio como adyuvantes en el glifosato, siendo el sulfato de amonio el más efectivo entre los diversos compuestos de sulfato. Esto probablemente se deba al hecho de que el ion NH_4^+ no es competitivo con el glifosato y puede mejorar la eficacia del glifosato. También se ha informado que el sulfato de amonio puede mejorar significativamente la actividad de los herbicidas cuando las malezas se cultivan en condiciones de estrés hídrico (Satchivi *et al*, 2000).

El agregado de pequeñas cantidades de sulfato de amonio (SA) mejora la fitotoxicidad del glifosato (Donald 1988, Ivany 1988) al igual que la de otros herbicidas post emergentes (Harker y O'Sullivan 1988). Las razones que tienen son desconocidas, aunque se han formulado varias hipótesis y es probable que varios procesos estén involucrados.

El sulfato de amonio ha demostrado su gran valor como adyuvante para el control de diversas malezas. El glifosato es fácilmente inactivado por diversas sales debido a que interactúan fuertemente con sus formas ionizables, al agregar sulfato de amonio éste interactúa con las sales con mayor fuerza que con el glifosato dejándolo libre y disponible para actuar (Travlos *et al*, 2017; Rosales y Sanches, 2006)

El amonio puede competir con cationes polivalentes por cargas negativas en la molécula de glifosato, reduciendo así el potencial de quelación. La formación de cristales de sulfato de calcio sobre las hojas tratadas con glifosato más sulfato de amonio ha sido observada por Nalewaja *et al.* (1992). Estos cristales fueron detectados aun cuando no había calcio en la solución aplicada, lo que significa que el mismo debe haber sido extraído desde dentro de la planta. Los autores sugirieron que una de las formas por las cuales el sulfato de amonio mejora la acción del glifosato es por la ruptura de la cutícula.

Por otra parte, los iones de amonio pueden neutralizar cargas negativas de la molécula de glifosato, facilitando, por lo tanto, la absorción a través de la cutícula y membrana plasmática. Sin embargo Royneberg *et al.* (1992) concluyeron que el SA no posee actividad ninguna al nivel intracelular.

Suwunnamek y Parker (1975) detectaron sinergismo entre el sulfato de amonio y glifosato, aun cuando aplicaron separadamente, el uno 24 horas después del otro, lo cual sugiere que al menos cierto grado de activación ocurrió dentro de la planta. En este sentido Fischer *et al.* (1987) demostraron que la enzima EPSP sintetasa, sobre la que actúa el glifosato, es activada por iones amonio, los que hacen más sensible al glifosato.

El efecto sinérgico del sulfato de amonio se verifica particularmente cuando se usan bajas dosis de glifosato y/o altos volúmenes de aplicación (Blair 1975; Turner y Loarder 1980, O'Sullivan *et al.* 1981).

Sin embargo, diferentes malezas han tenido respuestas variadas al uso de SA como adyuvante, por ejemplo se ha visto que en *Chenopodium album* pudo observarse que no hubieron diferencias significativas en la reducción del crecimiento de esta maleza, así mismo, en *Abutilon theophrasti* si se observó una fuerte reducción del crecimiento a los tratamientos que contenían glifosato y SA en comparación al glifosato solo en donde incluso la dosis eficaz de glifosato se redujo de 451 a 92 g/ha (Young *et al.* 2003).

Aun así, otros estudios en *Abutilon theophrasti* no han encontrado diferencias significativas entre el uso o no de este adyuvante en campos de maíz, esto sugiere que la eficacia del glifosato no depende únicamente del de la acción del surfactante si no que existen muchos factores que pueden influenciar en su acción (Soltani *et al.* 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de experimentación

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Campo Agrícola Experimental ex Fundo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, distrito de La Molina, provincia de Lima, región Lima con coordenadas $12^{\circ}05'04''\text{S}$, $76^{\circ}56'40''\text{W}$. La altura de 247 msnm, la temperatura oscila entre los 14.6°C – 28.7°C y la precipitación es de 60 mm al año en promedio.

3.2. Condiciones ambientales

El experimento se llevó a cabo en dos ambientes. En un ambiente cálido la cual se desarrolló en los meses de Noviembre a Diciembre y un ambiente frío que se desarrollo en los meses de Julio y Agosto. Las condiciones climáticas del experimento fueron distintas en cada ambiente en donde la temperatura promedio máxima del ambiente cálido y el ambiente frío fue de 25.5°C y 18.5°C respectivamente, mientras que la temperatura promedio mínima del ambiente cálido y ambiente frío fue de 17.0°C y 15.2°C respectivamente, el desarrollo de estas temperaturas a lo largo del tiempo se aprecia en las figura 3 y 4.

Con respecto a la humedad máxima no hubo grandes diferencias entre la primer y ambiente frío con una humedad máxima promedio de 96.6% y 97.6% respectivamente. La humedad mínima en promedio fue de 73.6% y 86.2% para la primera y ambiente frío respectivamente, el desarrollo diario de la humedad se presenta en las figuras 5 y 6.

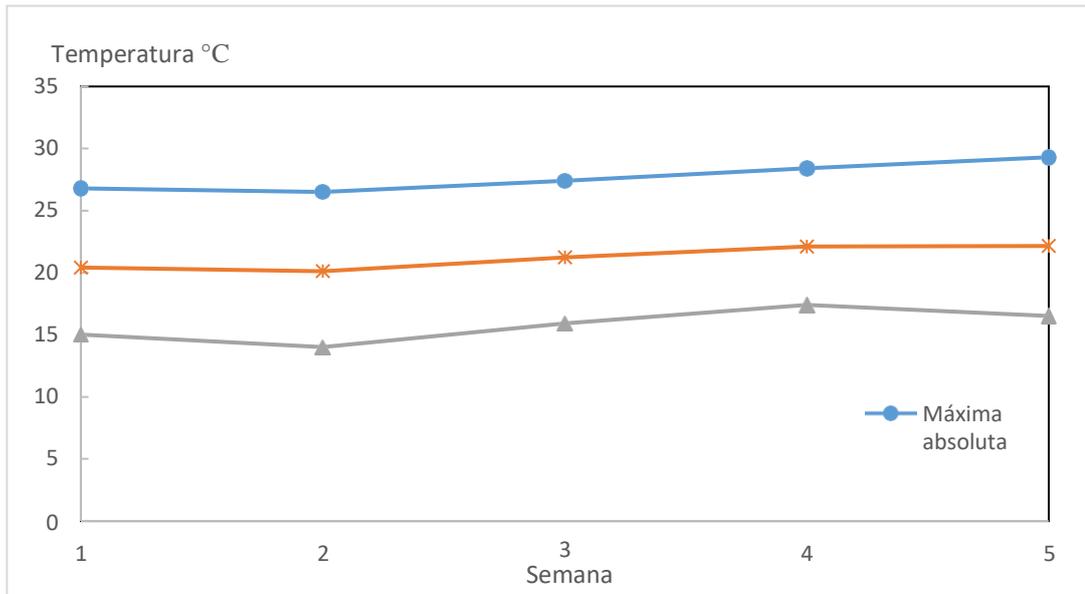


Figura 3. Temperaturas semanales entre el 30 de Noviembre del 2017 y el 3 de enero de 2018 para el ambiente cálido.

Fuente: Estación meteorológica Alexander Von Humboldt, figura de elaboración propia

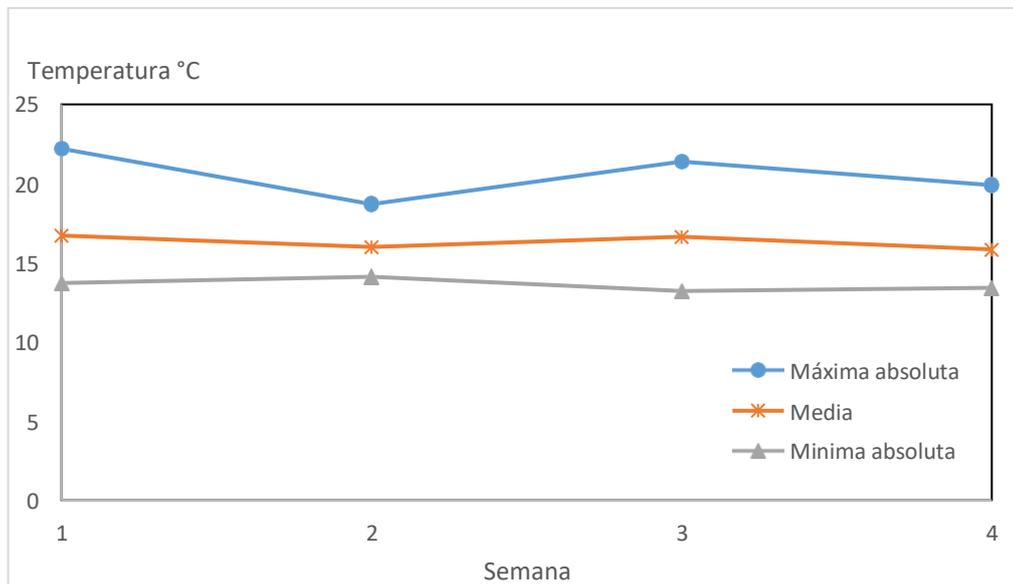


Figura 4. Temperaturas semanales entre el 16 de Julio y el 10 de agosto de 2018 para el ambiente frío.

Fuente: Estación meteorológica Alexander Von Humboldt, figura de elaboración propia

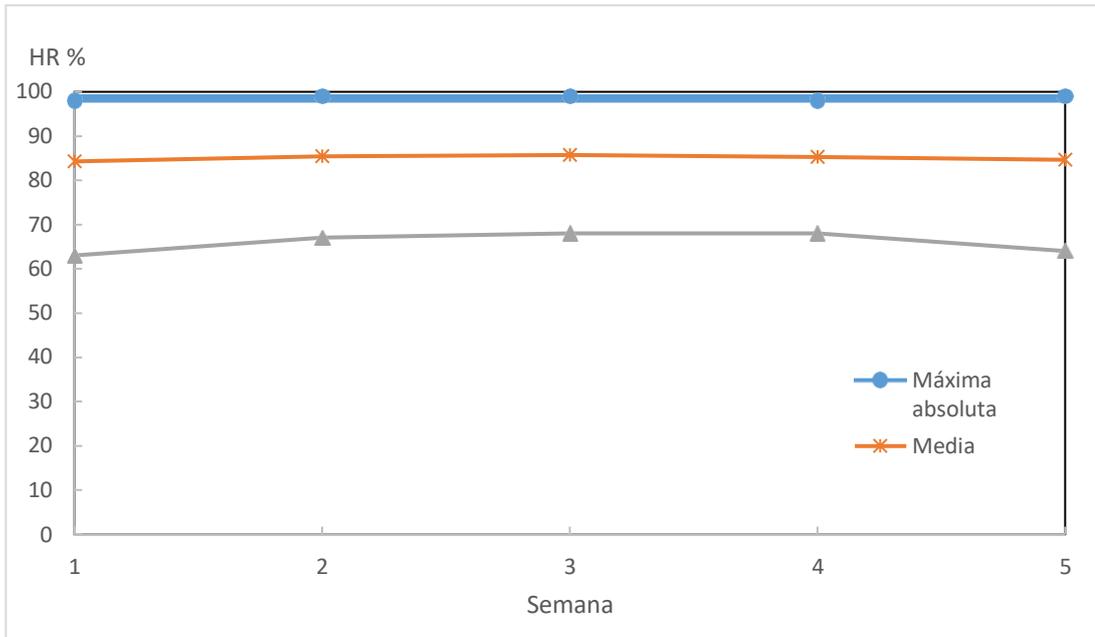


Figura 5. Humedades relativas semanales entre el 30 de Noviembre de 2017 y el 3 de Enero del 2018 para el ambiente cálido.

Fuente: Estación meteorológica Alexander Von Humboldt, figura de elaboración propia

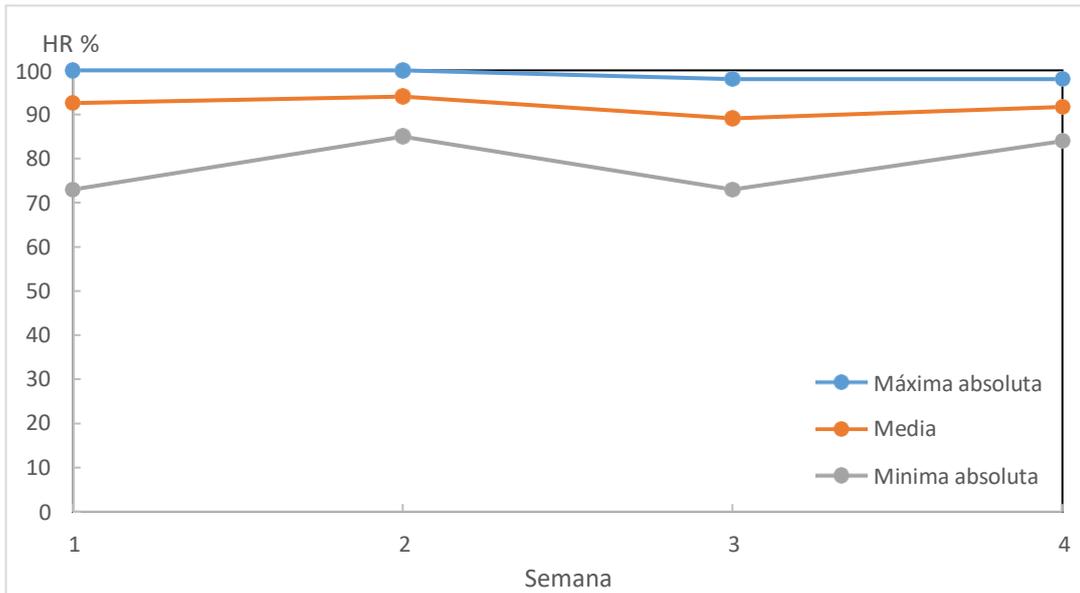


Figura 6. Humedades relativas semanales entre el 16 de julio y el 10 de agosto de 2018 para el ambiente frío.

Fuente: Estación meteorológica Alexander Von Humboldt, figura de elaboración propia

3.3. Materiales

- Manguera
- Mochila para aplicación con boquilla de abanico uniforme EF8004
- Lápiz y lapicero
- 45 Macetas MCL
- Lampa y picota
- Rastrillo
- Wincha
- Camas enraizantes.
- 1 Balde
- 4 sacos de sustrato KEKKILA
- Herbicida glifosato
- Sulfato de amonio
- Úrea
- Programa para medir la cobertura foliar SisCob

3.3.1. Material experimental

El material vegetal utilizado fue el rizoma de *Sorghum halepense* que se colectaron alrededor del campo de cultivo de yuca ubicado en el Programa de Tuberosas, y cuyas características principales serán las siguientes:

- Rizomas primarios delgados, vigorosos y turgentes
- Rizomas de color claro, rosado blanco
- Rizomas de 13 cm de longitud en promedio
- Rizomas con tres yemas

3.4. Metodología

3.4.1. Diseño experimental

Para el presente trabajo experimental se utilizó un arreglo factorial (3A x 3B) en un Diseño Completamente al Azar con el factor dosis de glifosato con tres niveles o dosis (2, 3 y 4 L7ha) y el factor aditivo con tres niveles: Úrea, sulfato de amonio (NA) y sin aditivo (NA), resultando en nueve tratamientos y cinco repeticiones; totalizando 45 unidades experimentales. El experimento se llevó a cabo en dos ambientes con condiciones climáticas

diferentes; el primero en primavera - verano y el segundo en otoño - invierno. El listado de tratamientos y la aleatorización se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Listado de los tratamientos y aleatorización de los tratamientos para ambos ambientes

Código	Dosis glifosato	Adyuvante	Unidad experimental (maceta)				
	L/ha						
Ambiente cálido							
T1	2	úrea 5 kg/ha	11	12	24	33	39
T2	2	SA 3 kg/ha ^a	1	8	28	34	43
T3	2	na ^b	14	18	25	29	30
T4	3	úrea 5 kg/ha	17	20	38	41	44
T5	3	SA 3 kg/ha ^a	3	6	10	19	36
T6	3	na ^b	7	16	21	37	40
T7	4	úrea 5 kg/ha	22	23	26	27	31
T8	4	SA 3 kg/ha ^a	13	15	32	35	45
T9	4	na ^b	2	4	5	9	42
Ambiente frío							
T1	2	úrea 5 kg/ha	4	9	31	35	40
T2	2	SA 3 kg/ha ^a	12	19	20	33	44
T3	2	NA ^b	5	18	36	42	45
T4	3	úrea 5 kg/ha	1	2	7	22	39
T5	3	SA 3 kg/ha ^a	14	21	23	34	38
T6	3	NA ^b	6	10	26	32	41
T7	4	úrea 5 kg/ha	3	8	11	15	28
T8	4	SA 3 kg/ha ^a	17	27	30	37	43
T9	4	NA ^b	13	16	24	25	29

^a = Sulfato de amonio

^b = Sin aditivo

3.4.2. Obtención de los rizomas en camas de almácigos en campo

Con la finalidad de obtener rizomas los más homogéneos posibles para disminuir la variabilidad del material experimental, es que se hicieron pruebas durante dos años en camas de germinación con diversos sustratos como arena, tierra de chara y turba resultando mejor la germinación con este último sustrato. Durante este tiempo se seleccionaron rizomas de acuerdo a su vigor para su multiplicación. Luego se hicieron pruebas para determinar el tamaño de rizomas (por el número de yemas) más apropiado para obtener las plantas para determinar la siembra y trasplante en macetas. Determinándose que los brotes obtenidos de los rizomas de tres yemas fueron los más apropiados en cuanto a vigor de planta se refiere.

3.4.3. Trasplante de rizomas en macetas

Se trasplantaron 135 plantas en 45 macetas en cada una de estas colocándose tres plantas obtenidas de la yema central de cada rizoma de la cual se cortó y se eligió la más vigorosa y la que presentaba una mejor brotación. Se trasplantaron las plantas con las 3 primeras hojas emergentes en un sustrato compuesto de compost y tierra de chacra en proporción 2:1 y se sembró a una profundidad de 5 cm.

3.4.4. Aplicación del herbicida

Esta se realizó en la etapa de prefloración, porque la planta ya no crece más y no desarrolla más área foliar y todo lo que va fotosintetizando lo va usar para mantener los tejidos que ya tiene formados y ese exceso de carbohidratos es enviado hacia los rizomas y como el glifosato se moviliza por el floema junto a los azúcares, entonces hay un mayor flujo de glifosato hacia los rizomas (Shaner, 2009). Para la aplicación se utilizó una mochila asperjadora manual de 20 litros con una boquilla de tipo abanico uniforme EF8004 y con un volumen de 1 litro de caldo de herbicida.

Los productos (glifosato y adyuvantes) fueron aplicados juntos en la mezcla. Después de la aplicación los tratamientos fueron evaluados cada 7 días hasta la muerte de planta.

3.4.5. Variables en estudio

Durante el desarrollo del experimento se midieron las siguientes variables:

- **Cobertura final (después de la aplicación)**, se utilizó un cuadrante y se midió la cobertura de cada planta de la grama china tomando fotos cada 7 días, el cual se evaluó con el programa SisCob (Jorge y Silva, 2009).
- **Peso seco final de rizomas**, los rizomas de cada planta se colocaron en una estufa a 65°C durante un día, luego se pesaron individualmente (Dalley y Richard, 2008).
- **Porcentaje de materia seca**, la evaluación se realizó al final de los ensayos y con ayuda de estufa.
- **Altura de macollo después de la aplicación**, se midió la altura de un macollo de cada planta de grama china con una cinta métrica y se evaluó cada cinco días.
- **Grado de control**, se evaluó visualmente cada 7 días desde la aplicación hasta la muerte de la planta. Mediante la escala (ALAM, 1974) que se usa para determinar el porcentaje de control de herbicida para los tratamientos.

Tabla 2. Escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas

Nivel de control (%)	Denominación
0-40	Ninguno a pobre
41-60	Regular
61-70	Suficiente
71-80	Bueno
81-90	Muy bueno
91-100	Excelente

Fuente: García-Peralta y Salas-Pino (2013).

3.4.6. Impacto económico

Para evaluar el impacto económico de los tratamientos, se calculó el costo de los materiales por cada hectárea de aplicación y se realizó un cuadro comparativo señalando la eficiencia de cada tratamiento según el grado de control en la escala ALAM.

3.4.7. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se realizó un Análisis de Variancia (ANVA) correspondiente a un arreglo factorial 3A x 3B con 5 repeticiones en un Diseño Completamente al Azar. Se realizó un ANVA para cada ambiente en evaluación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de macollo

En el ambiente cálido pudo observarse que el tratamiento T3 mantuvo la mayor altura durante todas las evaluaciones, T3 el cual consistía en la no aplicación de adyuvante (NA) y dosis 2L/ha de glifosato, mientras la menor altura se registró en T4 el cual consistía en la aplicación del adyuvante úrea y dosis 3L/ha de glifosato.

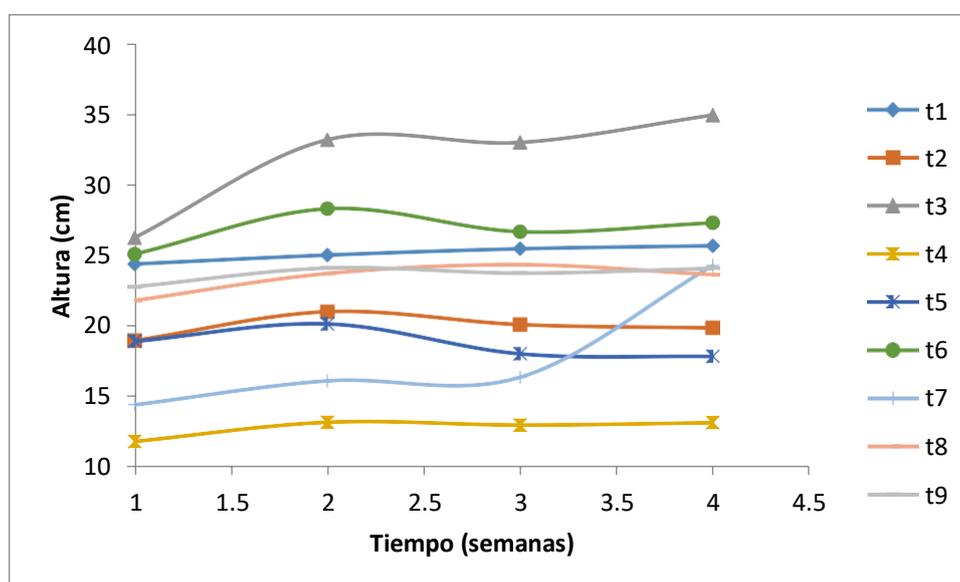


Figura 7. Altura de macollo (cm) a través del tiempo en el ambiente cálido. T1 (2L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T2 (2L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T3 (2L/ha glifosato), T4 (3L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T5 (3L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T6 (3L/ha glifosato), T7 (4L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T8 (4L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T9 (4L/ha glifosato).

Fuente: Figura de Elaboración propia

El hecho de que la menor dosis de glifosato esté relacionado a la mayor altura del macollo va de acuerdo a diversos estudios en donde se ha observado que una mayor concentración del glifosato es más efectiva que una aplicación diluida de la misma cantidad, en donde se ha visto por ejemplo que la longitud fue afectada en las malezas *Hordeum vulgare* L. y *Abutilon theophrasti* Medik. en correlación positiva con la concentración de glifosato mas no por la cantidad aplicada del herbicida pues al parecer la concentración tiene una implicancia importante con respecto a la traslocación del glifosato en las hojas (Cranmer y

Linscott, 1991; Ambach, y Ashford, 1982), posiblemente por un mecanismo de transporte pasivo desde la superficie de las hojas al interior de las células (Shaner, 2019).

Los tratamientos con adyuvantes mostraron en general un menor desarrollo en la altura del macollo en comparación a los tratamientos sin adyuvantes, varios estudios han mostrado que la adición de diferentes tipos y cantidades de adyuvantes en los formulados o añadidos posteriormente al tanque de mezcla ha mejorado el desempeño de glifosato en diversos tipos de cultivos. Los surfactantes que son los más usados permiten aumentar la difusión del herbicida al permitirle penetrar la cutícula de forma más activa (Hess y Foy, 2000).

Se ha visto que la aplicación de algunas sales como adyuvantes a pesar de no tener acción surfactante aumentan la absorción del glifosato a través de las hojas de diversas malezas como el *Abutilon theophrasti*, *Amaranthus rudis* o *Ipomoea lacunose* durante las primeras horas luego de aplicado el glifosato en donde el largo de la planta fue menor en comparación a formulaciones sin adyuvantes (Li et al, 2005). Por otro lado se ha visto que adyuvantes de acción surfactante mejoran la eficacia del glifosato sobre todo en algunas variedades que son especialmente difíciles de controlar debido a la presencia de cutículas altamente cerosas debido al equilibrio único de propiedades lipofílicas e hidrofílicas que se le da a la mezcla del herbicida (Hess y Foy, 2000).

Se ha observado que la aplicación conjunta de diferentes concentraciones de urea con glifosato tiene una correlación positiva con el porcentaje de mortalidad, peso y longitud en *Parthenium hysterophorus* (Bekeko, 2013) siendo el posible mecanismo de acción la disminución del efecto antagonista de sales de calcio y algunos iones metálicos. Por otro lado el sulfato de amonio suele ser usado como adyuvante del glifosato pues ayuda a la dureza del agua y mejora la actividad del herbicida al interactuar más fuertemente con iones sodio, magnesio, potasio, calcio, hierro y zinc en comparación que el glifosato, de esta manera el glifosato queda libre para traslocar en la planta y disminuye la formación de sales de glifosato que no son asimilables a través de las hojas (Nalewaja y Matysiak, 2000; Satchivi et al, 2000).

Si bien el sulfato de amonio no parece tener un efecto considerable como adyuvante en algunas malezas, ha demostrado ser eficaz en el control del *Sorghum halepense* en donde se ha visto por ejemplo que la aplicación de este adyuvante con 0.42Kg/ha de glifosato tienen el mismo efecto que una aplicación de 0.84Kg/ha del glifosato solo (Salisbury et al, 1991).

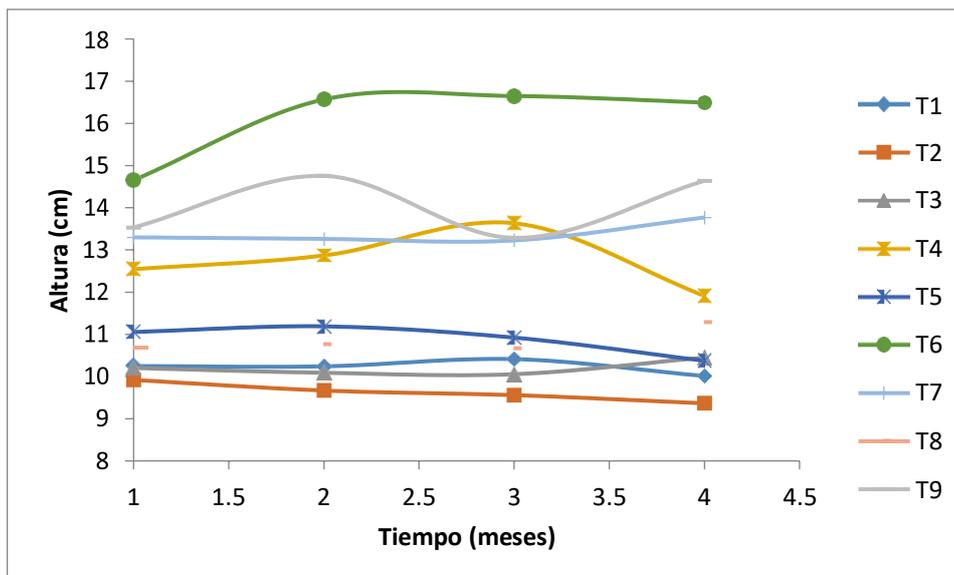


Figura 8. Altura de macollo (cm) a través del tiempo en el ambiente frío. T1 (2L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T2 (2L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T3 (2L/ha glifosato), T4 (3L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T5 (3L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T6 (3L/ha glifosato), T7 (4L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T8 (4L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T9 (4L/ha glifosato). Fuente: Figura de elaboración propia

En el ambiente frío pudo observarse que la mayor altura de macollo se obtuvo en el tratamiento T6 el cual consistía en la dosis 2 y sin adyuvantes (NA) obtuvo el mayor promedio de altura durante todas las evaluaciones, mientras la menor altura se obtuvo por el tratamiento T2 la cual correspondía a la dosis 1 y el adyuvante úrea.

Estos resultados difieren del ambiente cálido en donde la mayor longitud fue hallada en el tratamiento T3 y la menor altura en el tratamiento T4, se debe tener en consideración que el ambiente frío fue realizado entre los meses de Julio y Agosto mientras el ambiente cálido se realizó durante los meses de Noviembre y Enero en donde las condiciones climáticas fueron distintas en ambos casos. Se sabe que la radiación solar, la humedad y la temperatura influyen en la eficacia del glifosato (Travlos, 2017).

Se ha visto que en plantas de *Elytrigia repens* la intensidad luminosa, temperatura y humedad tiene un efecto directo sobre la eficacia del glifosato, en donde ante una mayor intensidad y mayor tiempo de exposición a la luz, a altas temperaturas y a alta humedad, la eficacia del glifosato aumentaba sin importar la dosis aplicada de glifosato, reduciendo el número de rebrotes, crecimiento y la viabilidad de los nodos. Así mismo pudo observarse que el glifosato marcado con C14 era mejor asimilado en los ápices, rizomas, nodos e internodos a condiciones de altas temperaturas, humedad y luminosidad (Coupland, 1983).

Un estudio en pasto bermudas (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) en donde la aplicación glifosato y desarrollo del gras se dio a dos temperaturas (22 y 32°C) y a dos humedades relativas (40 y 100% HR) en donde la mayor temperatura y humedad mostraron mayor penetración y traslocación de glifosato, un menor peso seco, menor crecimiento y una mayor cantidad de lesiones visibles en el gras (Jordan, 1977). Incluso este comportamiento se ha visto en *Ambrosia artemisiifolia* y *Ambrosia trifida* en donde a altas temperaturas se mejoró la eficacia, asimilación y traslocación sin importar si se trataba de variedades resistentes o variedades susceptibles, (Ganie et al, 2017), por ello las condiciones ambientales son de especial importancia al momento de la aplicación del glifosato.

4.2. Peso Seco

En el ambiente cálido de evaluación al realizar un análisis por factores pudo observarse que el factor adyuvante mostró diferencias significativas ($P= 0.0003$) siendo el menor peso para el Sulfato de amonio (SA) con 8.83 g seguido de la úrea con 10.57g y finalmente el mayor peso fue para los tratamientos en los que se aplicó únicamente glifosato (NA) con 15.29g. Mientras el factor dosis no mostró diferencias significativas ($P= 0.0881$) siendo el mayor peso en la dosis 2 con 12.67g seguida de la dosis 3 con 12.41g y finalmente la 4 con 12.67g tal como se muestra en la figura 9.

La prueba por factores de múltiples rangos de Duncan mostró que en el factor adyuvante hubo diferencias significativas entre el SA y el NA, y entre la úrea y NA, sin embargo, no hubo diferencias entre la úrea y el SA. El mayor peso fue registrado por el tratamiento sin adyuvantes NA y dosis 2 con 18.51g, mientras el menor peso seco se registró en el tratamiento SA y dosis 2 con 7.72g. La interacción entre adyuvante y dosis no presentó significancia.

Estos resultados van de acorde a diversos estudios en donde la aplicación de sulfato de amonio como adyuvante aumenta la toxicidad del glifosato en comparación con la úrea o tratamientos de glifosato sin adyuvantes, el sulfato de amonio aumenta la efectividad del herbicida al facilitar la penetración del glifosato a la planta. Uno de los mecanismos es la capacidad de acidificación del sulfato de amonio en el caldo herbicida ya que el glifosato necesita de un pH de 4,5 para poder ingresar a la planta a través de la cutícula (Pinto de Carvalho et al., 2009; Juárez, 2014), por otro lado, el sulfato de amonio también puede

modificar la permeabilidad de la hoja a través de la eliminación de la cutícula o el aumento de la retención del herbicida en la hoja (Ramsdale *et al*, 2003).

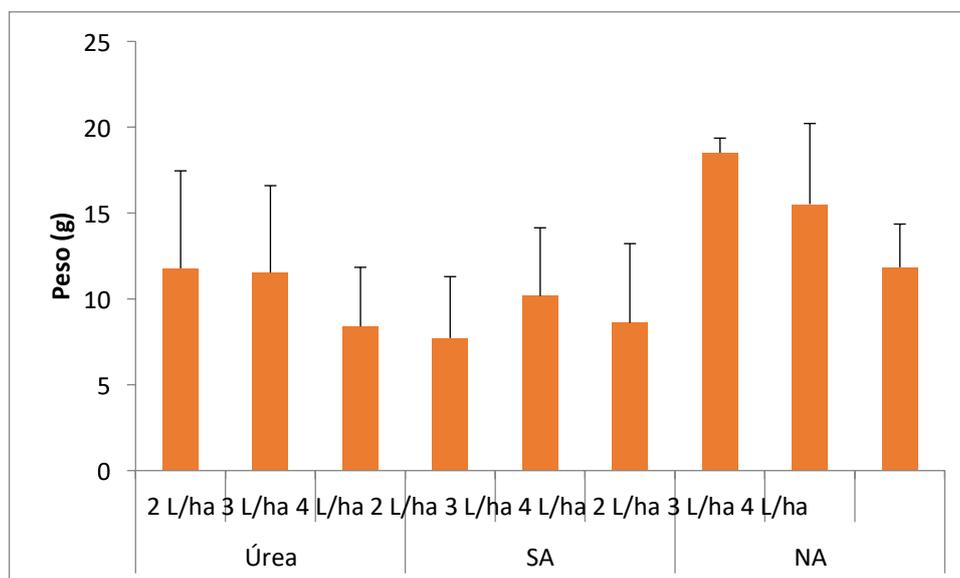


Figura 9. Peso seco (g) de la grama china en el ambiente cálido. Adyuvantes: Úrea, SA (Sulfato de amonio) y NA (Sin adyuvante). Fuente: Figura de elaboración propia

Por otro lado, el SA interactúa con sales antagonistas al glifosato dejándolo libre para permear a través de la cutícula siendo el anión sulfato el que reacciona con carbonatos y otros cationes de sales antagonistas al glifosato (Ramsdale *et al*, 2003), además el alto contenido de nitrógeno del SA aumenta la apertura de las estomas mejorando la penetración del herbicida (Juárez, 2014)

En el peso seco también se puede apreciar que la úrea fue superior con respecto a los tratamientos sin adyuvantes. Se ha visto que aplicaciones de glifosato con úrea y sal común aplicadas a *Parthenium hysterophorus* cuando la planta tenía de 6 a 8 hojas (antes de la floración) dieron como resultado una mortalidad completa de la maleza (96%), a los 55 días después de la aplicación en comparación de la aplicación de solo glifosato con una mortalidad de solo 25% (Bekeko, 2013).

La úrea fosfato aplicada como adyuvante al 2%, se halló puede aumentar la eficacia al causar una rotura severa de la cutícula o acelerar la absorción inicial del herbicida, y también la úrea fosfato podría reducir la unión del Ca^{2+} al glifosato. La aplicación de la úrea fosfato como adyuvante podría aumentar la eficacia del glifosato y permitir un control efectivo de

las malezas con dosis de glifosato más bajas. Además, la úrea fosfato mostró menos causticidad a las herramientas de pulverización y presentó menos riesgo para la salud. Por lo tanto, úrea fosfato se acepta como un adyuvante nuevo, eficaz y ambientalmente benigno para el glifosato (Li et al, 2012)

Por otro lado, en el ambiente frío de evaluación al realizar un análisis por factores pudo observarse que ni el factor adyuvante ni el factor dosis mostraron diferencias significativas, el menor peso en el factor adyuvante fue para el SA con 5.89g seguido de NA con 7.72g y finalmente la úrea con 7.94g. En el factor dosis el menor peso se observó en la dosis 3 con 6.33g seguida de la dosis 4 con 7.27g y finalmente la 2 con 7.94g tal como se muestra en la figura 10.

La prueba por factores de múltiples rangos de Duncan mostró que tanto en el factor adyuvante como en el factor dosis no hubo diferencias significativas. El mayor peso fue registrado por el tratamiento sin adyuvantes NA y dosis 2 con 8.83g, mientras el menor peso se registró en el tratamiento con SA y dosis 3 con 3.00g. Por otro lado, la interacción de ambos factores no mostro diferencias significativas.

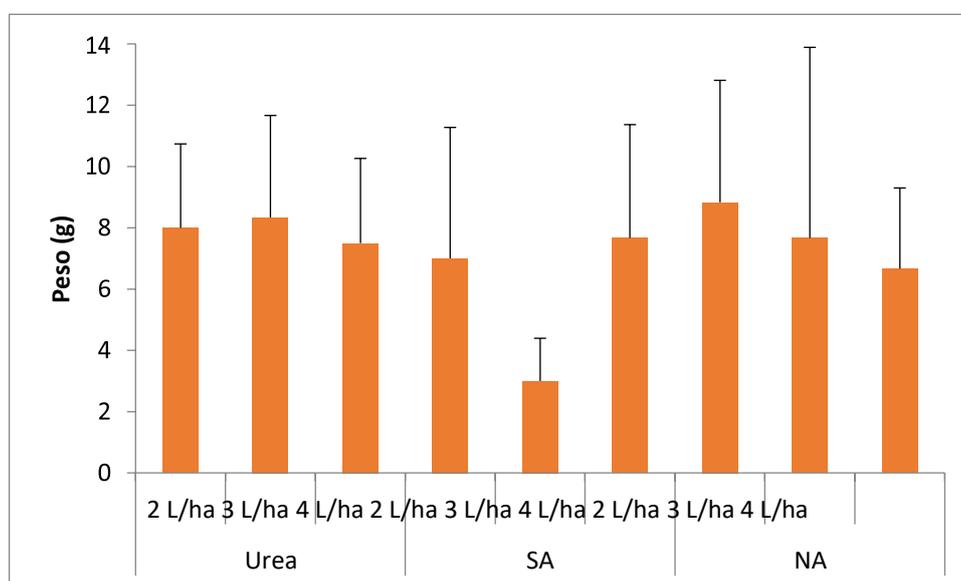


Figura 10. Peso seco (g) de la grama china en el ambiente frío. Adyuvantes: Úrea, SA (Sulfato de amonio) y NA (Sin adyuvante). Fuente: Figura de elaboración propia

Se ha visto que la efectividad de una aplicación de herbicida y la acción de sus adyuvantes depende mucho de las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla el cultivo, Li et

al. (2012), evaluaron la úrea fosfato, aplicado como un adyuvante (al 2%) del glifosato en invernadero y en campo para determinar sus efectos en la eficacia del glifosato; se halló que la dosis efectiva media del glifosato (ED50) a las 2 y 3 semanas después del tratamiento se redujeron con el uso de la úrea fosfato, en invernadero y campo, y que el glifosato + úrea fosfato se absorbió durante un período de 2 semanas.

Los resultados difieren en gran medida con respecto a el ambiente cálido, se sabe que las condiciones del clima juegan un papel importante durante la aplicación del glifosato y durante el tiempo en que éste actúa en la planta, en donde ante una mayor temperatura, humedad y radiación solar aumentan la eficiencia y eficacia del herbicida lo cual se traduce en un menor crecimiento y desarrollo de la maleza (Ganie et al, 2017; Coupland, 1983).

Aun así, se han reportado algunos resultados atípicos en donde ante una menor temperatura la eficacia del glifosato aumenta, esto se ha visto sobre todo en algunas especies que poseen variedades resistentes como el *Lolium rigidum*, *Lolium perenne*, *Echinochloa colona*, *Conyza canadensis* e incluso la grama china; al parecer dos mecanismos actúan en estos casos, uno de ellos es una menor traslocación de glifosato por una mayor serosidad de la hoja mientras por otro lado hay un alto secuestro del herbicida en las vacuolas que impiden al glifosato llegar a su objetivo; estos dos mecanismos son estimulados por temperaturas altas por lo que a temperaturas más bajas el glifosato es más asimilado y menos secuestrado por las vacuolas llegando más dinámicamente al sitio activo (Vila-Aiub, 2013; Ghanizadeh et al, 2015; Nguyen et al, 2016; Ge et al, 2011).

4.3. Porcentaje de materia seca

En el ambiente cálido de evaluación al realizar un análisis por factores pudo observarse que el factor adyuvante mostró diferencias significativas ($P= 0.0000$) siendo mayor porcentaje para el tratamiento de sólo glifosato (NA) con 50.25% seguido de la úrea con 47.84% y finalmente el menor porcentaje fue para el sulfato de amonio (SA) con 41.56%. Mientras el factor dosis también mostró diferencias significativas ($P= 0.0001$) siendo el mayor porcentaje la dosis 3 con 49.58%, seguida de la dosis 2 con 46.97% y finalmente la dosis 4 con 43.11% tal como se muestra en la figura 11.

La prueba por factores de rangos múltiples Duncan mostró que en el factor adyuvante hubo diferencias significativas entre el SA y el NA, y entre la úrea y SA, sin embargo, no hubo

diferencias entre la úrea y el NA. El mayor porcentaje fue registrado por el tratamiento sin adyuvantes NA y dosis 3, mientras el porcentaje se registró en el tratamiento SA y dosis 4. La interacción entre adyuvante y dosis presentó significancia ($P=0.0027$).

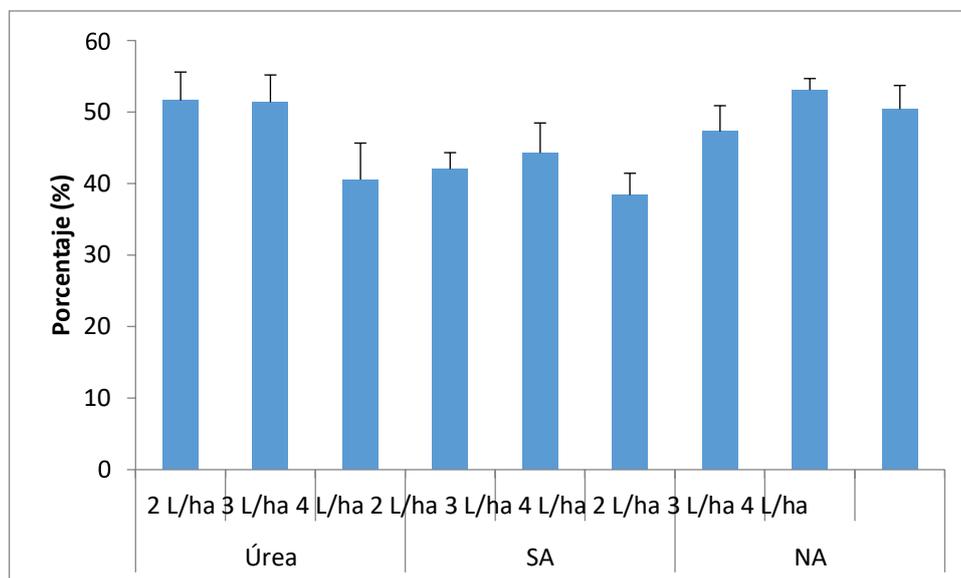


Figura 11. Porcentaje (%) de materia seca del rizoma en el ambiente cálido a las 4 semanas de aplicación. Adyuvantes: Úrea, SA (Sulfato de amonio) y NA (Sin adyuvante).

Fuente: Figura de elaboración propia

Reducciones en el porcentaje de materia seca suelen ser relacionados a una mejor acción del glifosato, plantas de *Amaranthus tuberculatus* bajo estrés por sequía mostraron que la eficacia del glifosato varía según el régimen de riego impuesto y el momento en donde se aplica el estrés en donde tratamiento saturados de agua presentaron los menores porcentajes de materia seca mientras y la aplicación del estrés antes de la aplicación del glifosato también generó los menores porcentajes de materia seca (Skelton et al, 2016).

Se ha visto en *Ambrosia tífida* que el porcentaje de materia seca presentó diferencias entre variedades resistentes y susceptibles a los 29 y 36 días luego de aplicado el glifosato en donde la variedad resistente acumuló un mayor porcentaje de materia seca en comparación a la variedad susceptible. Sin embargo, a los 43 y 50 días luego de la aplicación estas diferencias desaparecieron (Brabham et al, 2011)

En el ambiente frío de evaluación al realizar un análisis por factores pudo observarse que el factor adyuvante no mostró diferencias significativas ($P= 0.0674$) siendo mayor porcentaje para el tratamiento de sólo glifosato (NA) con 42.79% seguido de la úrea con 41.42% y

finalmente, el menor porcentaje fue para el sulfato de amonio (SA) con 36.61%. Mientras el factor dosis tampoco mostró diferencias significativas ($P= 0.2220$) siendo el mayor porcentaje la dosis 2 con 43.02%, seguida de la dosis 4 con 38.96% y finalmente la dosis 3 con 38.84% tal como se muestra en la figura 12.

La prueba por factores de rangos múltiples Duncan mostró que en el factor adyuvante hubo diferencias significativas entre el SA y el NA, sin embargo, no hubo diferencias entre la úrea y NA ni entre la úrea y el SA. El mayor porcentaje fue registrado por el tratamiento sin adyuvantes NA y dosis 2 con 47.55%, mientras el menor porcentaje se registró en el tratamiento SA y dosis 3 con 31.24%. La interacción entre adyuvante y dosis no presentó significancia ($P=0.1668$).

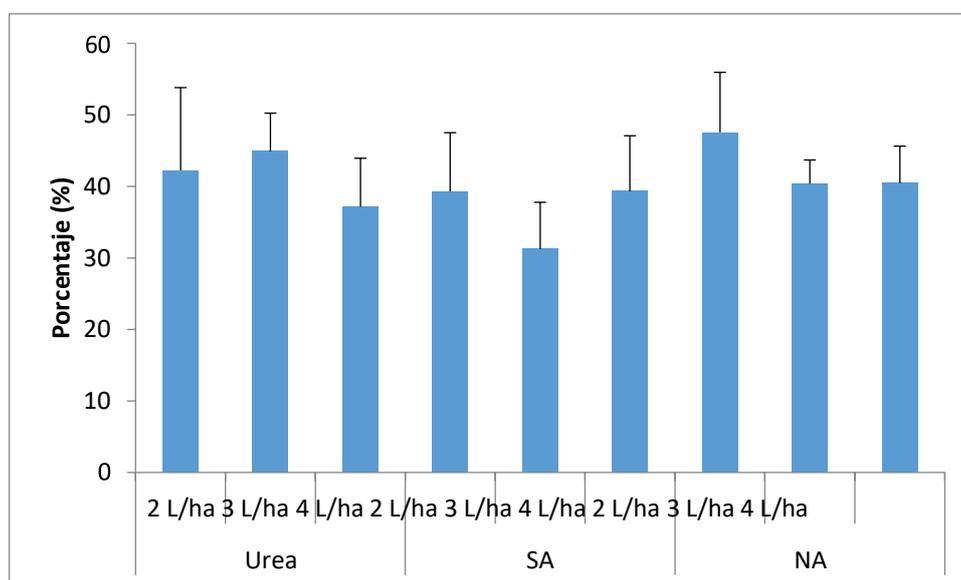


Figura 12. Porcentaje (%) de materia seca del rizoma del ambiente frío a las 4 semanas de aplicación. Adyuvantes: Úrea, SA (Sulfato de amonio) y NA (Sin adyuvante).

Fuente: Figura de elaboración propia

4.4. Eficacia del control de malezas

En el ambiente cálido si bien la clasificación ALAM daba como regular y pobre a todos los tratamientos, se pudo ver que a medida que progresaba el ensayo hubo un mayor control de la grama china en donde incluso en la cuarta semana de evaluación todos los tratamientos con adyuvantes recibieron clasificación de “Excelente” para el control de malezas según escala ALAM a diferencia de los tratamiento que no contaban con adyuvantes (T3, T6 y T9) los cuales sólo recibieron calificaciones de “Suficiente”, “Regular” y “Muy Bueno” como

se aprecia en la Tabla 3 esto va de acorde con la bibliografía en donde podemos encontrar que la acción del glifosato no es inmediata si no que se desarrolla viéndose su efectividad recién de 2 a 3 semanas (Kogan y Pérez 2003).

Tabla 3. Eficacia del glifosato con y sin adyuvantes según escala ALAM del ambiente cálido a través del tiempo. T1 (2L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T2 (2L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T3 (2L/ha glifosato), T4 (3L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T5 (3L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T6 (3L/ha glifosato), T7 (4L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T8 (4L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T9 (4L/ha glifosato).

Tratamientos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
T1	Regular	Suficiente	Muy Bueno	Excelente
T2	Regular	Muy Bueno	Excelente	Excelente
T3	Pobre	Pobre	Pobre	Suficiente
T4	Regular	Bueno	Muy Bueno	Excelente
T5	Regular	Muy Bueno	Excelente	Excelente
T6	Pobre	Pobre	Regular	Regular
T7	Regular	Bueno	Excelente	Excelente
T8	Regular	Excelente	Excelente	Excelente
T9	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno

Fuente: Tabla de elaboración propia

Esta acción lenta del glifosato se debe a que el herbicida sólo ataca a la enzima 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) que cataliza la reacción entre shiquimato-3-fosfato y fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato y fósforo inorgánico; y es el único objetivo conocido del glifosato (Duke y Powles 2008), este es un paso básico para la formación de aminoácidos aromáticos tales como la de fenilalanina, tirosina y triptófano (Herrmann y Weaber, 1999) y debido al gran contenido de aminoácidos aromáticos que poseen las plantas estos se agotan después de un par de semanas en donde comienzan a hacerse visibles los síntomas de su falta (Kogan y Pérez 2003).

Los resultados del ambiente cálido se ajustan a la literatura que nos indica que en condiciones favorables, los adyuvantes tienen la capacidad de aumentar la efectividad de los herbicidas gracias a diversos mecanismos tales como ser surfactante (Leaper y Holloway, 2000), retentora de humedad (Miller et al, 2013), protección contra el antagonismo de otras sales (Bernards et al, 2005) y acción solubilizante (Hess y Foy, 2000).

Por otro lado en el ambiente frío a diferencia del ambiente cálido todos los tratamientos tuvieron un control de eficacia “Pobre” en la primera semana de evaluación por lo que la acción del glifosato

no habría sido la misma en este ambiente, además para la semana 4 de evaluación todos los tratamientos con excepción de T3 y T4 tuvieron una clasificación de eficacia de control como “Excelente” tal como se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4. Eficacia del glifosato con y sin adyuvantes según escala ALAM del ambiente frío a través del tiempo. T1 (2L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T2 (2L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T3 (2L/ha glifosato), T4 (3L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T5 (3L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T6 (3L/ha glifosato), T7 (4L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T8 (4L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T9 (4L/ha glifosato).

Tratamientos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
T1	Pobre	Regular	Bueno	Excelente
T2	Pobre	Suficiente	Bueno	Excelente
T3	Pobre	Pobre	Regular	Suficiente
T4	Pobre	Regular	Bueno	Muy Bueno
T5	Pobre	Suficiente	Muy Bueno	Excelente
T6	Pobre	Regular	Bueno	Excelente
T7	Pobre	Regular	Suficiente	Excelente
T8	Pobre	Suficiente	Bueno	Excelente
T9	Pobre	Regular	Bueno	Excelente

Fuente: Tabla de elaboración propia

Cabe resaltar que las condiciones ambientales en ambos ambientes fueron diferentes debido a que fueron realizadas en estaciones del año distintas, por lo que la fisiología de la planta y su interacción con el herbicida probablemente haya sido diferente en comparación a el ambiente cálido, además debido a las diversas formas iónicas de la molécula del glifosato, los factores que más afectan al herbicida son la temperatura, radiación, humedad, pH, calidad del agua, concentración al momento de aplicación, modo de asperjado y la presencia o no de una cutícula altamente serosa en la grama. Estos factores afectan principalmente la capacidad de asimilación del herbicida por parte de las plantas al precipitar el glifosato, al hacerlo no soluble a la epidermis de la planta o generando barreras físicas que impiden la traslocación q imposibilitan que alcance su molécula objetivo (EPSPS) (Travlos et al, 2017; Faccini y Puricceli, 2010; Ganie et al, 2017).

4.5. Cobertura

Pudo apreciarse la acción del glifosato en ambos ambientes en las cuales pudo apreciarse una disminución progresiva de la cobertura independientemente del tratamiento, un análisis de variancia multifactorial nos mostró en el ambiente cálido diferencias significativas en los factores adyuvante (P=0.000), dosis (P=0.000) y semana de evaluación (Eval) (P=0.000) además de una interacción significativa entre adyuvante:dosis (P=0.000) y adyuvate:Eval

($P=0.000$). Las mayores coberturas en la cuarta semana de evaluación se registraron en aquellos tratamientos que no poseían adyuvantes (T3, T6 y T9).

Por otro lado en el ambiente frío se pudo observar una menor cobertura en general de la grama en comparación con el ambiente cálido, un análisis de variancia multifactorial nos mostró en el ambiente cálido diferencias significativas en los factores adyuvante ($P=0.000$), dosis ($P=0.000$) y semana de evaluación (Eval) ($P=0.000$) además de una interacción significativa entre adyuvante:dosis ($P=0.019$) y adyuvante:Eval ($P=0.044$). El tratamiento con la mayor cobertura fue el T3 el cual corresponde a la dosis más baja (2L/ha) de glifosato sin adyuvantes mientras la menor cobertura se registró en el tratamiento T5 correspondiente al adyuvante sulfato de amonio (SA) y dosis 3 de glifosato como puede apreciarse en la figura 13.

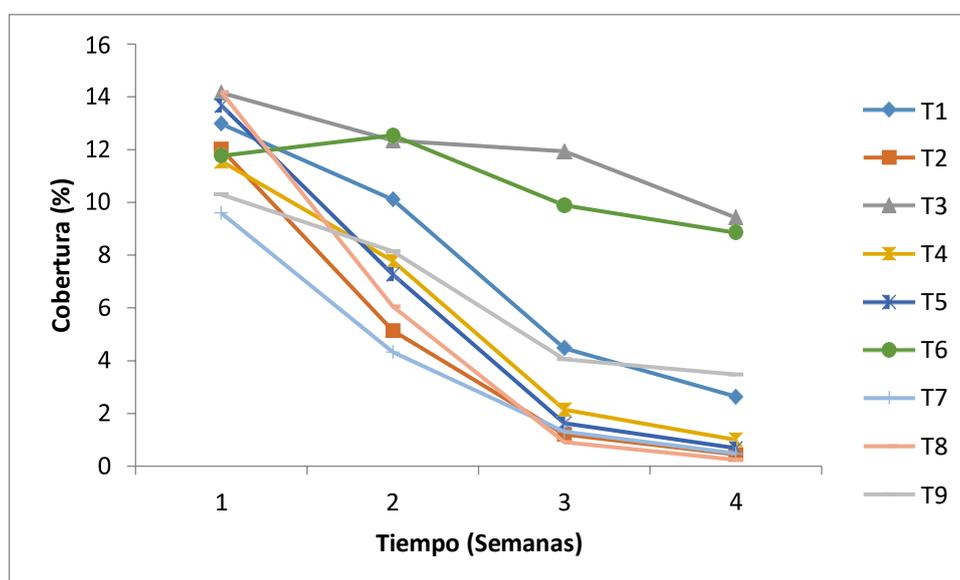


Figura 13. Cobertura (%) de la grama china en el ambiente cálido a través del tiempo. T1 (2L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T2 (2L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T3 (2L/ha glifosato), T4 (3L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T5 (3L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T6 (3L/ha glifosato), T7 (4L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T8 (4L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T9 (4L/ha glifosato).

Fuente: Figura de elaboración propia

Los resultados en el ambiente cálido se ajustan a lo esperado pues puede apreciarse como los tratamientos que poseyeron adyuvantes disminuyen más la cobertura en comparación a los tratamientos sin adyuvantes. Sin embargo, no se ven los mismos efectos en el ambiente frío, probablemente debido a las condiciones del cultivo en el momento de la aplicación. Cabe recordar que en el ambiente cálido las condiciones eran más cálidas y menos húmedas

que en el ambiente frío; las condiciones del ambiente cálido favorecen una mayor evaporación lo cual causa que las aplicaciones en las superficies de las hojas se mantengan húmedas por un periodo de tiempo menor que en condiciones más frías y húmedas y por ende un menor tiempo de contacto entre la cutícula de la hoja y el herbicida pues el glifosato sólo puede ser asimilado por la planta si es que éste se encuentra únicamente en solución, por ello en las condiciones dadas en el ambiente cálido los efectos de los adyuvante serían más notorios ya que aumentan el tiempo que la solución permanece en fase líquida sobre las hojas (Kogan y Pérez, 2003; Altuna *et al*, 2010; Lima *et al*, 2019).

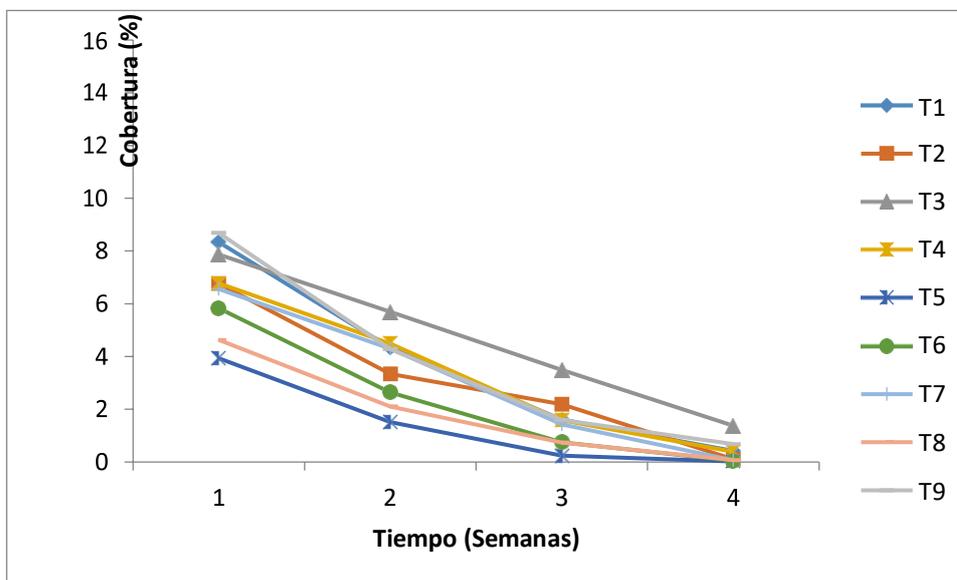


Figura 14. Cobertura (%) de la grama china en el ambiente frío a través del tiempo. T1 (2L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T2 (2L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T3 (2L/ha glifosato), T4 (3L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T5 (3L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T6 (3L/ha glifosato), T7 (4L/ha glifosato+5kg/ha de úrea), T8 (4L/ha glifosato+3kg/ha de sulfato de amonio), T9 (4L/ha glifosato).

Fuente: Figura de elaboración propia

Por otro lado si bien las condiciones frías y húmedas favorecen la penetración del glifosato a través de las hojas, los adyuvantes también pueden potenciar su acción al actuar como surfactantes rompiendo la tensión superficial de la solución herbicida y aumentando la superficie de contacto entre el herbicida y el follaje de la maleza ofreciendo un equilibrio único de propiedades lipofílicas e hidrofílicas, y pueden servir como solventes para herbicidas en la superficie de la hoja (Hess y Foy, 2000); esta acción surfactante aumenta la tasa de absorción y traslocación (Leaper y Holloway, 2000), y es por ello también que

muchos de los adyuvantes suelen ser de naturaleza (Schrübbbers et al, 2016; Sharma y Singh, 2000)

Tanto la úrea como el sulfato de amonio han demostrado ser fuertes potenciadores de la acción del glifosato en el control de diversos tipos de maleza lo cual permitiría usar el herbicida a dosis más bajas con la misma eficacia. En el caso de la úrea se ha visto su potencial para disminuir costos, residuos del herbicida en productos finales y una menor exposición entre el glifosato y sus manipuladores, aunque también se ha observado que el efecto destaca o puede ser disminuido dependiendo de la temporada en que se aplique (Li et al, 2012; Ayala et al, 2015). En el caso del sulfato de amonio se ha visto que puede prevenir la formación de partículas en la mezcla del tanque, disminuir la tensión superficial y aumentar la propagación de herbicidas y la penetración en la hoja (Tu et al, 2003; Nalewaja y Matysiak, 2000), el agregado de pequeñas cantidades de sulfato de amonio mejora la fitotoxicidad del glifosato (Donald 1988, Ivany 1988), uno de los posibles mecanismos por el que el sulfato de amonio es tan buen adyuvante es la enzima EPSP sintetasa, sobre la que actúa el glifosato, es activada por iones amonio, los que hacen más sensible al glifosato (Fischer et al, 1987)

4.6. Impacto Económico de los tratamientos

Al realizar una comparación de costos de cada tratamiento y viendo la eficacia a la 4 semana de cada uno de ellos podemos ver que los tratamientos con adyuvantes registraron en ambos ambientes calificaciones de control de “Excelente” sin importar la dosis de glifosato utilizada, esto nos sugiere que los adyuvantes permiten un grado de control mayor al 90% a dosis variables de glifosato, este dato es importante debido a que el glifosato es el que aporta los mayores costos en la aplicación tal como se aprecia en las tablas 5 y 6.

Puede apreciarse que existe una gran diferencia de costos entre los tratamientos a pesar que la eficacia es bastante similar entre ellos (con excepción a los controles sin adyuvante en donde su eficacia se ve afectada principalmente por la dosis de glifosato utilizada), habiendo una diferencia de casi el doble de costo entre las dosis más bajas y las más altas. Por ello la aplicación de adyuvantes podría reducir la aplicación de glifosato a 2L/ha pues se aprecia que la eficacia a esta dosis es la misma que a dosis superiores (3 y 4 L/ha respectivamente).

Tabla 5. Costo por hectárea según tratamiento

Dosis de glifosato (L/ha)	Úrea (kg/ha)	Sulfato de amonio (kg/ha)	Costo por hectárea	Eficacia Ambiente cálido	Eficacia Ambiente frío
2	5	---	S/.56.90	Excelente	Excelente
2	---	3	S/.53.27	Excelente	Excelente
2	---	---	S/.50.00	Suficiente	Suficiente
3	5	---	S/.81.90	Excelente	Muy Bueno
3	---	3	S/.78.27	Excelente	Excelente
3	---	---	S/.75.00	Regular	Excelente
4	5	---	S/.106.90	Excelente	Excelente
4	---	3	S/.103.27	Excelente	Excelente
4	---	---	S/.100.00	Muy Bueno	Excelente

Fuente: Cotizaciones realizadas a Thiago Agroinversiones y Bioagro Company en Agosto de 2020. Tabla de elaboración propia

Tabla 6. Costo de glifosato, úrea y sulfato de amonio según cotización

Herbicida/Adyuvante	Costo unitario	Presentación	Costo por kg o L
Glifosato	S/.25.00	Botella 1 Litro	S/.25.00
Úrea	S/.69.00	Saco de 50Kg	S/.1.38
Sulfato de amonio	S/.54.50	Saco de 50Kg	S/.1.09

Fuente: Cotizaciones realizadas a Thiago Agroinversiones y Bioagro Company en Agosto de 2020. Tabla de elaboración propia

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones bajo la cual fue conducido el experimento se tiene las siguientes conclusiones:

- Se probó que el uso de los aditivos úrea y sulfato de amonio utilizados en conjunto con el herbicida glifosato que presentan mejor grado de control que el glifosato sin adyuvantes.
- Se determinó que el sulfato de amonio es el que maximiza los efectos del glifosato en todas las dosis para el control de grama china.
- Se determinó que la dosis 2 (2L/ha de glifosato) con sulfato de amonio (SA) es tan eficiente como la dosis 4 (4L/ha de glifosato) sin adyuvante (NA) por lo que esta dosis es la más adecuada por tener el mismo efecto con una menor concentración de glifosato.
- Se determinó que el uso de los adyuvantes aumenta el costo de control de malezas con respecto al uso del herbicida solo bajo las condiciones las cuales se evaluaron los tratamientos.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones obtenidas del presente experimento se tiene las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la utilización de adyuvantes con el glifosato, debido a eso previa comprobación en campo de los resultados.
- En vista a los resultados obtenidos en el presente trabajo se recomienda ampliar la investigación a otras especies de malezas como el *Cynodon dactylon* y *Cyperus* sp. para determinar el espectro de acción del glifosato con los adyuvantes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Acciaresi, H. A., & Guiamet, J. J. (2010). Below-and above-ground growth and biomass allocation in maize and *Sorghum halepense* in response to soil water competition. *Weed research*, 50(5), 481-492.
- Achon, M. A., Serrano, L., Clemente-Orta, G., & Sossai, S. (2017). First Report of Maize chlorotic mottle virus on a Perennial Host, *Sorghum halepense*, and Maize in Spain. *Plant Disease*, 101(2), 393-393.
- Alarcón-Reverte, R., García, A., Watson, S. B., Abdallah, I., Sabaté, S., Hernández, M. J., Dayan F. E. & Fischer, A. J. (2015). Concerted action of target-site mutations and high EPSPS activity in glyphosate-resistant junglerice (*Echinochloa colona*) from California. *Pest management science*, 71(7), 996-1007.
- Altuna, B; Bueno, G; Diaz de Villegas, ME; Bell, A; Gastón, C; Torres, E; Pérez, Y. (2010). Efecto de diferentes adyuvantes en la eficiencia del bioherbicida HERBIO sobre hojas de *Bidens pilosa* L. (Romerillo). *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 43(1): 35-39.
- Ambach, R. M.; R. Ashford. (1982). Effects of variations in drop makeup on the phytotoxicity of glyphosate. *Weed Science*. 30, 221–224.
- Andújar, D., Ribeiro, A., Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2013). Herbicide savings and economic benefits of several strategies to control *Sorghum halepense* in maize crops. *Crop protection*, 50, 17-23.
- Angiosperm Phylogeny Group. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105-121.
- Ayala, A., Jonathan, E., & Zelaya, C. (2015). Eficacia de cinco formulaciones de glifosato en el control de malezas. Tesis para obtener la licenciatura de Ingeniería agronómica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Bekeko, Z. (2013). Effect of úrea and common salt (NaCl) treated glyphosate on parthenium weed (*Parthenium hysterophorus* L.) at Western Hararghe zone, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 8(23), 3036-3041.

- Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 3.
- Bernards, M. L., Thelen, K. D., & Penner, D. (2005). Glyphosate efficacy is antagonized by manganese. *Weed technology*, 19(1), 27-34.
- Blair, AM. (1975). The addition of ammonium salts or a phosphate ester to herbicides to control *Agropyron repens* (L) Beauv. *Weed Research*. 15:101-105.
- Bondada, R. B., Petracek, D. P., Syvertsen, P. J., & Albrigo, L. G. (2006). Cuticular penetration characteristics of úrea in citrus leaves. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(2), 219-224.
- Brabham, C. B., Gerber, C. K., & Johnson, W. G. (2011). Fate of glyphosate-resistant giant ragweed (*Ambrosia trifida*) in the presence and absence of glyphosate. *Weed Science*, 59(4), 506-511.
- Bromilow, R. H., & Chamberlain, K. (2000). The herbicide glyphosate and related molecules: physicochemical and structural factors determining their mobility in phloem. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(4), 368-373.
- Brunharo, C. A., Patterson, E. L., Carrijo, D. R., de Melo, M. S., Nicolai, M., Gaines, T. A., Nissen S. J. en & Christoffoleti, P. J. (2016). Confirmation and mechanism of glyphosate resistance in tall windmill grass (*Chloris elata*) from Brazil. *Pest management science*, 72(9), 1758-1764.
- Burkart, A. (1969). Flora ilustrada de la provincia de Entre Ríos. Tomo 6. Parte II. Gramíneas. Colección Científica del INTA. Argentina. Pp 551.
- Burke, I. C., Wilcut, J. W., & Cranmer, J. (2006). Cross-resistance of a johnsongrass (*Sorghum halepense*) biotype to aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione herbicides. *Weed technology*, 20(3), 571-575.
- Busso, C. A., Bentivegna, D. J., & Fernández, O. A. (2013). A review on invasive plants in rangelands of Argentina. *Interciencia*, 38(2).
- Christoffoleti, P; López, R. 2009. Comportamiento de dos herbicidas aplicados a una sola altura en caña de azúcar. Piracicaba: BASF
- Coupland, D. (1983). Influence of light, temperature and humidity on the translocation and activity of glyphosate in *Elymus repens* (= *Agropyron repens*). *Weed Research*, 23(6), 347-355.

- Cranmer, J. R. and Linscott D. L. (1991). Effects of droplet composition on glyphosate absorption and translocation in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*, 39:251–254.
- Dalley, C. D., & Richard, E. P. (2008). Control of rhizome johnsongrass (*Sorghum halepense*) in sugarcane with trifloxysulfuron and asulam. *Weed Technology*, 22(3), 397-401.
- de Ruiter, H., Kempenaar, C., & Blom, M. (2004). Foliar absorption of crop protection agents: Influence of cpa properties, formulation and plant species: A literature study for the Dutch research programme pesticides and the environment (DWK-359) theme B-2 (No. 77). *Plant Research International*.
- Denis, M-H. and S. Delrot. (1993). Carrier-mediated uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate transporter. *Physiogy Plant*. 87:569–575
- Donald, WW. (1988). Established foxtail barley, *Hordeum jubatum*, control with glyphosate plus ammonium sulfate. *Weed Technology*, 2(3), 364-368.
- Duke, S. O. (2018). The history and current status of glyphosate. *Pest management science*, 74(5), 1027-1034.
- Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(4), 319-325.
- Dyer, W. E. (2018). Resistance to glyphosate. In *Herbicide resistance in plants*. Boa Ratón, Florida, USA. (pp. 229-242).
- Faccini, D., & Puricelli, E. (2010). Efecto de la dureza del agua y del sulfato de amonio sobre la eficacia de herbicidas de barbecho químico en *Carduus acanthoides* y *Conyza bonariensis*. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR*, (16), 013-016.
- Ferraro, D. O., & Ghersa, C. M. (2013). Fuzzy assessment of herbicide resistance risk: Glyphosate-resistant johnsongrass, *Sorghum halepense* (L.) Pers., in Argentina's croplands. *Crop protection*, 51, 32-39.
- Fischer, R. S., Rubin, J. L., Gaines, C. G., & Jensen, R. A. (1987). Glyphosate sensitivity of 5-enol-pyruvylshikimate-3-phosphate synthase from *Bacillus subtilis* depends upon state of activation induced by monovalent cations. *Archives of biochemistry and biophysics*, 256(1), 325-334.

- Follak, S., & Essl, F. (2013). Spread dynamics and agricultural impact of *Sorghum halepense*, an emerging invasive species in Central Europe. *Weed research*, 53(1), 53-60.
- Ganie, Z. A., Jugulam, M., & Jhala, A. J. (2017). Temperature influences efficacy, absorption, and translocation of 2, 4-D or glyphosate in glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) and giant ragweed (*Ambrosia trifida*). *Weed science*, 65(5), 588-602.
- García-Peralta, G., & Salas-Pino, P. (2013). Eficiencia de las dosis de diferentes formulaciones del herbicida atrazina+ simazina en el control de malezas en el cultivo de maíz. *Investigación Agraria*, 13(2), 81-86.
- Ge, X., d'Avignon, D. A., Ackerman, J. J., Duncan, B., Spaur, M. B., & Sammons, R. D. (2011). Glyphosate-resistant horseweed made sensitive to glyphosate: low-temperature suppression of glyphosate vacuolar sequestration revealed by ³¹P NMR. *Pest management science*, 67(10), 1215-1221.
- Ghanizadeh, H., Harrington, K. C., & James, T. K. (2015). Glyphosate-resistant population of *Lolium perenne* loses resistance at winter temperatures. *New Zealand journal of agricultural research*, 58(4), 423-431.
- Harker, K. N., & O'Sullivan, P. A. (1988). Ammonium sulphate enhances control of annual grass weeds in canola (*Brassica campestris*) with sethoxydim. *Canadian Journal of Plant Science*. 68(4), 1087-1093.
- Heap, I. (2011). The international survey of herbicide resistant weeds. Disponible en: <http://www.weedscience.com>. Consultado el 21 de Junio de 2019,
- Heap, I., & Duke, S. O. (2018). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest management science*, 74(5), 1040-1049.
- Herrmann, K. M., & Weaver, L. M. (1999). The shikimate pathway. *Annual review of plant biology*, 50(1), 473-503.
- Hess, F. D., & Foy, C. L. (2000). Interaction of surfactants with plant cuticles. *Weed Technology*, 14(4), 807-813.
- Hetherington, P. R., G. Marshall, R. C. Kirkwood, and J. M. Warner. (1998). Absorption and efflux of glyphosate by cell suspensions. *Journal of Experimental Botany*. 49:527–533.
- Ikley, J. T., Wise, K. A., & Johnson, W. G. (2015). Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum*), Johnsongrass (*Sorghum halepense*), and Large Crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) are

- Alternative Hosts for *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis*, causal agent of goss's wilt of corn. *Weed Science*, 63(4), 901-909.
- Ivany, J. A. (1988). Control of quackgrass with glyphosate and additives. *Canadian Journal of Plant Science*. 68(4), 1095-1101.
- Johnson, D. B., Norsworthy, J. K., & Scott, R. C. (2014). Herbicide programs for controlling glyphosate-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense*) in glufosinate-resistant soybean. *Weed technology*, 28(1), 10-18.
- Jordan, T. N. (1977). Effects of temperature and relative humidity on the toxicity of glyphosate to bermudagrass (*Cynodon dactylon*). *Weed Science*, 25(5), 448-451.
- Jorge, L. D. C., & Silva, D. D. C. (2009). SisCob: manual de utilização. Embrapa Instrumentação-Livro científico (ALICE), Licença Creative.
- Juárez, S. E. (2014). Efectos sinérgicos del sulfato de amonio y el Glifosato n- (Fosfometil) Glicina sobre el control de malezas en el cultivo de banano; Ayutla, San Marcos (1997-2012). Tesis para optar el Grado Académico de Licenciado, previo para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar. Coatepeque, Guatemala.
- Kogan Alterman, M., & Pérez Jones, A. (2003). Herbicidas: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. Pp. 333
- Koger, C. H., Shaner, D. L., Henry, W. B., Nadler-Hassar, T., Thomas, W. E., & Wilcut, J. W. (2005). Assessment of two nondestructive assays for detecting glyphosate resistance in horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed science*, 53(5), 559- 566.
- Kukorelli, G., Reisinger, P., & Pinke, G. (2013). ACCase inhibitor herbicides— selectivity, weed resistance and fitness cost: a review. *International journal of pest management*, 59(3), 165-173.
- Leaper, C., & Holloway, P. J. (2000). Adjuvants and glyphosate activity. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(4), 313-319.
- Leguizamón, ES. (2003). Biología poblacional del sorgo de Alepo: *Sorghum Alepenses* L. Pers.: Estrategias complementarias y efectos del sistema de manejo. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Agrarias. Rosario, Argentina.
- Leguizamón, ES. (2003). Sorgo de alepo: *Sorghum halepense* (L.) Persoon. Bases para su manejo y control en sistemas de producción. Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp: 3-5.

- Leguizamón, ES. (2006). *Sorghum halepense*. L. Pers (Sorgo de Alepo): base de conocimientos para su manejo en sistemas de producción (en línea). En: Manual Fitosanitario. Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (consultado el 15 de mayo de 2018). Disponible en: http://www.manualfitosanitario.com/InfoNews/Ficha_Sorgo_alepo.pdf
- Li, J., Smeda, R. J., Sellers, B. A., & Johnson, W. G. (2005). Influence of formulation and glyphosate salt on absorption and translocation in three annual weeds. *Weed science*, 53(2), 153-159.
- Li, P., He, S., Tang, T., Qian, K., Ni, H., & Cao, Y. (2012). Evaluation of the efficacy of glyphosate plus urea phosphate in the greenhouse and the field. *Pest management science*, 68(2), 170-177.
- Lima, N. S., Souza, É. M., Torres, N. H., Bergamasco, R., Marques, M. N., Garcia-Segura, S; Sánchez O. & Cavalcanti, E. B. (2019). Relevance of adjuvants and additives of pesticide commercial formulation on the removal performance of glyphosate by electrochemically driven processes. *Journal of cleaner production*, 212, 837-846.
- Mesnage, R., Benbrook, C., & Antoniou, M. N. (2019). Insight into the confusion over surfactant co-formulants in glyphosate-based herbicides. *Food and Chemical Toxicology*.
- Miller, T., Hanson, B., Peachey, E., Boydston, R., & Al-Khatib, K. (2013). Glyphosate stewardship: maintaining the effectiveness of a widely used herbicide, 8492, 1-13.
- Mitskas MB, Eleftherohorinos IG & Damalas CA (2003) Interference between corn and johnsongrass (*Sorghum halepense*) from seed or rhizome. *Weed Science* 51, 540–545.
- Monaghan, N. (1979). The biology of Johnson grass (*Sorghum halepense*). *Weed Research*, 19(4), 261-267.
- Morin, F., V. Vera, F. Nurit, M. Tissut, and G. Marigo. (1997). Glyphosate uptake in *Catharanthus roseus* cells: Role of a phosphate transporter. *Pestic. Pesticide Biochemistry and Physiology*. 58:13–22
- Nalewaja, J. D., & Matysiak, R. (2000). Spray deposits from nicosulfuron with salts that affect efficacy. *Weed Technology*, 14(4), 740-749.
- Nalewaja, J. D., Matysiak, R., & Freeman, T. P. (1992). Spray droplet residual of glyphosate in various carriers. *Weed Science*, 40(4), 576-589.

- Nandula, V. K., Reddy, K. N., Poston, D. H., Rimando, A. M., & Duke, S. O. (2008). Glyphosate tolerance mechanism in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) from Mississippi. *Weed Science*, 56(3), 344-349.
- Nguyen, T. H., Malone, J. M., Boutsalis, P., Shirley, N., & Preston, C. (2016). Temperature influences the level of glyphosate resistance in barnyardgrass (*Echinochloa colona*). *Pest management science*, 72(5), 1031-1039.
- Nouri, H., Talab, Z. A., & Tavassoli, A. (2012). Effect of weed allelopathic of sorghum (*Sorghum halepense*) on germination and seedling growth of wheat, Alvand cultivar. *Annals of Biological Research*, 3(3), 1283-1293.
- Perez-Jones, A., Park, K. W., Colquhoun, J., Mallory-Smith, C., & Shaner, D. (2005). Identification of glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in Oregon. *Weed Science*, 53(6), 775-779.
- Peters, K., Breitsameter, L., & Gerowitt, B. (2014). Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. *Agronomy for sustainable development*, 34(4), 707- 721.
- Pinto de Carvalho, S. J., Damin, V., Dias, A. C. R., Yamasaki, G. M., & Christoffoleti, P. J. (2009). Eficácia e pH de caldas de glifosato após a adição de fertilizantes nitrogenados e utilização de pulverizador pressurizado por CO₂. 44(6), 569-575.
- Powles, S. B. (2008). Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(4), 360-365.
- Powles, S. B., & Preston, C. (2006). Evolved glyphosate resistance in plants: biochemical and genetic basis of resistance. *Weed Technology*, 20(2), 282-289.
- Ramsdale, B. K., Messersmith, C. G., & Nalewaja, J. D. (2003). Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. *Weed Technology*, 17(3), 589-598.
- Rao, R. R. (1979). *Parthenium hysterophorus* Linn.(Asteraceae) from Gauhati, Assam-a new record for North-East India. *Journal of the Indian Botanical Society*, 58(1), 44-46.
- Riar, D. S., Norsworthy, J. K., Johnson, D. B., Scott, R. C., & Bagavathiannan, M. (2011). Glyphosate resistance in a johnsongrass (*Sorghum halepense*) biotype from Arkansas. *Weed Science*, 59(3), 299-304.
- Riaz, M., Jamil, M., & Mahmood, T. Z. (2015). Yield and yield components of maize as affected by various weed control methods under rain-fed conditions of Pakistan. *International Journal of Agriculture & Biology*. 9(1): 152-155.

- Rosales, E., & Sánchez, R. (2006). Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Folleto Técnico N°35.
- Rout ME, Callaway RM (2009) An invasive plant paradox. *Science* 324:724–725
- Rout ME, Callaway RM (2012) Interactions between exotic invasive plants and soil microbes in the rhizosphere suggest that ‘everything is not everywhere’. *Annals Botany*. 110: 213–222
- Rout, M. E., Chrzanowski, T. H., Smith, W. K., & Gough, L. (2013). Ecological impacts of the invasive grass *Sorghum halepense* on native tallgrass prairie. *Biological invasions*, 15(2), 327-339.
- Royneberg, T., Balke, N. E., & Lund-Hoie, K. (1992). Effects of adjuvants and temperature on glyphosate absorption by cultured cells of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). *Weed Research*, 32(5), 419-428.
- Salisbury, C. D., Chandler, J. M., & Merkle, M. G. (1991). Ammonium sulfate enhancement of glyphosate and SC-0224 control of johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed Technology*, 5(1), 18-21.
- Sammons, R. D., & Gaines, T. A. (2014). Glyphosate resistance: state of knowledge. *Pest management science*, 70(9), 1367-1377.
- Satchivi, N. M., Wax, L. M., Stoller, E. W., & Briskin, D. P. (2000). Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. *Weed Science*, 48(6), 675-679.
- Schrübbers, L. C., Valverde, B. E., Strobel, B. W., & Cedergreen, N. (2016). Glyphosate accumulation, translocation, and biological effects in *Coffea arabica* after single and multiple exposures. *European Journal of Agronomy*, 74, 133-143.
- Seefeldt, S. S., Jensen, J. E., & Fuerst, E. P. (1995). Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed technology*, 9(2), 218-227.
- Shaner, D. L. (2009). Role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. *Weed Science*, 57(1), 118-123.
- Sharma, S. D., & Singh, M. (2000). Optimizing foliar activity of glyphosate on *Bidens frondosa* and *Panicum maximum* with different adjuvant types. *Weed Research*, 40(6), 523-533.

- Skelton, J. J., Ma, R., & Riechers, D. E. (2016). Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) control under drought stress with 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid and glyphosate. *Weed Biology and Management*, 16(1), 34-41.
- Soltani, N., Nurse, R., Robinson, D., & Sikkema, P. (2011). Effect of ammonium sulfate and water hardness on glyphosate and glufosinate activity in corn. *Canadian journal of plant science*, 91(6), 1053-1059.
- Suwunnamek, U., & Parker, C. (1975). Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulphate and other additives. *Weed Research*, 15(1), 13- 19.
- Suwunnamek, U., & Parker, C. (1975). Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulphate and other additives. *Weed Research*, 15(1), 13- 19.
- TMR. Transparency Market Research. 2014. Glyphosate Market for Genetically Modified and Conventional Crops - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2013 – 2019. 81 pp
- Tohge, T., Watanabe, M., Hoefgen, R., & Fernie, A. R. (2013). Shikimate and phenylalanine biosynthesis in the green lineage. *Frontiers in plant science*, 4, 62.
- Travlos, I., Cheimona, N., & Bilalis, D. (2017). Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. *Agronomy*, 7(3), 60.
- Tu, M.; Hurd, C.; Randall, J.M. Adjuvants. In *Weed Control Methods Handbook the Nature Conservancy*; The Nature Conservancy (TNC): Davis, CA, USA, 1–24.
- Turner, D. J., & Loader, M. P. C. (1980). Effect of ammonium sulphate and other additives upon the phytotoxicity of glyphosate to *Agropyron repens* (L.) Beauv. *Weed Research*, 20(3), 139-146.
- Vila-Aiub, M. M., Gundel, P. E., Yu, Q., & Powles, S. B. (2013). Glyphosate resistance in *Sorghum halepense* and *Lolium rigidum* is reduced at suboptimal growing temperatures. *Pest management science*, 69(2), 228-232.
- Vila-Aiub, M. M., Vidal, R. A., Balbi, M. C., Gundel, P. E., Trucco, F., & Ghersa, C. M. (2008). Glyphosate-resistant weeds of South American cropping systems: an overview. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(4), 366-371.
- Villalba, A. (2009). Resistencia a herbicidas. Glifosato. *Ciencia, docencia y tecnología*, 20(39): 169-186.
- Webster, B. T., Curland, R. D., McNally, R. R., Ishimaru, C. A., & Malvick, D. (2019). Infection, survival, and growth of *Clavibacter nebraskensis* on crop, weed, and prairie plant species. *Plant Disease*.

- Williams CS & Hayes RM.(1984). Johnsongrass (*Sorghum halepense*) competition in soybeans (*Glycine max*). Weed Science 32, 498–501.
- Young, B. G., Knepp, A. W., Wax, L. M., & Hart, S. E. (2003). Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. Weed Science, 51(2), 151- 156.
- Zabalza, A., Orcaray, L., Fernández-Escalada, M., Zulet-González, A., & Royuela, M. (2017). The pattern of shikimate pathway and phenylpropanoids after inhibition by glyphosate or quinate feeding in pea roots. Pesticide biochemistry and physiology, 141, 96-102.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico para altura ambiente cálido

```
Data.frame': 180 obs. of 6 variables:
 $ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2 2
 2
 2 2 ...
 $ dosis    : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 .
 ..
 $ eval     : Factor w/ 4 levels "Cuarta","Primera",...: 2 2 2 2
 2
 2 2 2 2 2 ...
 $ eficacia : num 56.7 55 43.3 15 36.7 ...
 $ cobertura: num 16.01 7.6 19.3 12.98 8.99 ...
 $ altura   : num 19 24.6 22 17.6 38.7 ...
```

```
> facdca<-aov(altura~adyuvante*dosis*eval)
> shapiro.test(residuals(facdca))
```

Shapiro-wilk

Normality test data:

residuals(facdca

)

W = 0.94621, p-value = 2.597e-06

```
> leveneTest(altura~adyuvante*dosis*eval)
```

Levene's Test for Homogeneity of Variance
(center = 3n) Df F value Pr(>F)

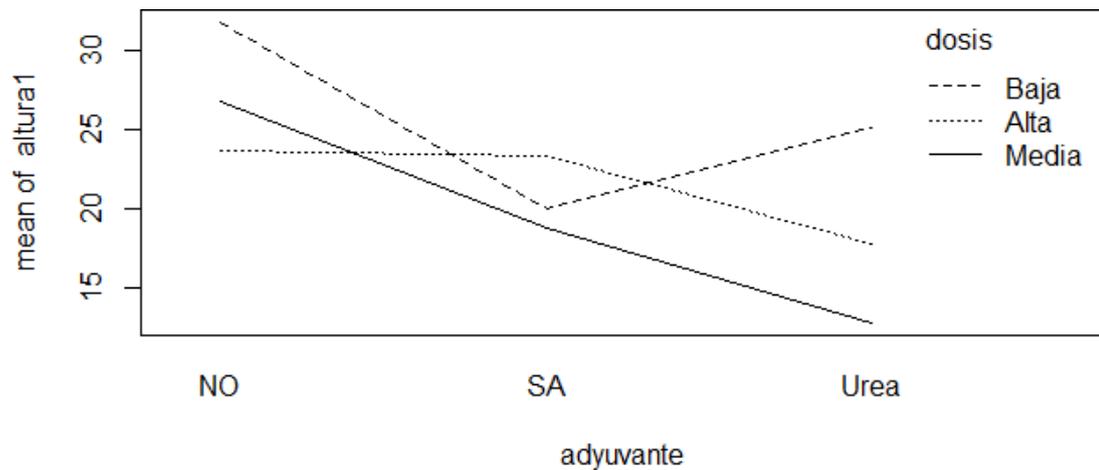
```
group 35 0.7933 0.7856
```

```
144
```

```
> summary(facdca)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
adyuvante	2	2584	1291.9	12.257	1.21e-05	***
dosis	2	1191	595.5	5.650	0.00434	**
eval	3	212	70.7	0.671	0.57126	
adyuvante:dosis	4	1266	316.4	3.002	0.02048	*
adyuvante:eval	6	109	18.2	0.173	0.98380	
dosis:eval	6	85	14.1	0.134	0.99176	
adyuvante:dosis:eval	12	195	16.2	0.154	0.99954	
Residuals	144	15178	105.4			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



```
> cv.mo
del(fac
dca)
[1]
46.1859
4
> mc<-SNK.test(facdca, c("adyuvante", "dosis","eval"))
> mc$statistics
  MSerror  Df
  Mean  CV
105.4008 144
22.2286 46.18594
```

```
> mc$groups
  altura groups
NA:2    31.83583    a
NA:3    26.83333   ab
Úrea:2  25.12917   ab
NA:4    23.66333   ab
SA:4    23.36250   ab
SA:2    19.97167   bc
SA:3    18.71667   bc
Úrea:4  17.77823   bc
Úrea:3  12.76667    c
```

```
mc<-SNK.test(facdca,
c("adyuvante")) mc$groups
  altura groups
a1
tura
groups NA    27.44417    a
SA  20.68361    b
Úrea 18.55802    b
```

```
mc<-SNK.test(facdca,
c("dosis")) mc$groups
  altura groups
2    25.64556    a
4    21.60135    b
3    19.43889    b
```

Altura de macollo semana 1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	174.0	87.02	1.076	0.3517
Adyuvante	2	468.5	234.27	2.897	0.0682 .
Dosis:Adyuvante	4	325.6	81.40	1.006	0.4170
Residuals	36	2911.7	80.88		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min Max Num CV 80.88 20.48 9.39 8.13 47.03
 45 43.91

Altura de macollo semana 2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	305	152.6	1.447	0.2486
Adyuvante	2	845	422.4	4.006	0.0269 *
Dosis:Adyuvante	4	317	79.3	0.752	0.5632
Residuals	36	3796	105.4		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min Max Num CV 105.44 22.74 10.94 8.40
 49.90 45 45.15

Altura de macollo semana 3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	378	189.2	1.970	0.1542
Adyuvante	2	731	365.6	3.806	0.0317 *
Dosis:Adyuvante	4	366	91.5	0.953	0.4451
Residuals	36	3459	96.1		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min Max Num CV 96.07 22.29 10.59 8.53 50.80 45 43.98

Altura de macollo semana 4

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	418	209.0	1.501	0.236
Adyuvante	2	648	324.2	2.329	0.112
Dosis:Adyuvante	4	452	112.9	0.811	0.526
Residuals	36	5012	139.2		

MSerror Mean SDev Min Max Num CV 139.21 23.41 12.18 9.87
 61.93 45 50.41

Anexo 2. Análisis estadístico para altura ambiente frío

```
'data.frame': 180 obs. of 6 variables:
 $ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2
 2 2 2 2 ...
 $ dosis    : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 2 ...
 $ eval     : Factor w/ 4 levels "Cuarta","Primera",...: 2 2 2 2
 2 2 2 2
 2 ...
 $ altura   : num 10.07 9.53 10.1 10.37 11.2 ...
 $ eficacia : num 20 20 20 10 25 ...
 $ cobertura: num 10.3 6.69 7.23 9.03 8.45 ...

> facdca<-aov(altura~adyuvante*dosis*eval)
> shapiro.test(residuals(facdca))
```

Shapiro-wilk Normality test

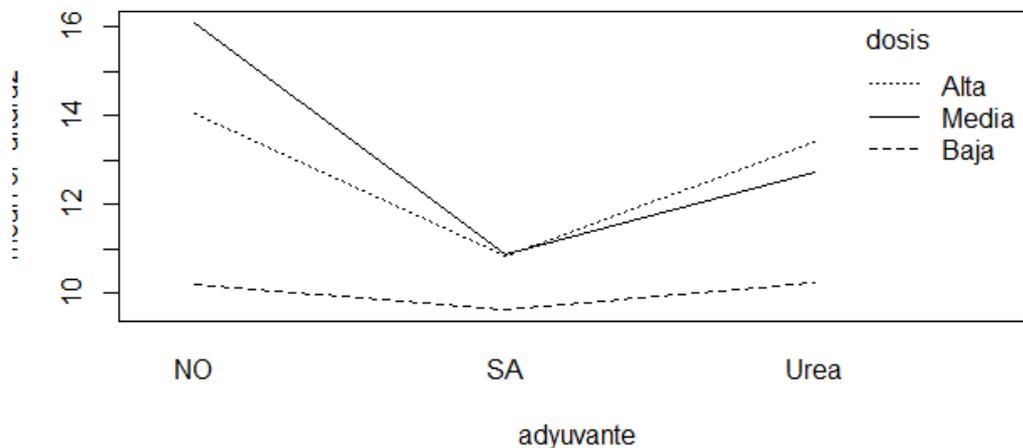
```
data: residuals(facdca)
W = 0.97352, p-value = 0.001671
```

```
> leveneTest(altura~adyuvante*dosis*eval)
Levene's Test for Homogeneity of Variance
      (center = 3n) Df F value Pr(>F)
group 35  0.6422 0.9366
      144
```

```
> summary(facdca)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
adyuvante	2	269.5	134.77	7.979	0.000517	***
dosis	2	362.0	181.02	10.717	4.58e-05	***
eval	3	3.2	1.07	0.064	0.978984	
adyuvante:dosis	4	127.1	31.79	1.882	0.116745	
adyuvante:eval	6	10.5	1.76	0.104	0.995847	
dosis:eval	6	13.9	2.32	0.138	0.991107	
adyuvante:dosis:eval	12	8.2	0.68	0.040	1.000000	
Residuals	144	2432.2	16.89			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



```
> cv.mo
del(fac
dca)
[1]
34.2204
5
```

```
> mc<-SNK.test(facdca, c("adyuvante", "dosis"))
> mc$statistics
  MSerror  Df
      Mean  CV
16.89056 144
12.00981 34.22045
```

```
> mc$groups
      altura groups
NA:3    16.09000    a
NA:4    14.05417   ab
Úrea:4   13.39000  abc

Úrea:3    12.74333  abc
SA:3     10.89000   bc
SA:4     10.85167   bc
Úrea:2    10.23333    c
NA:2     10.20333    c
SA:2      9.63250    c
```

```
mc<-SNK.test(facdca, c("adyuvante"))
mc$groups
```

```
      altura groups
NA    13.44917    a
Úrea  12.12222    a
SA    10.45806    b
```

```
mc<-SNK.test(facdca, c("dosis"))
mc$groups
```

```
      altura groups
3     13.24111    a
4     12.76528    a
2     10.02306    b
```

Altura de macollo semana 1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	62.9	31.451	2.331	0.112
Adyuvante	2	39.2	19.614	1.454	0.247
Dosis:Adyuvante	4	19.1	4.774	0.354	0.840
Residuals	36	485.7	13.492		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
MSerror      Mean SDev  Min
              Max
              Num              CV 13.49 11.79 3.71 5.20 19.83
45           31.15
```

Altura de macollo semana 2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	107.3	53.67	3.250	0.0504 .
Adyuvante	2	79.7	39.86	2.414	0.1038 .
Dosis:Adyuvante	4	37.3	9.32	0.564	0.6900
Residuals	36	594.5	16.51		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
MSerror      Mean SDev Min
              Max
              Num      CV
16.51 12.16 4.31 4.87 23.40 45 33.42

```

Altura de macollo semana 3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	106.7	53.35	3.355	0.0461 *
Adyuvante	2	68.1	34.07	2.142	0.1321
Dosis:Adyuvante	4	37.8	9.44	0.594	0.6694
Residuals	36	572.5	15.90		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
MSerror      Mean SDev Min
              Max
              Num      CV
15.90 12.05 4.22 4.80 21.25 45 33.10

```

Altura de macollo semana 4

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	99.1	49.53	2.287	0.116
Adyuvante	2	93.0	46.50	2.147	0.132
Dosis:Adyuvante	4	41.2	10.30	0.476	0.753
Residuals	36	779.6	21.66		

```

MSerror      Mean SDev Min  Max  Num  CV
21.66 12.04 4.80 5.27 24.05 45 38.66

```

Anexo 3. Análisis estadístico de peso seco ambiente cálido

```
'data.frame': 45 obs. of 5 variables:
'data.frame': 45 obs. of 4 variables:
 $ dosis      : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
 $ adyuvante  : Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2 2 2 2 2 .
..
 $ ps1       : num  11.29 8.57 9.84 21.63 7.58 ...
 $ ps2       : num  6.67 5 11.67 6.67 10 ...

> facps1<-aov(ps1~adyuvante*dosis+adyuvante*dosis)
> shapiro.test(residuals(facps1))

      shapiro-wilk

Normality test data:

      residuals(facps

1)
W = 0.97757, p-value = 0.5245

> leveneTest(ps1~adyuvante*dosis)
Levene's Test for Homogeneity of Variance
      (center = 3n) Df F value Pr(>F)
group  8  0.5043 0.8449
      36

> summary(facps1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
adyuvante     2   334.8   167.42   10.116 0.000326 ***
dosis         2    86.1    43.04    2.600 0.088141 .
adyuvante:dosis  4    76.6    19.15    1.157 0.345846
Residuals    36   595.8    16.55
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> cv.m
odel(f
acps1)
[1]
35.183
76

> mc<-SNK.test(facps1, c("adyuvante"))
> mc$statistics
      MSerror Df
      Mean
      C
      v 16.55009 36
      11.56267 35.18376

mc$groups
      ps1 groups
NA:2    18.509333    a
NA:3    15.515333   ab
NA:4    11.837333    b
Úrea:2   11.782667    b
Úrea:3   11.530333    b
SA:3     10.170667    b
SA:4     8.603333     b
Úrea:4    8.397667    b
SA:2     7.717333     b

> mc$groups
      ps1 groups
```

NA	15.287333	a
Úrea	10.570222	b
SA	8.830444	b

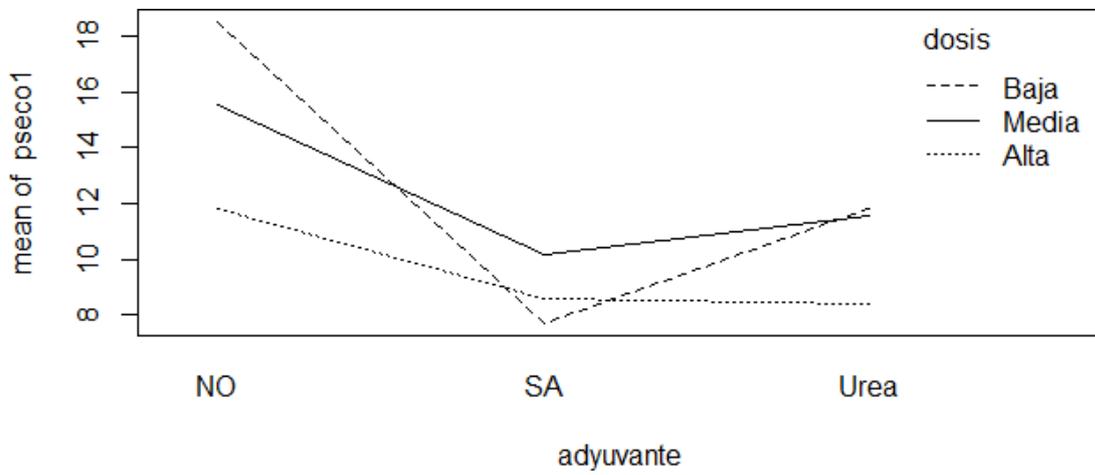
```
> mc<-SNK.test(facps1, c("dosis"))
```

```
> mc$statistics
```

	MSerror	Df	M
ean			C
V	16.55009	36	
	11.56267	35.18376	

```
> mc$groups
```

	ps1	groups
2	12.669778	a
3	12.405444	a
4	9.612778	a



Anexo 4. Análisis estadístico para peso seco ambiente frío

```
'data.frame': 45 obs. of 5 variables:
'data.frame': 45 obs. of 4 variables:
 $ dosis      : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
 $ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2 2 2 2 2
 .
 ..
 $ ps1       : num  11.29 8.57 9.84 21.63 7.58 ...
 $ ps2       : num   6.67 5 11.67 6.67 10 ...
```

```
> facps2<-aov(ps2~adyuvante*dosis+adyuvante*dosis)
> shapiro.test(residuals(facps2))
```

Shapiro-wilk

Normality test data:

residuals(facps

2)

W = 0.95697, p-value = 0.09356

```
> leveneTest(ps2~adyuvante*dosis)
```

Levene's Test for Homogeneity of Variance

(center = 3n) Df F value Pr(>F)

```
group 8 0.7955 0.6102
      36
```

```
> summary(facps2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
adyuvante	2	38.2	19.09	1.413	0.257
dosis	2	19.7	9.83	0.728	0.490
adyuvante:dosis	4	57.6	14.39	1.065	0.388
Residuals	36	486.4	13.51		

```
> cv.m
```

```
odel(f
```

```
acps2)
```

```
[1]
```

```
51.156
```

```
71
```

```
> mc<-SNK.test(facps2, c("adyuvante"))
```

```
> mc$statistics
```

MSerror Df

ean M

ean C

V 13.5108 36

7.185185

51.15671

```
>mc$groups
```

	ps2	groups
NA:2	8.833333	a
Úrea:3	8.333333	a
Úrea:2	8.000000	a
NA:3	7.666667	a
SA:4	7.666667	a
Úrea:4	7.500000	a
SA:2	7.000000	a
NA:4	6.666667	a
SA:3	3.000000	a

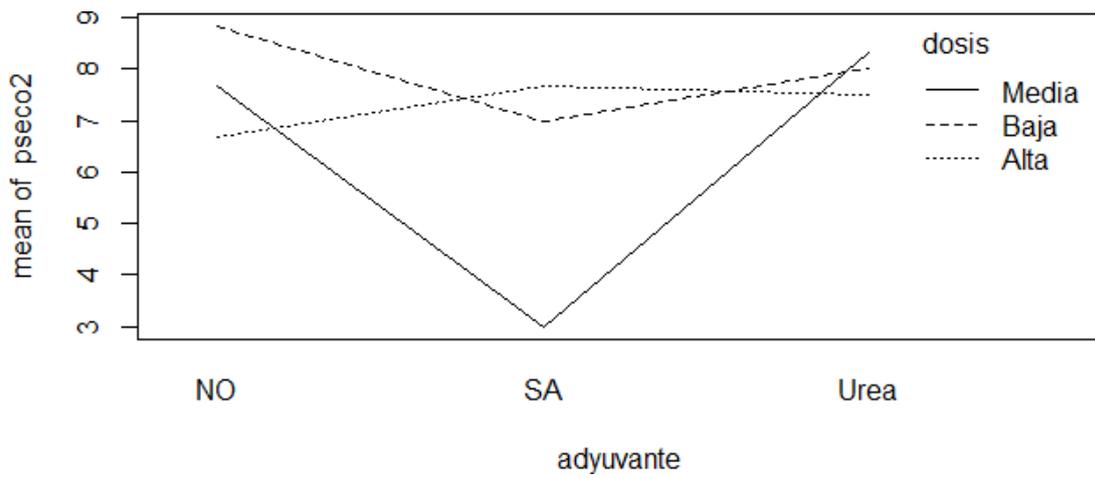
```

mc$groups
      p
s2
groups
Urea
7.944444      a
NA  7.722222      a
SA  5.888889      a

> mc<-SNK.test(facps2, c("dosis"))
> mc$statistics
MSerror Df
      M
      C
      V
13.5108 36
7.185185
51.15671

mc$groups
      ps2 groups
2  7.944444      a
4  7.277778      a
3  6.333333      a

```



Anexo 5. Análisis estadístico de porcentaje de materia seca ambiente cálido

```
'data.frame': 45 obs. of 5 variables:
 $ dosis      : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 .
 ..
 $ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2 2
 2
 2 2 ...
 $ psec0     : num  22.6 17.8 17.9 38.2 15.7 ...
 $ psec0     : num  11.29 8.57 9.84 21.63 7.58 ...
 $ msec0     : num   50 48 55.1 56.6 48.3 ...
```

```
> facdca2<-aov(msec0~adyuvante*dosis)
> shapiro.test(residuals(facdca2))
```

Shapiro-wilk

Normality test data:

residuals(facdca

2)

W = 0.97472, p-value = 0.424

```
> leveneTest(msec0~adyuvante*dosis)
```

Levene's Test for Homogeneity of Variance
(center = 3n) Df F value Pr(>F)

```
group 8 0.5413 0.8174
      36
```

```
> summary(facdca2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
adyuvante	2	603.3	301.67	23.572	2.86e-07 ***
dosis	2	317.8	158.88	12.414	7.93e-05 ***
adyuvante:dosis	4	254.5	63.62	4.971	0.0027 **
Residuals	36	460.7	12.80		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> cv.mod
```

```
el(facdca2)
```

```
[1]
```

```
7.684288
```

```
> mc<-SNK.test(facdca2, c("adyuvante","dosis"))
```

```
> mc$statistics
```

MSerror	Df	Mean	CV
12.79789	36	46.55491	7.684288

```
> mc$groups
```

msec0	groups
NA:3	53.08183 a
Úrea:2	51.59552 a
Úrea:3	51.39133 a
NA:4	50.40285 a
NA:2	47.27637 ab
SA:3	44.26821 bc
SA:2	42.04555 bc
Úrea:4	40.54556 c
SA:4	38.38696 c

```
mc<-SNK.test(facdca2, c("adyuvante"))
```

```

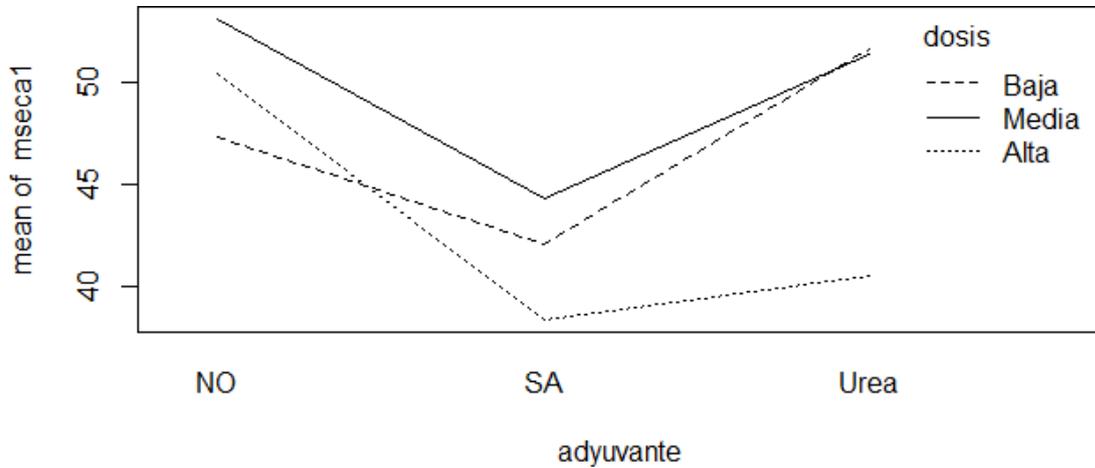
> mc$statistics
  MSerror Df
      an           Me
      CV
12.79789 36
46.55491 7.684288

> mc$groups
      m
seca
groups NA           50.25368   a
Urea 47.84414       a
SA   41.56691       b

> mc<-SNK.test(facdca2, c("dosis"))
> mc$statistics
  MSerror Df
      an           Me
      CV
12.79789 36
46.55491 7.684288

> mc$groups
      msec1 groups
3     49.58046   a
2     46.97248   a
4     43.11179   b

```



Anexo 6. Análisis estadístico para porcentaje de materia seca ambiente frío

```

> str(ambiente frío2)
'data.frame': 45 obs. of 5 variables:
 $ dosis      : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 .
 ..
 $ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2 2
 2
 2 2 ...
 $ pseco    : num  11.7 16.1 23.5 21.8 23.4 ...
 $ pseco    : num   6.67 5 11.67 6.67 10 ...
 $ mseca    : num  57.1 31.1 49.7 30.6 42.7 ...

> facmseca<-aov(mseca~adyuvante*dosis)
> shapiro.test(residuals(facmseca))

      shapiro-wilk

Normality test data:

      residuals(facmseca)

ca)
W = 0.981, p-value = 0.6603

> leveneTest(mseca~adyuvante*dosis)
Levene's Test for Homogeneity of Variance
      (center = 3n) Df F value Pr(>F)
group  8  0.9614 0.4807
      36

> summary(facmseca)
              Df Sum Sq Mean Sq F
value Pr(>F) adyuvante      2
              315.5    157.76
              2.910 0.0674 .
dosis      2  170.2    85.10   1.570 0.2220
adyuvante:dosis  4  373.1    93.29   1.721 0.1668
Residuals   36 1951.6    54.21
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> cv.mode
l(facmseca)
a) [1]
18.28209
> mc<-SNK.test(facmseca, c("adyuvante","dosis"))
> mc$statistics
      MSerror Df
      an
      54.21155 36
      40.27357 18.28209
      Me
      CV

> mc$groups
      mseca groups
NA:2      47.55800      a
Úrea:3    44.90426      ab
Úrea:2    42.22805      ab
NA:4      40.44838      ab
NA:3      40.36048      ab
SA:4      39.31622      ab
SA:2      39.28260      ab
Úrea:4    37.12273      ab
SA:3      31.24140      b

```

```
> mc<-SNK.test(facmseca, c("adyuvante"))
> mc$groups
```

```

      m
seca
groups NA          42.78895    a
Urea 41.41835      a

SA   36.61341    a

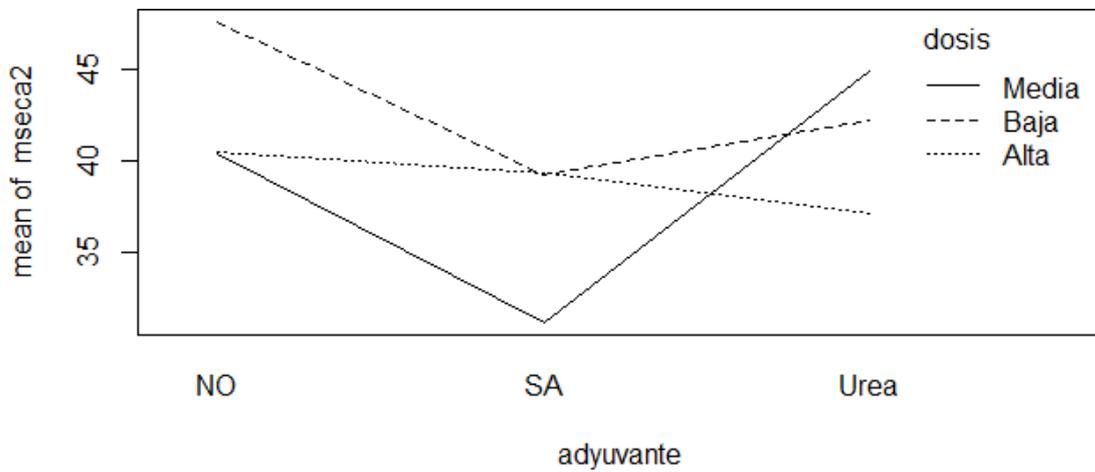
```

```
> mc<-SNK.test(facmseca, c("dosis"))
> mc$groups
```

```

      msecas groups
2     43.02288    a
4     38.96244    a
3     38.83538    a

```



Anexo 7. Análisis estadístico de cobertura ambiente cálido

Data.frame': 180 obs. of 6 variables:

```

$ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2 2
2
2 2 ...
$ dosis    : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
.
.
$ eval     : Factor w/ 4 levels "Cuarta","Primera",...: 2 2 2 2
2
2 2 2 2 2 ...
$ eficacia : num  56.7 55 43.3 15 36.7 ...
$ cobertura: num  16.01 7.6 19.3 12.98 8.99 ...
$ altura   : num  19 24.6 22 17.6 38.7 ...

```

```

> facdca<-aov(cobertura1~adyuvante*dosis*eval)
> shapiro.test(residuals(facdca))

```

Shapiro-wilk

Normality test data:

residuals(facdca

)

W = 0.92772, p-value = 8.354e-08

```

> leveneTest(cobertura1~adyuvante*dosis*eval)

```

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = 3n)

group	Df	F value	Pr(>F)
35	1.9359	0.003647	**
144			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

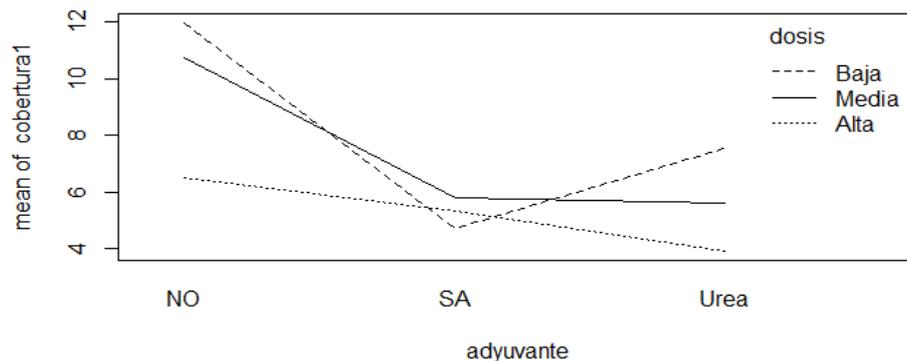
```

> summary(facdca)

```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
adyuvante	2	727.2	363.6	52.169	< 2e-16 ***
dosis	2	259.3	129.6	18.600	6.52e-08 ***
eval	3	2372.0	790.7	113.440	< 2e-16 ***
adyuvante:dosis	4	215.1	53.8	7.714	1.16e-05 ***
adyuvante:eval	6	361.5	60.3	8.645	4.90e-08 ***
dosis:eval	6	26.6	4.4	0.636	0.701
adyuvante:dosis:eval	12	52.4	4.4	0.626	0.817
Residuals	144	1003.7	7.0		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



```

> cv.mo
del(fac
dca)
[1]
38.2237
9
> mc<-SNK.test(facdca, c("adyuvante","dosis"))
> mc$statistics

      MSerror  Df      Mean   CV
6.96989 144
6.906837 38.22379
> mc$groups
cobertura1 groups
      NA:2
      11.962
      741      a
      NA:3
      10.759
      485      a
      Úrea:2
      7.549
      711      b
      NA:4
      6.495
      865      bc
      SA:3
      5.809
      043      bcd
      Úrea:3
      5.620
      551      bcd
      SA:4
      5.345
      532      bcd
      SA:2
      4.696
      211      cd
      Úrea:4
      3.922
      398      d
> mc<-SNK.test(facdca, c("adyuvante"))
> mc$groups
cobert
ura1 groups
NA
      9.73
9364      a
Úrea      5.697553      b
SA      5.283595      b
> mc<-SNK.test(facdca, c("dosis"))
> mc$groups
cobertura1 groups
2      8.069554      a
3      7.396359      a
4      5.254598      b

```

ANOVA Cobertura semana 1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	21.7	10.84	0.729	0.489
Adyuvante	2	28.1	14.07	0.946	0.398
Dosis:Adyuvante	4	57.8	14.46	0.972	0.435
Residuals	36	535.3	14.87		

MSerror	Mean	SDev	Min	Max	Num	CV
45	31.49					14.87 12.25 3.82 6.11 20.47

ANOVA Cobertura semana 2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	91.25	45.62	6.656	0.00347 **
Adyuvante	2	191.05	95.52	13.937	3.29e-05 ***
Dosis:Adyuvante	4	66.69	16.67	2.433	0.06511 .
Residuals	36	246.74	6.85		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Mean	SDev	Min	Max	Num	CV
6.85	8.19	3.68	3.38	18.7145	31.97	

ANOVA Cobertura semana 3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	110.1	55.04	16.848	6.85e-06 ***
Adyuvante	2	461.5	230.77	70.637	3.45e-13 ***
Dosis:Adyuvante	4	84.8	21.21	6.492	0.000486 ***
Residuals	36	117.6	3.27		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Mean	SDev	Min	Max	Num	CV
3.27	4.17	4.19	0.48	15.5645	43.36	

ANOVA Cobertura semana 4

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	62.9	31.45	10.880	0.000201 ***
Adyuvante	2	408.0	204.02	70.585	3.49e-13 ***
Dosis:Adyuvante	4	58.1	14.52	5.024	0.002539 **
Residuals	36	104.1	2.89		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

MSerror	Mean	SDev	Min	Max	Num	CV
45	56.21					2.89 3.02 3.79 0.17 14.85

Anexo 8. Análisis estadístico de cobertura ambiente frío

```
'data.frame': 180 obs. of 6 variables:
 $ adyuvante: Factor w/ 3 levels "NA","SA","Úrea": 3 3 3 3 3 2
 2
 2 2 2 ...
 $ dosis : Factor w/ 3 levels "4","2",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
 ...
 $ eval : Factor w/ 4 levels "Cuarta","Primera",...: 2 2 2 2
 2 2 2 2 2 ...
 $ altura : num 10.07 9.53 10.1 10.37 11.2 ...
 $ eficacia : num 20 20 20 10 25 ...
 $ cobertura: num 10.3 6.69 7.23 9.03 8.45 ...
```

```
facdca2<-aov(cobertura2~adyuvante*dosis*eval)
> shapiro.test(residuals(facdca2))
```

Shapiro-wilk

Normality test data:

residuals(facdca

2)

W = 0.93664, p-value = 4.083e-07

```
> leveneTest(cobertura2~adyuvante*dosis*eval)
```

Levene's Test for Homogeneity of Variance
(center = 3n) Df F value Pr(>F)

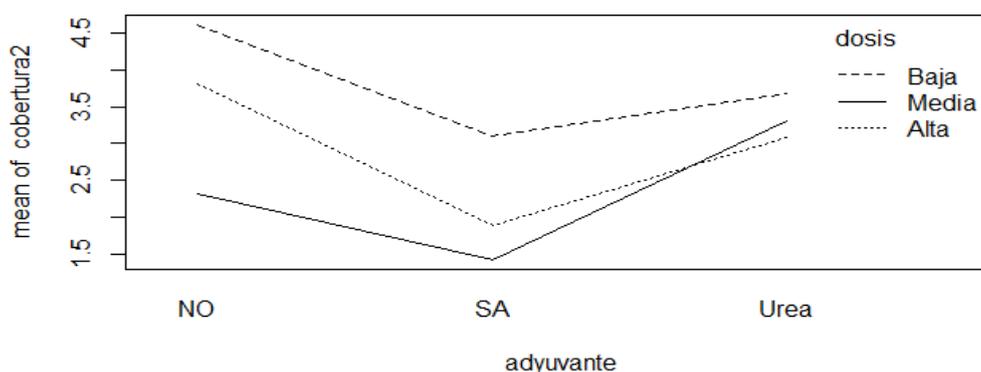
```
group 35 1.9601 0.003114 **
      144
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(facdca2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
adyuvante	2	72.0	36.0	18.348	7.98e-08	***
dosis	2	63.1	31.5	16.077	4.99e-07	***
eval	3	1014.2	338.1	172.297	< 2e-16	***
adyuvante:dosis	4	24.1	6.0	3.065	0.0185	*
adyuvante:eval	6	26.2	4.4	2.223	0.0442	*
dosis:eval	6	11.8	2.0	1.002	0.4265	
adyuvante:dosis:eval	12	20.4	1.7	0.868	0.5807	
Residuals	144	282.5	2.0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



```

> cv.mod
el(facdc
a2) [1]
46.23736
> mc<-SNK.test(facdca2, c("adyuvante","dosis"))
> mc$statistics
  MSerror  Df      Mean   CV
1.962089 144
3.029468 46.23736
> mc$groups
      cobertura2 groups
NA:2      4.605945     a
NA:4      3.816573    ab
Úrea:2    3.681561    ab
Úrea:3    3.313811    bc
SA:2      3.105256    bc
Úrea:4    3.092113    bc
NA:3      2.323055    cd
SA:4      1.893074     d
SA:3      1.433827     d

```

```

>mc<-SNK.test(facdca2, c("adyuvante"))
> mc$groups
      cobertura2 groups
NA      3.581858     a
Úrea    3.362495     a
SA      2.144052     b

```

```

> mc<-SNK.test(facdca2, c("dosis"))
> mc$groups
      cobertura2 groups
2      3.797587     a
4      2.933920     b
3      2.356897     c

```

ANOVA cobertura semana 1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
Dosis	2	34.40	17.199	3.664	0.03561	*
Adyuvante	2	50.29	25.147	5.357	0.00919	**
Dosis:Adyuvante	4	18.36	4.590	0.978	0.43171	
Residuals	36	168.98	4.694			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min
 Max
 Num CV 4.69 6.60 2.49 2.73 11.86
 45 32.81

ANOVA cobertura semana 2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	18.61	9.306	5.306	0.009559 **
Adyuvante	2	38.93	19.467	11.100	0.000176 ***
Dosis:Adyuvante	4	13.37	3.343	1.906	0.130579
Residuals	36	63.13	1.754		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min Max Num CV
 1.75 3.64 1.75 0.88 8.02 45 36.42

ANOVA cobertura semana 3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	19.99	9.997	8.669	0.000845 ***
Adyuvante	2	5.86	2.931	2.541	0.092828 .
Dosis:Adyuvante	4	9.86	2.466	2.138	0.096058 .
Residuals	36	41.52	1.153		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min
 Max
 Num CV
 1.15 1.52 1.32 0.06 5.42 45 70.74

ANOVA cobertura semana 4

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dosis	2	1.881	0.9405	3.801	0.03179 *
Adyuvante	2	3.075	1.5375	6.214	0.00481 **
Dosis:Adyuvante	4	2.894	0.7236	2.924	0.03421 *
Residuals	36	8.908	0.2474		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 MSerror Mean SDev Min
 Max
 Num CV
 0.25 0.36 0.62 0.01 3.04 45 137.74