

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**EFFECTO DE PRÁCTICAS DE RENOVACIÓN DE UNA PRADERA, SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PASTO BERMUDA [*Cynodon dactylon* (L.)
PERS.] EN EL VALLE DE MEXICALI, B. C., MÉXICO**

T E S I S

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTA

**JOSUÉ CASTILLO CASTRO
ARANTXA CERVANTES LÓPEZ**

DIRECTOR

DR. JESÚS SANTILLANO CÁZARES

MEXICALI BAJA CALIFORNIA

AGOSTO DE 2021

**EFFECTO DE PRÁCTICAS DE RENOVACIÓN DE UNA PRADERA, SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE PASTO BERMUDA [Cynodon dactylon (L.)
PERS.] EN EL VALLE DE MEXICALI, B. C., MÉXICO**

TESIS

Sometida a la consideración del programa de Ingeniero Agrónomo

Del

Instituto de Ciencias Agrícolas

Por

JOSUÉ CASTILLO CASTRO

ARANTXA CERVANTES LÓPEZ

MEXICALI BAJA CALIFORNIA

AGOSTO DE 2021

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR _____

DR. JESÚS SANTILLANO CÁZARES

SECRETARIA _____

DRA. MARISOL GALICIA JUÁREZ

ASESOR _____

DR. FIDEL NÚÑEZ RAMÍREZ

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente, queremos agradecer a Dios, ya que por iluminar nuestro camino en este proyecto tan importante para nosotros y por cuidarnos en nuestra trayectoria escolar.

Agradecemos infinitamente a nuestros padres que siempre estuvieron al pendiente de nuestro bienestar y de nuestra salud durante este proyecto, por escucharnos, guiarnos y darnos su amor incondicional.

A nuestros profesores, gracias por transmitir sus conocimientos hacia nosotros y por apoyarnos en todas nuestras dudas. Gracias por su enorme paciencia y por siempre tomarse el tiempo de atendernos antes que todo. ¡Gracias al profesor Santillano por su confianza, paciencia, empeño y cariño hacia nosotros, le tenemos un cariño muy especial, GRACIAS!

Gracias a nuestros amigos, que cuando la situación se tornaba complicada estaban ahí apoyándonos en campo y dándonos su apoyo moral

Gracias al instituto de ciencias agrícolas por habernos brindado sus instalaciones de manera incondicional, por confiar en nosotros y por la ayuda que recibimos por parte del personal.

Queremos hacer un agradecimiento mutuo, ya que entre ambos (Josué y Arantxa) estuvimos siempre al pendiente uno del otro, porque trabajamos muy duro y lo reconocemos, por que aprendimos que el trabajo de equipo funciona cuando hay comunicación y cuando hay esfuerzo.

DEDICATORIA:

Esta tesis va dedicada a todos aquellos que nos apoyaron y estuvieron presentes en el proceso de este proyecto, ya que cada ayuda y comentario era necesario, no pudo haber sido de otra manera, desde el más mínimo apoyo hasta la más grande ayuda, todo fue de gran importancia y cada acción fue un punto clave. Este trabajo va dedicado a ustedes.

ÍNDICE

CONTENIDO	Página
1. RESUMEN	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Adaptación y distribución del pasto Bermuda	4
2.2. Estructura general de los pastos	4
2.3. Fenología de la fase reproductiva de pastos C4	5
2.4. Efectos ambientales en la formación de semillas en pastos C4	6
2.5. Morfología del pasto Bermuda	8
2.6. Usos del pasto Bermuda	11
2.7. Establecimiento y manejo del pasto Bermuda	12
2.8. Producción de semilla de pasto Bermuda	12
2.8.1. Preparación del terreno	13
2.8.2. Fechas de siembra	13
2.8.3. Densidad de siembra	14
2.8.4. Variedades	14
2.8.5. Riegos	14
2.8.6. Fertilización	15
2.8.6.1. Relación fertilización nitrogenada-EUA	16
2.8.7. Control de plagas y enfermedades	17
2.8.8. Control de malezas	18

2.8.9.	Cosecha	18
2.9.	Manejo para obtener forraje de calidad para el ganado	19
2.10.	Prácticas de manejo para la renovación de stands de pasto	
	Bermuda	19
2.11.	La importancia del fósforo en los cultivos	25
2.11.1.	Factores que afectan la disponibilidad del fósforo	26
2.11.2.	Aplicación de fósforo a los cultivos forrajeros	27
2.11.3.	Métodos de aplicación de fósforo	27
3.	OBJETIVOS	31
3.1.	Objetivo general	31
3.2.	Objetivos específicos	31
4.	PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	32
4.1.	Hipótesis nula	32
4.2.	Hipótesis alterna	32
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
5.1.	Ubicación del estudio y condiciones ambientales	33
5.2.	Estructura de tratamientos	33
5.3.	Descripción de la aplicación de tratamientos	34
5.4.	Manejo agronómico general del experimento	35
5.5.	Variables de respuesta	36
5.6.	Análisis estadísticos	37
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
6.1.	Altura de la biomasa	39

6.2.	Producción de forraje	44
6.3.	Relación entre altura y producción de forraje	46
6.4.	Prolificidad de inflorescencias	48
6.5.	Producción de semilla	50
7.	CONCLUSIONES	53
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	Página
Cuadro 1. ANOVA de altura de la biomasa al día 30 de mayo de 2020..	39
Cuadro 2. ANOVA de altura de la biomasa al día 13 de noviembre de 2020..	41
Cuadro 3. ANOVA de la producción de forraje al día 13 de noviembre de 2020.	44
Cuadro 4. ANOVA de la prolificidad de inflorescencias al día 13 de noviembre de 2020.	48
Cuadro 5. ANOVA del rendimiento se semilla al día 9 de febrero de 2021..	50

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Página
Figura 1. Ilustración de una planta de pasto Bermuda.....	10
Figura 2. Diseño de experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.....	34
Figura 3. Interacción entre el método de aplicación de fósforo x aplicación de productos foliares comerciales para promover la nutrición de cultivos, sobre la altura de la biomasa al día 30 de mayo de 2020.....	40
Figura 4. Interacciones significativas entre tratamientos, sobre la altura de la biomasa al día 13 de noviembre de 2020.	43
Figura 5. Relación entre el rendimiento y la altura del forraje de pasto Bermuda.	47
Figura 6. Interacciones significativas entre tratamientos, sobre la prolificidad de inflorescencias, al día 13 de noviembre de 2020..	49

Figura 7. Interacción significativas método de aplicación de fósforo × aplicación de la mezcla de productos foliares, sobre el rendimiento de semilla, al día 9 de febrero de 2021. 52

1.RESUMEN

Las prácticas agrícolas para la producción de semilla y/o forraje es de vital importancia para crecimiento. El objetivo de este trabajo fue probar diversas practicas recomendadas para la renovación de praderas y su efecto en la productividad del pasto Bermuda; particularmente en la producción de semilla. El cultivo fue trabajado durante el ciclo de la primavera del 2019 utilizando la pradera de pasto Bermuda la cual lleva aproximadamente 20 años de establecimiento. Los tratamientos consistieron en subsolado o sin subsolado; aplicación de mejorador de suelo o sin mejorador; incorporación de fósforo o al voleo; y aplicación foliar de dos productos a base de hormonas y micronutrientes foliares. El experimento no tuvo repeticiones. Se midió la altura de la biomasa, producción de forraje verde, prolificidad de las inflorescencias y porcentajes de tallos y el rendimiento de semilla. Los resultados mostraron que las prácticas de renovación de praderas que más consistentemente mostraron un efecto sustancial positivo a través de todas las variables de respuesta en este trabajo fueron la aplicación de mejorador de suelos y el subsolado. Se concluye que la aplicación de mejorador de suelos y el subsolado podrían incrementar la producción de forraje y o semilla de pasto Bermuda, a través de la renovación de lotes que tienen signos de baja productividad.

1. INTRODUCCIÓN

El valle de Mexicali, Baja California, México tiene una alta vocación por la producción agrícola bajo esquemas de altos insumos y relativamente altos rendimientos. Cultivos como trigo (*Triticum eastivum*), alfalfa (*Medicago sativa*), sorgos forrajeros (*Sorghum spp.*), algodónero (*Gossypium hirsutum*), raigrás anual (*Lolium multiflorum*) se encuentran entre los principales cultivos del valle (INIFAP 2017). Hortalizas y otros cultivos de alto valor comercial, y frecuentemente exportados, se producen principalmente en el valle de San Quintín, al sur de Ensenada. Además de los cultivos principales en el valle de Mexicali, también se producen cultivos menos extensivos, en términos del área sembrada, pero de alto valor económico.

Existe un grupo de productores de semilla de pasto Bermuda [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] que se localizan el occidente de la ciudad de Mexicali, en la zona de transición entre la mancha urbana de la ciudad y la zona agrícola que pertenece a parte de los módulos de riego 19 y 20, del Distrito de Riego del valle que integra a San Luis Río Colorado, Sonora y el valle de Mexicali, Baja California. De acuerdo con productores líderes de semilla de Bermuda, compradores del valle Imperial, en California, E.U.A., han venido comprando la producción de los productores locales. Sin embargo, hasta este momento, no existe un paquete tecnológico o guía técnica para la producción de semilla de pasto Bermuda para este pequeño pero importante sector. Las prácticas agrícolas que los agricultores locales aplican son muy variables entre productores y se guían por experiencias propias y con lo que se llega a saber, de manera informal, de las prácticas de

producción que realizan los productores del valle Imperial o del valle de Yuma, Arizona. Estos valles agrícolas de Arizona y California, en E. U. A. son los principales productores de semilla de pasto Bermuda en el mundo y se localizan geográficamente muy cerca del valle de Mexicali, en México.

En la primavera del año 2019, la Ing. Agrónomo Alejandra Medina, asesora de este grupo de productores en diversos aspectos (créditos, diseño de proyectos, etc.), buscó la asesoría de profesores del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA), Universidad Autónoma de Baja California (UABC). La necesidad específica que los productores tenían era la elaboración de un paquete tecnológico, en virtud de que ese documento les era requerido por organismos financieros, para el otorgamiento de crédito para el financiamiento de la producción de su producto de exportación. Sin embargo, para poder elaborar un paquete tecnológico para la producción de cualquier cultivo se requiere dar seguimiento al cultivo a través de tantos ambientes de prueba como sea posible y de todos los aspectos involucrados en la producción, tales como preparación de suelo, métodos y densidades de siembra, fertilización, riegos, momentos de cosecha, entre otros y ese proceso requiere normalmente de varios años. Debido a esta limitación, fue inviable satisfacer la necesidad de los productores. Sin embargo, la relación entre los productores y los investigadores del ICA ha continuado en diversas formas, tales como reuniones (esporádicas) entre productores y académicos, y alguna consulta telefónica eventual,

Un aspecto que llamó la atención a los agrónomos del ICA-UABC en el acercamiento que se dio entre éstos y los productores de semilla de pasto Bermuda del valle de Mexicali fue que los agricultores fertilizaban su cultivo con fósforo granulado, usando como fuente el fosfato diamónico (18-46-00) aplicado al voleo; es decir, en la superficie del suelo al inicio de la primavera. Ya con el cultivo creciendo, antes de la cosecha de semilla, algunos agricultores aplicaban ácido fosfórico diluido en el agua de riego. Existen reportes en la literatura que sugieren que la incorporación de los fertilizantes fosforados podría producir mayores rendimientos que los fertilizantes colocados en la superficie del suelo al voleo.

Con la intención de comenzar a validar diferentes prácticas agrícolas relacionadas con la producción de semilla de pasto Bermuda, en 2019, en el marco de la 21 edición de la Convocatoria Interna para el desarrollo de proyectos de investigación, la UABC financió un proyecto cuyo uno de sus componentes incluyó el establecimiento de experimentos agronómicos para documentar el efecto de diferentes prácticas agrícolas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Adaptación y distribución del pasto Bermuda

De acuerdo con Taliaferro et al., (2004), las especies de *Cynodon* colectivamente están ampliamente distribuidas geográficamente. Se encuentran en mayor abundancia en ambientes tropicales y sub-templados, pero algunos se encuentran en latitudes al norte y sur que se acercan a los 50 °. Son particularmente abundantes y diversos en África que se extiende al sudeste asiático, lo que sugiere que esta región es el centro (s) de origen. Las especies de *Cynodon* de esta región han sido introducidas en muchas partes del mundo, probablemente durante muchos siglos, pero más en los últimos siglos, a medida que se incrementó el comercio mundial. Actualmente se encuentran en todo el mundo en climas propicios para su supervivencia.

2.2. Estructura general de los pastos

El tallo (fitómero) es la unidad básica de crecimiento en las gramíneas. Colectivamente, los tallos forman la base estructural para el desarrollo del cultivo de semilla, por eso el manejo del cultivo se debe dirigir a optimizar la producción del número de tallos vegetativos, sincronizando su desarrollo y maximizando el número de tallos fértiles (es decir, los tallos que producen inflorescencias). Los stands de pastos de tipo C4 establecidos tienen dos grupos principales de tallos. Los tallos basales se originan en la base de la planta (o de un rizoma o estolón) y

tienen su propio sistema de raíces, mientras que los tallos aéreos (tallos secundarios o hijuelos) surgen de los nudos superiores de los tallos florales y no tienen sistemas de raíces independientes. Una jerarquía compleja de tallos se acumula gradualmente. Los tallos aéreos 'primarios' surgen de los tallos basales florales (parentales) y producen inflorescencias más tarde que los tallos parentales y ligeramente por encima de las inflorescencias de los tallos parentales. A su vez, estos pueden producir más tarde tallos secundarios e incluso terciarios, los cuales también pueden florear, si continúa el crecimiento del cultivo (Loch et al., 2004).

2.3. Fenología de la fase reproductiva de pastos C4

La iniciación floral (IF) señala el inicio de la fase reproductiva. En este punto el ápice del brote cambia de vegetativo a reproductivo y sufre cambios anatómicos reconocibles, que varían según la especie. En el pasto señal (*Brachiaria* spp.), por ejemplo, el aumento inicial en la longitud del ápice fue mucho menor que el reportado para los cereales, y ésta etapa para definir la iniciación floral no se detectó fácilmente. Stür (1986), en cambio, describió la iniciación floral como la aparición del primer racimo inicial. El alargamiento de los entrenudos del tallo es un indicador visible externamente, aunque no del todo confiable para identificar la iniciación floral de tallos de pastos C4 (Loch et al., 2004). La sincronización de la iniciación floral en diferentes pastos C4 está bajo el control de uno o más de tres factores: juventud, fotoperiodo y temperatura. Un tallo o cultivo de césped juvenil no florecerá, independientemente de otros estímulos que induzcan la floración en

tallos más maduros. La juventud parece terminar cuando cada tallo ha acumulado suficientes fotosintatos y desarrollado un número mínimo de nudos. En este punto, la planta está madura para florecer y puede responder a las señales ambientales adecuadas en cada caso. La floración en muchas gramíneas C4 está bajo el control fotoperiódico, que se expresa convencionalmente en términos de longitud del día (Loch et al., 2004). La floración en pasto Bermuda solo se inicia, o se inicia más rápidamente, cuando se expone a fotoperíodos más largos que la duración crítica del día (Mes, 1958). La floración ocurre cuando las flores en la inflorescencia finalmente emergen y se visualizan claramente y el polen se dispersa durante la antesis. Siguiendo al inicio de la floración, los racimos, espiguillas, y las florecillas que componen cada inflorescencia se inician y diferencian progresivamente antes del alargamiento del pedúnculo que conduce a la formación de la inflorescencia (Loch et al., 2004).

2.4. Efectos ambientales en la formación de semillas en pastos C4

El momento de la floración determina en gran medida la fecha de cosecha, así como los factores de estrés que podrían afectar a la planta. En general, los cultivos de semillas de pasto son más vulnerables al estrés ambiental (sequía, frío, calor) durante la floración. En particular, los factores climáticos (especialmente la temperatura) juegan un papel importante en la determinación del porcentaje de florecillas que forman cariopsis (formación de semillas). Las especies y cultivares varían en su susceptibilidad a temperaturas extremas (olas de calor o heladas). En

general, las especies con temperaturas óptimas de crecimiento más altas son más susceptibles a los extremos más fríos y aquellas con requerimientos óptimos de temperaturas más bajas, tienden a verse afectadas por las altas temperaturas. Una helada severa es capaz de disecar el cultivo, deteniendo su desarrollo posterior. En el caso del pasto Rodas (*Chloris gayana* Kunth), las inflorescencias comienzan a secarse y las espiguillas se abren gradualmente durante los 3 a 4 días posteriores a una helada. Como resultado, los cariósides más grandes y maduras se desprenden, progresivamente reduciendo la calidad de la semilla cosechada (Fairey et al., 1997). Las temperaturas extremas durante la fase reproductiva también pueden reducir la formación de semillas, sin daño evidente al resto de la planta.

Sin embargo, la reducción de la formación de semillas puede ocurrir de varias formas diferentes. El éxito de la fertilización depende de la densidad y viabilidad del polen y de la receptividad de los estigmas. Además, las cariósides recién formadas pueden ser más susceptibles al calor, al frío, y la sequía que las cariósides más maduras. En orden creciente de severidad, los efectos de las bajas temperaturas incluyen periodos diurnos de floración más cortos e irregulares y un aumento en el tiempo antes de la aparición de la dehiscencia de las anteras (*Paspalum* spp.) (Bennett, 1959). En el otro extremo, las altas temperaturas del aire pueden reducir la fertilidad del polen (Humphreys & Riveros, 1986) e inhibir la antesis (*Paspalum* spp) (Burton, 1942) a través de la rápida desecación de las

partes florales después de los glumas abran y antes de que se emerjan las anteras.

La antesis y la formación de semillas pueden verse afectados por cambios en la humedad relativa (HR). La reducción de la cantidad de semillas se ha asociado con una baja humedad relativa durante la antesis en algunas gramíneas. En tales casos, la producción de semillas irrigadas en un ambiente seco no es una opción sería porque, incluso bajo riego en área de alta precipitación, la producción de semilla puede reducirse durante los años de sequía. En el otro extremo, la alta humedad no parece restringir la formación de semillas, pero puede fomentar el desarrollo de enfermedades en especies susceptibles (Loch et al., 2004).

2.5. Morfología del pasto Bermuda

Taliaferro et al. (2004) describieron a las plantas de *Cynodon dactylon*; indicando que tienen rizomas, que varían de delgados a robustos y carnosos (Figura 1). Las hojas son lineales-lanceoladas y los estolones van desde muy finos a gruesos. Se han descrito tres razas principales de la var. *dactylon*. La raza tropical tiene distribución en zonas tropicales. Estas plantas son de estatura baja (< 20 cm), produciendo un césped abierto. Están adaptadas a los suelos ácidos lixiviados comunes a los trópicos y a los períodos estacionales de lluvias abundantes y escasas que producen condiciones de anegamiento y sequía, respectivamente. Las razas templadas y tropicales son similares en apariencia,

difieren más claramente en las características de adaptación. La raza templada es mucho más resistente al invierno y se encuentra en climas fríos. Las plantas suelen formar un césped más denso y son menos tolerantes a los suelos anegados estacionalmente y a los suelos de pH bajo y baja fertilidad. También son más susceptibles a las enfermedades. Las plantas de la raza selúcida (llama así porque su centro de distribución es de Pakistán a Turquía) se caracterizan por ser notablemente toscas y robustas, típicamente glaucas (verde claro) y algo pubescente. Las plantas son muy resistentes al invierno, altas y generalmente muy productivas en suelos fértiles. Produce estolones y rizomas pesados y gruesos con entrenudos cortos. Un rasgo característico de esta raza son los rizomas que a menudo emergen para formar estolones, luego volver a penetrar en el suelo para reformar rizomas. Las tres razas a veces se traslapan en su distribución geográfica y se han exportado ampliamente a regiones del mundo más allá de su país de origen (Taliaferro et al., 2004a).



Figura 1. Ilustración de una planta de pasto Bermuda (centro; estolones rastreros con tallos florales 10-500 cm de altura, lámina de hoja plana o enrollada, 1-3 cm de ancho y usualmente 3-8 cm de largo; la inflorescencia imbricada en dos hileras un raquis angosto aplanado o triangular), región de collar (abajo a la izquierda: la lígula es membranosa de 0.2-0.5 mm de longitud), espiguilla (extremo superior derecho; ambas glumas separadas muestran una florecilla sencilla encerrada 2-2.5 mm de longitud), y una florecilla (arriba y al centro-derecha; lema y palea separados mostrando el cariósido. Tomado de (Taliaferro et al., 2004a)

2.6. Usos del pasto Bermuda

Existe información detallada al respecto del establecimiento, manejo y utilización del pasto Bermuda con propósito de su uso como forraje, para el establecimiento de campos deportivos, para estabilización de suelos, etc. (Taliaferro et al., 2004a).

El pasto Bermuda tiene múltiples usos. Como forraje para el ganado, el pasto Bermuda se encuentra entre los pastos perennes de climas cálidos más importantes que se utilizan para el pastoreo de ganado y la producción de heno. El pasto Bermuda se cultiva en un estimado de 10 a 12 millones de hectáreas en los E. U. A., para este propósito (Taliaferro et al., 2004a). Además, según reporta Shiflet & Darby (1985), el hábito de crecimiento, formado un entramado denso del pasto Bermuda, creciendo de manera saludable, proporciona una cobertura continua que es altamente resistente a las acciones del viento o el agua al mover físicamente el suelo subyacente; convirtiéndolo en una excelente opción para la conservación de suelos que de otro modo serían vulnerables a la erosión. Burns et al., (1990) y King et al., (1990) reportaron que la remoción de nutrientes por pastos Bermuda híbridos excedió la reportada para otras gramíneas, sugiriendo que los pastos Bermuda híbridos podrían usarse como un cultivo de corte y transporte para reducir los potenciales contaminantes de los suelos contaminados con contenidos excesivos de nutrientes. Además, el uso del pasto Bermuda para campos deportivos y jardines compite con su uso como forraje (Taliaferro et al., 2004b). El pasto Bermuda y d textura fina se cultiva en jardines y se utilizan como

césped deportivo en las regiones tropicales y templadas más cálidas del mundo. En tales regiones, el césped Bermuda es la base de la industria del césped (Trappe et al., 2011).

2.7. Establecimiento y manejo del pasto Bermuda

Existe información detallada al respecto del establecimiento, manejo y utilización del pasto Bermuda con propósito de su uso como forraje, para el establecimiento de campos deportivos, para estabilización de suelos, etc. (Taliaferro et al., 2004a). Sin embargo, el producto de interés en el que se concentra este capítulo es en la semilla de este pasto. (Loch et al., 2004) indican que la comprensión de la fisiología de la formación, el desarrollo y la germinación de las semillas proporciona una base sólida para que las prácticas de manejo produzcan altos rendimientos de semilla de pastos C4 de buena calidad y para establecer nuevos lotes a partir de semilla (los pastos C4 están adaptados a regiones cálidas, como el pasto Bermuda).

2.8. Producción de semilla de pasto Bermuda

El producto de interés en el que se concentra este apartado es en la semilla de pasto bermuda. Loch et al. (2004) indican que la comprensión de la fisiología de la formación, el desarrollo y la germinación de las semillas proporciona una base sólida para que las prácticas de manejo produzcan altos rendimientos de

semilla de pastos C4 de buena calidad y para establecer nuevos stands a partir de semilla (los pastos C4 están adaptados a regiones cálidas, como el pasto Bermuda).

Las prácticas agronómicas recomendadas para el establecimiento y producción de semilla de pasto Bermuda aquí presentadas fueron generadas por el Servicio de Extensión de la Universidad de California, para el valle Imperial, en California, E.U.A. (University of California, 2018). El valle Imperial de California es un valle agrícola contiguo al valle de Mexicali, en México. La producción de semilla de pasto Bermuda en el valle Imperial produjo más de 1,500 toneladas de este producto en aproximadamente 3600 ha, con un valor de la producción de más de 18 millones de dólares (Ortiz & Dessert, 2019).

2.8.1. Preparación del terreno

Una cama de siembra es requisito indispensable para obtener un buen stand. Lugares elevados en el campo pueden causar un riego disparejo, obteniendo resultados indeseables. Una nivelación del terreno con tecnología láser antes de sembrar asegurará un riego más uniforme y ayudará a prevenir encharcamientos. Si la nivelación con tecnología láser no es posible, usar una escrepa u otros equipos para la nivelación.

2.8.2. Fechas de siembra

A finales de agosto y septiembre es el tiempo recomendado para establecer nuevas plantaciones. Sin embargo, el pasto Bermuda germinará en cualquier momento durante el verano.

2.8.3. Densidad de siembra

Se recomiendan de 15-20 libras de semilla/acre (17 a 22 kg/ha). Mayores densidades de siembra se recomiendan en suelos salinos.

2.8.4. Variedades

La mayoría de la superficie de pasto Bermuda es plantado con la variedad "Común". Muchas otras variedades están disponibles tales como Sahara, Sonestar, Savannah, Jacjpot, Southern Star, and Sun Devil II.

2.8.5. Riegos

Riego con aspersores es usado por muchos productores durante el establecimiento. Otros productores prefieren el riego por inundación. Puede tomar de 3 a 5 riegos superficiales para el establecimiento. Durante la temporada, 14 a 16 riegos pueden ser necesarios para el cultivo. Tres riegos producirán una cosecha entre cortes; cuatro riegos aumentarán el rendimiento, pero afectarán la calidad.

2.8.6. Fertilización

La cantidad de fertilizante necesario depende del uso que se desea. Campos que producen forraje exclusivamente pueden recibir tanto como 560-670 kg de N/hectárea, en toda la temporada. Campos usados para la producción de semilla y forraje requerirán entre 450-500 kg N/hectárea. Urea, UAN32 y Amoniaco Anhidro (NH_3) son los tipos de fertilizantes nitrogenados comúnmente aplicados. Algunos productores agregan fósforo a su programa de fertilización si los análisis de suelo muestran niveles de fósforo soluble menores a 10 partes por millón (aproximadamente 20 kg/ha).

Por su parte Stichler y Bade (1996) recomiendan que el fertilizante previo a la siembra debe incorporarse según lo recomendado por un análisis de suelo. En ausencia de análisis de suelo, incorporar alrededor de 50 a 100 kg por hectárea de un producto como 18-46-0 (u otras fuentes de fertilizantes fosforados), antes de plantar en suelos que son generalmente de medio a alto en fósforo. En suelos bajos en fósforo, incorporar 100 a 200 kg de los mismos fertilizantes. Suelos que generalmente tiene un contenido medio a alto de potasio, no necesita fertilizantes adicionales para plantar (o sembrar a través de semilla). Durante la etapa de establecimiento, los pastos sólo necesitan pequeñas cantidades de nitrógeno. Sin embargo, una vez que el pasto está enraizado y comienza a crecer, la demanda de nitrógeno aumenta rápidamente para que la planta pueda producir proteínas para continuar su crecimiento.

2.8.6.1. Relación fertilización nitrogenada-EUA

Según Stichler y Bade (1996), en comparación con otras plantas, el pasto Bermuda híbrido es muy eficiente en el uso de agua (EUA). La eficiencia de uso de agua del pasto Bermuda híbrido se puede mejorar aún más agregando fertilizante. Dado que las plantas usan nitrógeno para construir aminoácidos y proteínas, la cantidad de células nuevas que una planta puede producir está directamente relacionada con la cantidad de nitrógeno que es capaz de absorber. Hasta un cierto punto, entre más agua y fertilizantes, mayor será el crecimiento del pasto Bermuda.

Aunque los resultados de varias investigaciones sobre el efecto de la interacción entre la fertilización nitrogenada y la cantidad de agua disponible sobre el rendimiento de biomasa de Bermuda variarán dependiendo de muchos factores, el resultado general será similar. A medida que aumenta la dosis de nitrógeno, el porcentaje de proteína cruda y el rendimiento aumentan drásticamente, mientras que la cantidad de agua utilizada para producir una tonelada de forraje se reduce. Con una baja dosis de nitrógeno, una lámina de riego de 45 cm es necesaria para producir una tonelada de materia seca. Con nitrógeno adecuado, solo se necesitan 10 cm de agua para producir una tonelada de materia seca. Una fertilización adecuada de nitrógeno es necesaria para utilizar plenamente la cantidad de agua recibida por un cultivo. Agua sin fertilidad no producirá tejido vegetal nuevo. Los pastos perennes de climas cálidos usan nitrógeno, fósforo y potasio en una proporción de aproximadamente 4-1-3. Para producir 1 tonelada de

forraje seco, el pasto Bermuda debe absorber aproximadamente 25 kg de nitrógeno por hectárea, 8 kg de fósforo y 20 kg de potasio. Si estos números se multiplican por el número de toneladas de forraje deseadas, el producto será aproximadamente igual a los kilos de nutrientes necesarios. Por ejemplo, para 4 toneladas de producción, se necesitarán unos 75 cm de agua durante la temporada de crecimiento, 100 kg de nitrógeno, 30 kg de fósforo y 85 kg de potasio. Dividir las aplicaciones de fertilizantes en toda la temporada de crecimiento mejora la eficiencia, lo que significa que un mayor porcentaje de los nutrientes, particularmente nitrógeno, es utilizado por las plantas (Stichler and Bade, 1996).

2.8.7. Control de plagas y enfermedades

El pasto Bermuda cultivado para semilla ocasionalmente presenta problemas de plagas. Gusanos trozadores, entre otras plagas, deben ser cuidadosamente monitoreadas, ya que pueden causar daños a las cosechas de semilla de primavera y otoño. Algunas de estas plagas pueden causar daños graves en el otoño a través de la contaminación de las inflorescencias con una sustancia semejante a la miel. Ciertas plagas (*Trigenotylus tenis*) puede causar debilidad, retrasar la floración y reducir los rendimientos (University of California, 2018).

La roya (*Puccinia cynodontis*) es común en campos con un crecimiento denso y es a veces lo suficientemente severo para ameritar un control con

funguicidas. Hay otras plagas ocasionales, como *Longidorus africanus* y *Meloidogone* spp., pero su control no es económicamente factible.

2.8.8. Control de malezas

La mayoría de los esfuerzos de control de malezas ocurren durante la fase de establecimiento. Algunos herbicidas están disponibles para malezas de hoja ancha, pero ninguno es efectivo para controlar selectivamente otros pastos durante esta fase. Riegos muertos (sin cultivo) reducirán las poblaciones de malezas. Una vez que el pasto Bermuda se ha establecido, las malezas rara vez son un problema, debido a la naturaleza competitiva de stands saludables (excepto en el tiempo de invierno, cuando la Bermuda está en dormancia). Algunas malezas de hoja ancha y avena silvestre (avena fatua) son un problema en el invierno (University of California, 2018).

2.8.9. Cosecha

La semilla de pasto Bermuda es cosechada una vez a finales de la primavera o principios del verano. El campo puede cosecharse otra vez para semilla como un cultivo de fines de otoño. Sin embargo, algunos campos pueden ser cosechados para forraje en el verano, dependiendo de los precios y la demanda.

La cosecha de primavera es cortada con una máquina rotativa, cosechada con una máquina cosechadora combinada una vez, y re-cribada para maximizar la producción. El suelo no se debe permitir que seque mucho durante la cosecha de primavera o será difícil que el stand restablezca su crecimiento si entra en

dormancia; condición causada por estrés por falta de agua (University of California, 2018).

2.9. Manejo para obtener forraje de calidad para el ganado

De acuerdo con Stichler y Bade (1996), si el pasto es pastoreado por el ganado o cosechado mecánicamente, la etapa o el nivel de madurez del tejido vegetal también determinará su calidad. Sin el tiempo de cosecha adecuado, un forraje de alta calidad se convertirá rápidamente en un forraje con baja calidad nutritiva y baja digestibilidad. La investigación realizada en Georgia sobre la cosecha de pasto Bermuda arrojó resultados interesantes. Aunque el rendimiento fue mayor para un corte individual a las 6 semanas, la cantidad de proteína producida por unidad de área fue casi la misma que la cantidad de proteína producida después de 3 semanas. En estas pruebas, cortar dos veces en intervalos de 3 semanas produciría el doble de proteína y casi el doble forraje por unidad de área que el corte a intervalos de 6 semanas.

2.10. Prácticas de manejo para la renovación de stands de pasto Bermuda

De acuerdo con Stichler y Bade (1996), la renovación es una práctica o una serie de prácticas de manejo para mejorar o restaurar el vigor de un campo. La renovación de los pastos implica casi renovar el campo. Puede implicar desde probar el suelo y fertilizar de acuerdo con los nutrientes necesarios, hasta destruir

el pasto y replantar (o resembrar). El nivel de renovación requerido depende del motivo de la disminución del vigor del stand y las metas de manejo y uso del productor. Aunque hay muchas razones para la disminución del vigor de una pradera (ya sea para producción de forraje o de semilla), los siguientes síntomas indicarían que se debe considerar algún tipo de renovación:

- Reducción de la producción de forraje.
- Stands ralos, con suelo desnudo y una disminución del número y vigor de los rizomas.
- Invasión de malezas de hoja ancha y otras especies de pastos.
- Superficies de suelo rugosas.
- Drenaje deficiente.
- Pobre infiltración o penetración de agua; compactación del suelo.
- Acumulación de nutrientes como fósforo en los tres centímetros superiores del suelo.

Varios de los campos de producción de semilla de pasto Bermuda el oriente del valle de Mexicali, ubicados en los módulos de riego 19 y 20 (comprende parcelas de la Colonia Progreso) sufren de problemas de salinidad (CONAGUA, 2011). La salinidad y o sodicidad de suelos es responsable de problemas físicos para la producción, al causar la dispersión de las partículas de arcilla son infiltración reducida, conductividad hidráulica reducida y formación de costras en la superficie (Pearson & Bauder, 2006). Aunado a problemas inherentes a las

restricciones de la salinidad del suelo para la producción vegetal, varios de estos campos de Bermuda tienen varios años en producción intensiva de semilla y forraje y requieren de prácticas de manejo para la revitalización de la producción.

Hanselka y Livingston (2001) indican que algunas prácticas agronómicas pueden ser empleadas para la renovación de praderas y tierras de pastizales en Texas incluyen el control químico y mecánico de malezas, un manejo adecuado del pastoreo y el empleo de prácticas de renovación del suelo y la vegetación. Señalan que entre menos compacto y estructurado sea un suelo, mayor oportunidad tienen las raíces de crecer para explorar suelo para tomar agua y nutrientes. El sobrepastoreo o corte de forraje a baja altura (dejando poco forraje residual en el suelo) justo antes de que el pasto entre en periodo de dormancia, debilita el sistema radicular de las plantas y puede acortar la vida del stand. Entre las técnicas de renovación de praderas se menciona la labranza del suelo para romper la superficie de suelos compactados. El suelo compactado con maquinaria agrícola puede ser roto con labranza justo por debajo de la zona compactada.

Además de limitaciones por disturbios en las características físicas de los suelos compactados, disturbios químicos y biológicos también podrían afectar a estos suelos. De acuerdo con Waddington (1992), cuando los suelos se compactan, los cambios físicos son los más aparentes; sin embargo, las propiedades químicas y biológicas también influirán en los cambios creados por la condición física. Cuando los suelos se compactan, la densidad aparente, la conductividad térmica, la resistencia mecánica a la penetración de raíces, los niveles de CO₂, y los

niveles de retención de agua aumentan; mientras que la cantidad de poros llenos de aire, la infiltración, la percolación y la difusión de oxígeno bajan. Entre los efectos de la compactación en stands de pasto Bermuda, se ha incluido una reducción en el crecimiento aéreo y de las raíces, en el uso de nitrógeno, en la densidad del follaje, verdor, porcentaje de cobertura del suelo y calidad.

Stichler y Bade (1996) recomiendan las siguientes prácticas para la renovación de stands de pasto Bermuda. Algunas de éstas prácticas coinciden con las recomendadas para la producción de semilla, recomendadas por la Universidad de California (University of California, 2018):

- Renovación mínima; Análisis de suelo, fertilización, control de malezas, y quemadas prescritas.
- Renovación extrema: Subsolado o arado con cinceles, pasos de rastra o arado, replantación (o resiembra a través de semillas), y fertilización pesada.

Los análisis de suelo y la fertilización deben ser las primeras prácticas en cualquier proyecto de renovación de pradera de Bermuda. Una alta producción de forrajes eliminará muchos nutrientes del suelo, no solo nitrógeno (N). La producción de heno remueve todos los nutrientes cuando se cosecha el forraje. Por cada 6 toneladas de heno cosechado, el suelo debe proporcionar aproximadamente 150 kg de N, 30 kg de fósforo (P), y 120 kg de potasio (K), más azufre, calcio, magnesio y todos los demás nutrientes necesarios para el

crecimiento de la planta. La remoción continua de heno minará las reservas de minerales del suelo, hasta que sea improductivo.

El nitrógeno, azufre, calcio y fósforo son los nutrientes primarios eliminados por la remoción de forrajes (por pastoreo o corte), pero el estiércol animal devuelve solo una parte de los minerales a la tierra. Tanto con fertilizante comercial como a través de aplicaciones de estiércol, nutrientes no móviles (como fósforo) tienden a acumularse en los 15 centímetros superiores del suelo. Dado que los nutrientes deben disolverse en agua para una mejor absorción, durante los períodos de sequía la absorción de la raíz es mínima desde la superficie del suelo (Stichler & Bade, 1996a).

El control de malezas será parte de cualquier programa de renovación. Las malezas compiten con el pasto Bermuda por agua, nutriente y luz solar. Las malezas presentes durante el establecimiento de la Bermuda dificultan el establecimiento del stand y pueden causar en plantaciones que toman años cubrir o nunca cubrir completamente. Stands de Bermuda ralos y débiles como resultado de la baja fertilidad, la sequía o la fuerte presión de la cosecha no pueden competir con las malas hierbas. Experimentos de campo han demostrado que de 1.5 a 3.5 kg de pasto Bermuda serán producidos por cada 0.5 kg de malezas controladas (Stichler & Bade, 1996a).

La quema prescrita durante el período inactivo antes del crecimiento en la primavera, eliminará el exceso de forraje muerto; calienta el suelo; destruye algunos insectos, malezas de invierno y otros pastos y promoverá un retoño más

rápido Las desventajas incluyen peligros de incendio, necesidad de un permiso de quema, deja al descubierto el suelo, susceptible a la erosión y elimina la protección de heladas tardías. El momento de la quema es fundamental; la quema debe hacerse después de que hayan surgido las malas hierbas, pero antes de que el pasto Bermuda rebrote. Esperar demasiado retrasa el rebrote de Bermuda y permite que las malezas crezcan más que el pasto. Un tiempo sugerido para quemar es aproximadamente 1 semana antes de la última fecha promedio de helada. En el Condado de Falls (Texas), la quema aumentó la producción de pasto en un 143 % y también disminuyó la competencia de las malas hierbas en un 96 %. El pasto tuvo un aumento del 4 % en proteína y un aumento del 2 % en el contenido de minerales (Ca, P, K, Mg) en comparación con las áreas no quemadas (Stichler & Bade, 1996a).

El subsolado con cincelado, el rastreo y el arado son operaciones que destruirán parcialmente el pasto, pero se utilizan para el manejo de stands de pasto Bermuda que requieran una renovación completa. El subsolado y el cincelado eliminarán las capas de compactación, aflojarán el suelo, aumentan el movimiento del aire y la penetración del agua, y disminuir la escorrentía de agua en beneficio del crecimiento de la raíz. Las labores de rastreo intensivo o el arado incorporarán materia orgánica y fertilizantes; destruye las malas hierbas; y permite la resiembra (o replantación de material vegetativo) de pasto Bermuda. Después de estas labores se recomienda la cosecha mecánica del forraje para suavizar la superficie del suelo, facilitando las labores de henificado. Cualquier trabajo de

renovación del suelo debe hacerse a principios de la primavera, justo antes del reverdecimiento y lluvias o riegos primaverales. Durante períodos de sequía, las renovaciones del suelo deben ser retrasadas hasta que haya suficiente humedad del suelo para evitar la muerte de los rizomas del pasto Bermuda. Se debe considerar la replantación (o resiembra) cuando haya un número inadecuado de rizomas vivos para rejuvenecer el stand (Stichler & Bade, 1996a).

Otros reportes sobre prácticas agronómicas para la revitalización de praderas que han declinado su productividad a través del tiempo incluyen a Vera et al. (1998); quienes indicaron que algunas de las prácticas empleadas en praderas en sabanas tropicales de Sudamérica incluyen entre las más generalizadas el uso de fertilización fosforada, labranza mecánica con uno o dos pasos de rastra, una combinación de estas dos prácticas. Prácticas menos comunes incluyen las quemas o la introducción de leguminosas.

2.11. La importancia del fósforo en los cultivos

El fósforo es uno de los tres principales macronutrientes que las plantas requieren y es catalogado como esencial. Usualmente las mayores concentraciones de fósforo en las plantas se encuentran en la semilla (Rodríguez-Suppo, 1996). La funcionalidad dentro de la planta estriba en la participación de procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la transferencia de energía además de la formación y utilización de carbohidratos. Las plantas

absorben el fósforo de la suelo en forma activa utilizando energía. Debido a lo anterior, la solubilidad del fósforo en el suelo y los factores que influyen en el crecimiento de la raíz, determinan en gran medida la cantidad de este elemento tomado por la planta.

2.11.1. Factores que afectan la disponibilidad del fósforo

Por lo mencionado, dentro de los principales factores que afectan la disolución del fósforo en el suelo, se encuentra la concentración del mismo en el suelo, la reacción del suelo (pH), la temperatura y el contenido de agua en el suelo entre otros. Por su parte, los factores que condicionan el crecimiento de la raíz de la planta están la temperatura del suelo, el tipo de raíz del cultivo (pivotante o ramificada), el patrón de humedad (bulbo de mojado o anegación), la saturación de fertilizante contigua a la raíz del cultivo, entre otros (Rojas, 2002).

Las formas químicas de fósforo absorbible por las plantas dependen del grado de acidez o alcalinidad de los suelos (García Galvis & Ballesteros, n.d.). El rango de pH óptimo para la disponibilidad máxima del fósforo es de 6.0-7.0. Bajo estas condiciones el fósforo se encuentra disponible como ortofosfato primario (H_2PO_4^-). Por otro lado, una segunda forma de fosforo disponible es el ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}), el cual se encuentra en suelo con pH mayor de 8.0. De tal manera que las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos en el suelo, al influir en el pH del mismo, condicionan la disponibilidad del fósforo y afectan la absorción por parte de la planta.

2.11.2. Aplicación de fósforo a los cultivos forrajeros

La capacidad de respuesta de los cultivos forrajeros al fósforo, depende de los factores ya mencionados. Sin embargo, resulta clave la identificación de parámetros químicos y físicos del suelo, y su interpretación para realizar recomendación de fertilización mineral o aplicación de enmiendas mejoradores de suelo. En suelos de reacción alcalina, se utiliza la metodología de Olsen, para identificar el nivel de respuesta de los cultivos, mientras que en suelos de reacción ácida, se utiliza el método de Bray (1 y 2) o de Melich (Adesanwo et al., 2013).

2.11.3. Métodos de aplicación de fósforo

Las aplicaciones de fósforo en forma de fertilizante al suelo, es una medida agronómica que influye la nutrición fosfórica de los cultivos (Aydin & Uzun, 2005). En cultivos forrajeros, principalmente gramíneas, el patrón de crecimiento radicular es ramificado. Cuando los cultivos son sembrados en líneas sobre camas de siembra, la recomendación es aplicar fertilizante fosforado a un costado de la línea de plantación y enterrado a unos 5.0 cm de profundidad. Por otra parte, cuando los cultivos son sembrados sobre superficies planas sin considerar líneas de siembra, la recomendación es realizar aplicaciones de fertilizantes distribuidos en la misma forma que la semilla de siembra. Usualmente, suelen ser aplicaciones al “voleo”, aunque el grado de eficiencia de toma del fertilizante en estos cultivos suele ser baja.

Otra forma de aplicar fertilizantes fosforados a las plantas es en forma líquida, disuelta en el agua de riego. La manera de fertilizante utilizada es líquida y es en forma de ácido fosfórico [(H₃ PO₄) (AF)]. El AF, regularmente viene a una concentración del 85%. A temperatura promedio de 20 °C, es un líquido viscoso con densidad de 1.68 g/cm³, de color verde oscuro, pegajoso y no es corrosivo al tacto. Se disuelve fácilmente en el agua de riego y en estudios sobre simulación de la distribución de fósforo en suelos arenosos, ha demostrado buena movilidad (Zamudio-González et al., 2011). Por lo anterior, la forma de aplicación de fósforo al suelo resulta como uno de los principales manejos agronómicos que condicionan la nutrición fosfórica en cultivos forrajeros gramíneos (Akhtar et al., 2016).

Nkebiwe et al. (2016), indicaron que las técnicas comunes para la colocación de fertilizantes en el suelo incluyen: Colocación indirecta por pre-tratamiento de semillas con fertilizantes antes de la siembra; en el hoyo o surco de la semilla durante la siembra, en la superficie del suelo como una banda con o sin incorporación; por debajo de la superficie como: banda poco profunda o profunda, en una zanja poco profunda o profunda cortada en el suelo (con cuchilla de corte, como colocación de puntos profundos (colocación de "nidos) o inyección puntual. Las bandas de fertilizante también se pueden colocar sobre o debajo de la superficie del suelo, en o al lado (s) de la hilera de cultivo. Estas técnicas se pueden aplicar a fertilizantes inorgánicos y orgánicos, así como a formulaciones de fertilizantes sólidos, líquidos y gaseosos, requiriendo este último equipo

especial para minimizar pérdidas en forma de gas. La colocación eficaz de fertilizantes requiere un buen momento, de acuerdo a la demanda para el cultivo y condiciones ambientales con bajo riesgo de pérdida de nutrientes. La colocación de fertilizantes divididos en etapas clave de crecimiento con alta demanda de nutrientes mejora la absorción de nutrientes y el rendimiento del cultivo; sin embargo, puede implicar mayores costos de mano de obra y energéticos.

Además, (Nkebiwe et al., 2016) indican que la colocación en superficie sin incorporación no es aconsejable debido a que los fertilizantes colocados en la superficie son más propensos a la erosión eólica e hídrica que fertilizantes incorporados o colocados bajo la superficie. A diferencia de la distribución superficial homogénea, con o sin incorporación, las bandas reducen la superficie de área de contacto con el suelo y los microorganismos del suelo, reduciendo así la inmovilización de aniones de fosfato (PO_4^{3-}) por inmovilización por fijación a varios cationes.

De la extensa revisión que realizaron (Nkebiwe et al., 2016) acerca de los métodos más efectivos de colocación de los fertilizantes sobre el rendimiento de cultivos, se concluyó que la colocación de fertilizantes bajo la superficie, cerca de semillas o raíces de plantas, ha demostrado que conduce a una mayor absorción de nutrientes, una mayor concentración de nutrientes en la biomasa aérea y un mayor rendimiento que la fertilización al voleo sin incorporar. La explicación que se sugiere se sustenta en los siguientes puntos: (1) persistencia de altos niveles de nutrientes disponibles para las plantas cerca de las raíces; (2) estimulación del

crecimiento de las raíces cerca y lejos de depósitos de fertilizantes a base de PO_4^{3-} (entre otros fertilizantes) o sus combinaciones para mejorar la explotación de los depósitos de nutrientes en el suelo (3) inducción de cambios favorables en la química y propiedades biológicas de la rizósfera y (4) reducción de la pérdida de nutrientes a el medio ambiente.

3.OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

El objetivo del presente trabajo fue el de probar diversas prácticas agronómicas recomendadas para la renovación de praderas y su efecto en la productividad del pasto Bermuda; particularmente en la producción de semilla.

3.2. Objetivos específicos

Identificar el efecto de los tratamientos de subsolado o sin subsolado; aplicación de mejorador de suelo o sin mejorador; incorporación de fósforo o al voleo; y aplicación foliar de dos productos a base de hormonas y micronutrientes foliares.

4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis nula

Los tratamientos de mejorador de suelos, subsolado, incorporación de fosforo, y la aplicación de nutrientes y hormonas foliares no son factores que influyen en la producción de semilla del pasto Bermuda.

4.2. Hipótesis alterna

Los tratamientos de mejorador de suelos, subsolado, incorporación de fosforo, y la aplicación de nutrientes y hormonas foliares son factores que influyen en la producción de semilla del pasto Bermuda.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del estudio y condiciones ambientales

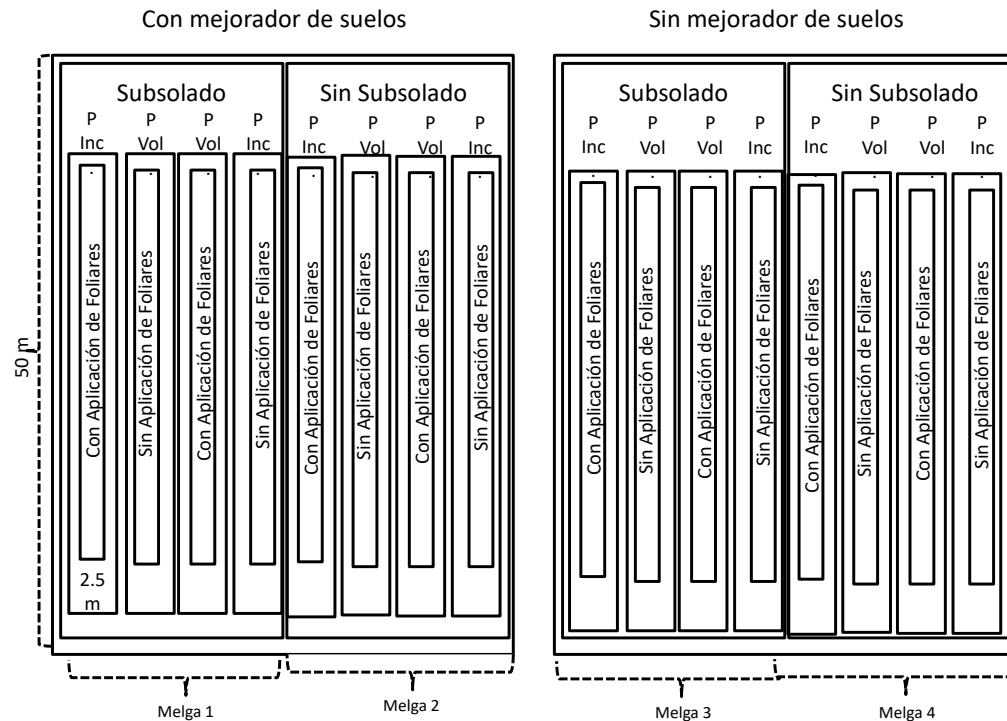
El experimento se llevó a cabo en una pradera de pasto Bermuda que tiene una antigüedad de aproximadamente 20 años. La pradera ha sido utilizada para el pastoreo directo por ganado bovino. La pradera se ubica en el Campo Agrícola Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicado en el Ejido Nuevo León (latitud 32° 24' 26.38" N, longitud 115° 11' 55.43" W, elevación 14 msnm). Las condiciones climáticas se caracterizan por ser muy áridas, típicas de ambientes desérticos (BW (e')) (García, 2004). La temperatura media anual es de 22.3 °C, pero puede variar desde 50 °C durante el verano, hasta -7 °C, durante el invierno. La precipitación anual promedio es de 58 mm. El suelo es clasificado como calcáreo endorreico.

5.2. Estructura de tratamientos

La estructura de tratamientos consistió de cuatro factores (diseño factorial = 16 tratamientos). Los tratamientos consistieron en subsolado o sin subsolado; aplicación de mejorador de suelo o sin mejorador; incorporación de fósforo o al voleo; y aplicación foliar de dos productos a base de hormonas y micronutrientes foliares. El experimento no tuvo repeticiones. El área experimental al comienzo del experimento lucía homogénea en términos de cobertura y tamaño de la

vegetación. El diseño del experimento se muestra en la Figura 1. No El tamaño de las parcelas fue de 2.5 m de ancho x 50 m.

Figura 2. Diseño de experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.



5.3. Descripción de la aplicación de tratamientos

A los tratamientos correspondientes, las labores de subsolado se realizaron el día 19 de marzo de 2020, a una profundidad aproximadamente 0.8 m, utilizando un implemento con cinceles de 1.0 m de longitud (Figura 1.). El 2 de abril, utilizando un implemento de labranza mínima, equipado con discos cortadores de

suelo, se realizó una aplicación de fósforo a los tratamientos indicados, usando fertilizante fosforado (11-52-00) a razón de 266 kg ha^{-1} , equivalente a 138 kg ha^{-1} de fósforo. La misma dosis fue aplicada al voleo, a mano, a los tratamientos al voleo. A los tratamientos que recibieron mejorador de suelos, el mismo día 2 de abril y posteriormente, el de mayo, se aplicó un mejorador de suelos marca REGENSOIL-WP®, disuelto en al agua de riego, a razón de 3 kg ha^{-1} , dosis recomendada por el fabricante del producto. El 27 de abril se realizó una aplicación por aspersión de Foliplus®, a razón de 1 l/ha y Amarre-One®, a razón de 100 ml/ha ; ambas dosis siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de estos productos.

5.4. Manejo agronómico general del experimento

Las labores relativas al manejo agronómico aplicadas a toda el área experimental fueron las siguientes: El 2 de abril se realizó la aplicación al voleo de urea (46-00-00), usando una dosis 300 kg ha^{-1} ; es decir, 140 kg ha^{-1} de nitrógeno (N). Inmediatamente después se aplicó el segundo riego de la temporada (el primero había ocurrido aproximadamente 15 días antes). El 27 de abril se realizó una segunda aplicación de urea, usando una dosis de 390 kg ha^{-1} ; equivalente a 180 kg ha^{-1} de N. Inmediatamente después se regó. En este riego se realizó también la aplicación de 250 litros de ácido fosfórico a toda el área experimental, representando aproximadamente 250 kg de fósforo ha^{-1} , en una superficie del área

experimental de 0.6 ha. Otros riegos se realizaron el 23 de mayo, 3 de julio, 7 de agosto, y el último, el 4 de septiembre.

5.5. Variables de respuesta

Las variables de respuesta medidas fueron; altura de la biomasa medida con plato medidor forraje; producción de forraje verde: relación entre altura del forraje y el rendimiento; prolificidad de las inflorescencias y porcentaje de tallos reproductivos; y rendimiento de semilla. El 30 de mayo y 13 de noviembre de 2020 se realizaron muestreos de la altura de la biomasa utilizando un plato medidor. Este plato mide la altura del forraje aplastado por un disco de metal ligero. Es decir, mide la altura del forraje tomando en cuenta la densidad de la biomasa que se encuentra por debajo del plato y el suelo; por lo que la altura del forraje es un indicador indirecto de la cantidad de biomasa de una pradera (Sanderson et al., 2001).

La producción de forraje verde se determinó de acuerdo con metodología propuesta por Sollenberger y Cherney (1995), la cual requiere cortar toda la biomasa contenida en una superficie conocida (en este caso se usó un aro de 0.1 m²), a una altura por encima del nivel del suelo de entre 2-3 cm y posteriormente fue pesado en una báscula de precisión. Este muestreo se llevó a cabo el día 13 de noviembre de 2020.

La prolificidad de inflorescencias fue estimada conforme a procedimiento utilizado por Wu et al. (2006), quienes realizaron una estimación visual, usando calificaciones de 1 a 9, con 1 indicando la inexistencia de inflorescencias y 9 indicando la presencia abundante de inflorescencias en la vegetación contenida en cuadrantes de 1 m². La prolificidad de inflorescencias se estimó el día 13 de noviembre de 2020. El 30 de noviembre de 2020 se realizó un muestreo para estimar el porcentaje de tallos reproductivos, lo cual se realizó mediante el corte, separación y conteo de tallos vegetativos y tallos reproductivos contenidos en un aro de 0.1 m².

El 9 de febrero de 2021 se realizó el muestreo para determinar el rendimiento de semilla, de acuerdo con procedimiento reportado por (Wu et al., 2006). Esto se realizó cortando todos los tallos reproductivos contenidos en aros de 0.1 m², se trillaron las espigas en una caja de madera recubierta con hule rugoso y friccionadas con un bloque rectangular de madera, recubierto con el mismo hule rugoso; el material resultante se limpió de impurezas utilizando un soplador marca South Dakota, y la semilla libre de cascarillas y basura se pesó en una báscula de una precisión capaz de detectar milésimas de gramo.

5.6. Análisis estadísticos

En sustitución de repeticiones de los tratamientos, excepto en el muestreo de rendimiento de semilla (donde se tomaron tres submuestras), se tomaron cinco

submuestras a lo largo de la parcela para el resto de las variables de respuesta. Los análisis estadísticos para las diferentes variables de respuesta se realizaron a través de análisis de varianza (ANOVA) y cuando los ANOVA's resultaron significativos, se corrieron comparaciones de medias de tratamientos, utilizando la prueba t de Student, a un nivel de probabilidad de 0.05. El software SAS®, versión 9 (SAS Institute Inc., 2002) fue utilizado para la realización de todos los análisis estadísticos.

6.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Altura de la biomasa

El análisis de varianza del muestreo del 30 de mayo de 2020 se muestra en el Cuadro 1. En el Cuadro 1 se puede distinguir que la altura del forraje sólo había sido afectada significativamente ($P = 0.05$) únicamente por la interacción entre los métodos de aplicación de fósforo y la aplicación de la mezcla de productos foliares para la nutrición de cultivos.

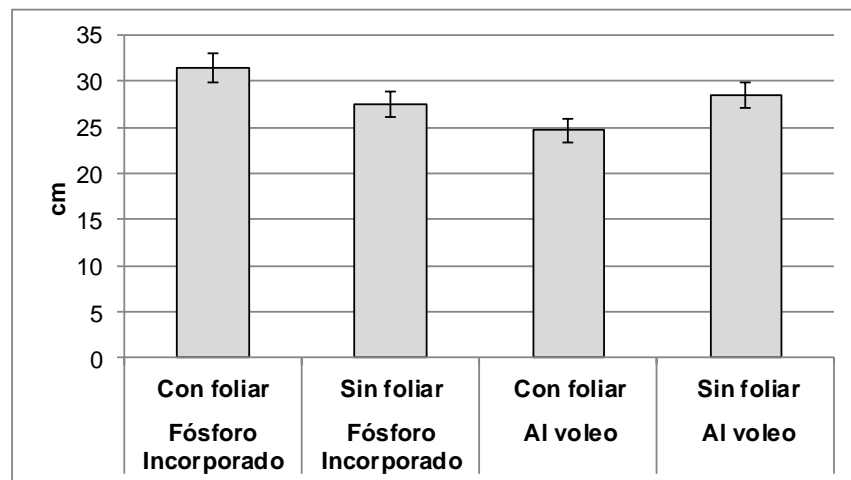
Cuadro 1. ANOVA de altura de la biomasa al día 30 de mayo de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado de la media	P
Submuestras	4	81.4	0.3956
Subsolado (S)	1	52.8	0.4155
Mejorador de suelo (MS)	1	66.6	0.3608
S*MS	1	177.0	0.1384
Método de aplicación de Fosforo (MP)	1	171.1	0.1451
S*MP	1	94.6	0.2768
MS*MP	1	5.5	0.7920
S*MS*MP	1	35.1	0.5064
Aplicación foliar de nutrientes (AF)	1	0.0	0.9900
S*AF	1	40.6	0.4750
MS*AF	1	0.0	0.9900
S*MS*AF	1	0.1	0.9699
MP*AF	1	292.6	0.0500
S*MP*AF	1	3.6	0.8310
MS*MP*AF	1	32.5	0.5225

En la Figura 3 se muestra la interacción método de aplicación de fósforo x aplicación de los productos foliares. Esta interacción se produjo debido a que la combinación de tratamientos de fósforo y la aplicación de productos foliares

resultó en un crecimiento superior de la biomasa, comparado con el resto de las combinaciones de estos tratamientos; los cuales resultaron estadísticamente similares.

Figura 3. Interacción entre el método de aplicación de fósforo x aplicación de productos foliares comerciales para promover la nutrición de cultivos, sobre la altura de la biomasa al día 30 de mayo de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.



Hasta ese momento, aproximadamente un mes después de la aplicación de los productos nutritivos foliares, manifestaron su efectividad; aunque solamente cuando el fósforo había sido incorporado.

El ANOVA del muestreo del 13 de noviembre se muestra en el Cuadro 2. En este Cuadro se observa que la interacción del subsolado x mejorador de suelo x método de aplicación de fósforo fue significativa ($P = 0.0399$). También se puede observar que la interacción del subsolado x mejorador de suelo resultó altamente

significativa ($P < 0.0001$). Al ser significativas estas interacciones de tercer y segundo orden, el efecto de los factores individuales subsolado o mejorador de suelo, se debe evitar su discusión y en su lugar, discutirse el efecto de la combinación entre éstos favores.

Cuadro 2. ANOVA de altura de la biomasa al día 13 de noviembre de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado de la media	<i>P</i>
Submuestras	4	54.8	0.5068
Subsoleo (S)	1	904.5	0.0004
Mejorador de suelo (MS)	1	904.5	0.0004
S*MS	1	1193.5	<.0001
Método de aplicación de Fosforo (MP)	1	0.6	0.9229
S*MP	1	221.1	0.0694
MS*MP	1	82.0	0.2648
S*MS*MP	1	285.0	0.0399
Aplicación foliar de nutrientes (AF)	1	6.6	0.7504
S*AF	1	9.1	0.7089
MS*AF	1	19.0	0.5899
S*MS*AF	1	3.6	0.8141
MP*AF	1	43.5	0.4156
S*MP*AF	1	19.0	0.5899
MS*MP*AF	1	3.6	0.8141

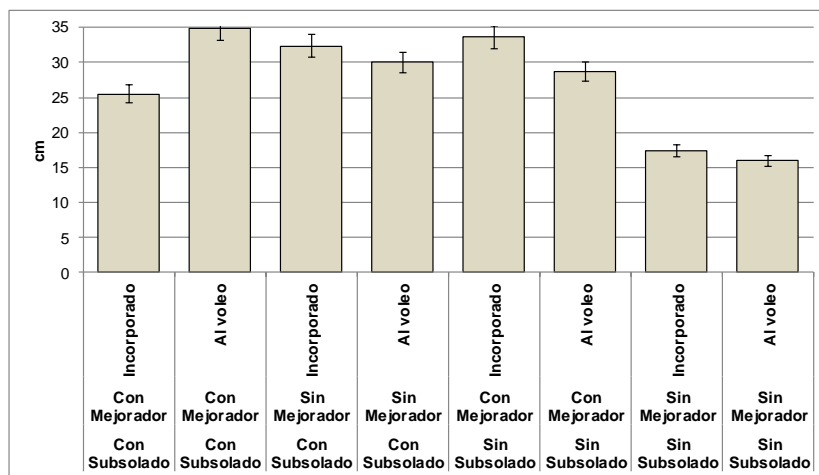
En las Figuras 4a y 4b se muestran las interacciones que resultaron significativas ($P < 0.050$) en el ANOVA de altura de forraje al día 13 de noviembre de 2020. En la Figura 4a se muestra la interacción subsolado x mejorador de suelo x método de aplicación de fósforo; mientras que en la Figura 4b se muestra la interacción subsolado x mejorador de suelo.

Si la pequeña diferencia entre el fertilizante aplicado al voleo e incorporado se ignora (últimas dos barras del gráfico de la Figura 4a); es posible simplificar la discusión al revisar los efectos combinados del subsolado y el mejorador de suelos (Figura 4b). A partir de la Figura 4b, es posible establecer que cualquiera de las combinaciones entre estos cuatro tratamientos, excepto el tratamiento sin subsolado ni aplicación de mejorador de suelo, resultaron exitosos en promover crecimiento vegetal.

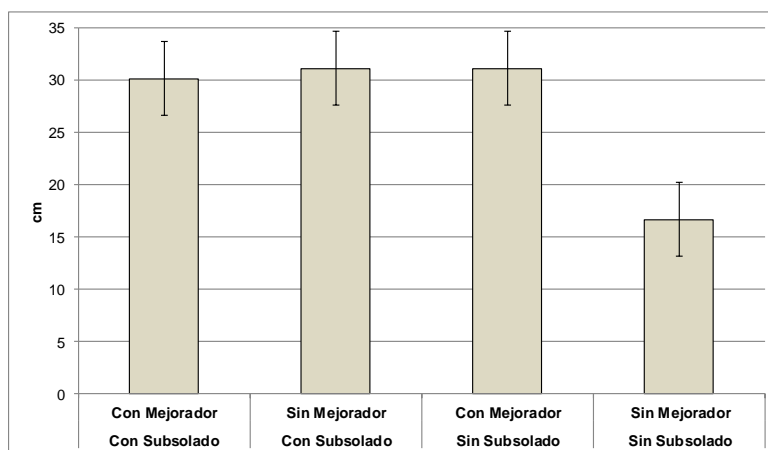
Estos resultados tienen sentido, una vez que se considera que los productores de semilla del valle de Mexicali (y los productores de otros cultivos también), manifiestan observar una mejoría en el desempeño del cultivo, después de la aplicación de ácido fosfórico a mediados de la temporada de crecimiento; el cual podría lograr acidificar temporalmente la condición de alto pH de los suelos calcáreos y consecuente limitación de la disponibilidad de cationes; específicamente del fósforo; efecto similar al atribuido a este mejorador de suelo.

Por otro lado, los productores de semilla del valle de Mexicali definitivamente no aplican subsolado a praderas de producción de semilla que requieren rejuvenecerse y no se sabe que se empleen mejoradores de suelo tampoco. Dados los presentes resultados, una recomendación de este trabajo, que además se sustenta en la literatura, es realizar el subsolado y aplicación de mejoradores del suelo a stands que muestren signos de pérdida de vigor (Stichler & Bade, 1996b).

Figura 4. Interacciones significativas entre tratamientos, sobre la altura de la biomasa al día 13 de noviembre de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.



a



b

6.2. Producción de forraje

El ANOVA para la producción de forraje acumulado al día 13 de noviembre de 2020 se muestra en el Cuadro 3. A partir de este Cuadro se establece que la interacción significativa de método de aplicación de fósforo × aplicación foliar de nutrientes resultó significativa ($P = 0.0152$). También se registró una tendencia ($P = 0.0955$) para la interacción subsolado × método de aplicación de fósforo. El factor individual de la aplicación de mejorador de suelo y el subsolado resultaron altamente significativas ($P < 0.0001$ y $P = 0.0003$, respectivamente).

Cuadro 3. ANOVA de la producción de forraje al día 13 de noviembre de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado de la media	<i>P</i>
Submuestras	4	103.2	0.0144
Subsolado (S)	1	499.5	0.0003
Mejorador de suelo (MS)	1	2229.2	<.0001
S*MS	1	31.1	0.3491
Método de aplicación de Fosforo (MP)	1	46.4	0.2539
S*MP	1	100.1	0.0955
MS*MP	1	25.0	0.4013
S*MS*MP	1	0.5	0.9056
Aplicación foliar de nutrientes (AF)	1	5.4	0.6969
S*AF	1	44.3	0.2649
MS*AF	1	17.6	0.4810
S*MS*AF	1	19.7	0.4557
MP*AF	1	217.5	0.0152
S*MP*AF	1	19.1	0.4625
MS*MP*AF	1	44.3	0.2649

No obstante, la significancia de las interacciones, al revisar las magnitudes de los cuadrados de la media en el ANOVA (Cuadro 3), se puede establecer que la variable de mejorador de suelos fue 10 veces mayor que la interacción método de aplicación de fósforo x aplicación foliar de nutrientes. Por lo tanto, para efectos de realizar recomendaciones prácticas y con el mayor potencial de impactar positivamente la producción, los resultados para el rendimiento de forraje se enfocan al análisis del efecto del mejorador de suelos.

Los tratamientos que incluyeron al mejorador de suelos produjeron un promedio de 22 toneladas de forraje verde por hectárea; comparado con una producción promedio de 11.4 toneladas de forraje verde por hectárea por los tratamientos que no tuvieron aplicaciones de mejorador de suelos. Esto representó un incremento de casi 100 %.

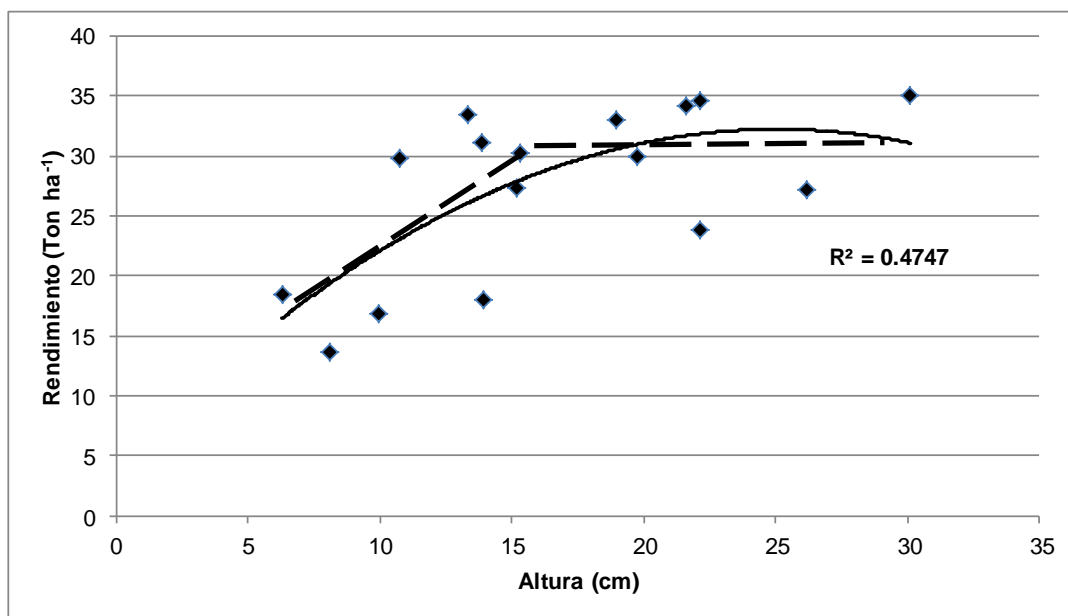
El subsolado también fue benéfico para la producción de forraje, al obtenerse 35% más forraje cuando se aplicó el subsolado, comparado con los tratamientos sin subsolado. Estos resultados coinciden con los reportados por Hanselka y Livingston (2001), quienes señalaron que el pasto Bermuda cuando se le aplicó subsolado, produjo aproximadamente dos toneladas más de forraje (en base a materia seca).

6.3. Relación entre altura y producción de forraje

La relación que se encontró entre el rendimiento y la altura del forraje se muestra en la Figura 5. La relación es de tipo polinomial de segundo orden. Aparentemente, la altura del forraje puede servir como predictor de la cantidad de forraje disponible en alturas que van desde los 5 hasta los 15 cm (línea recta discontinua ascendente); y de ahí hasta los 30 cm, la altura dejó de representar un predictor confiable del rendimiento de forraje de pasto Bermuda (línea recta discontinua paralela al eje de las x).

González et al. (1990) reportaron que el plato medidor de forraje funcionó adecuadamente para estimar los rendimientos de forraje de pasto Bermuda; aunque las alturas máximas medidas en ese trabajo fueron de 26 cm y rendimientos máximos de 7.8 ton ha^{-1} (en base seca); lo cual representa posiblemente una menor biomasa a medida en el presente trabajo.

Figura 5. Relación entre el rendimiento y la altura del forraje de pasto Bermuda. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.



6.4. Prolifidad de inflorescencias

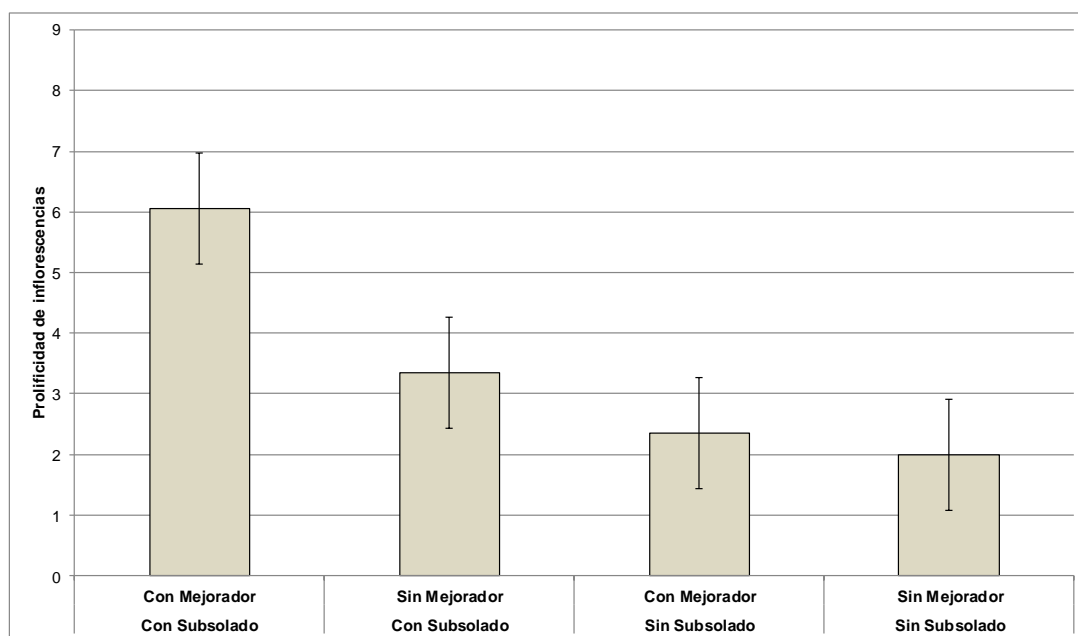
La prolificidad de inflorescencias fue afectada significativamente por la interacción subsolado × mejorador de suelo ($P = 0.0014$). Aunque los factores principales de mejorador de suelo y subsolado también resultaron altamente significativas. Debido a la significancia de su interacción se discute su efecto combinado.

Cuadro 4. ANOVA de la prolificidad de inflorescencias al día 13 de noviembre de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado de la media	<i>P</i>
Submuestras	4	1.1	0.9081
Subsolado (S)	1	127.5	<.0001
Mejorador de suelo (MS)	1	46.5	0.0014
S*MS	1	27.6	0.0123
Método de aplicación de Fosforo (MP)	1	0.1	0.8698
S*MP	1	0.3	0.7848
MS*MP	1	0.1	0.8698
S*MS*MP	1	6.6	0.2118
Aplicación foliar de nutrientes (AF)	1	4.5	0.3013
S*AF	1	2.1	0.4785
MS*AF	1	3.6	0.3547
S*MS*AF	1	1.5	0.5485
MP*AF	1	6.6	0.2118
S*MP*AF	1	3.6	0.3547
MS*MP*AF	1	0.3	0.7848

En la Figura 6 se muestra la interacción subsolado x mejorador de suelo. En esta figura se puede apreciar claramente que el beneficio del subsolado sobre la producción de inflorescencias sólo se logró cuando éste fue acompañado por la aplicación de mejorador de suelos. Las comparaciones de medias de los tres tratamientos representados por las tres barras de la derecha de la Figura 5 fueron estadísticamente similares ($P > 0.05$).

Figura 6. Interacciones significativas entre tratamientos, sobre la prolificidad de inflorescencias, al día 13 de noviembre de 2020. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.



Wu et al. (2006) reportaron calificaciones de prolificidad de 4.47 en 2002 y 5.42 en 2003, para líneas de pasto Bermuda colectados en China.

6.5. Producción de semilla

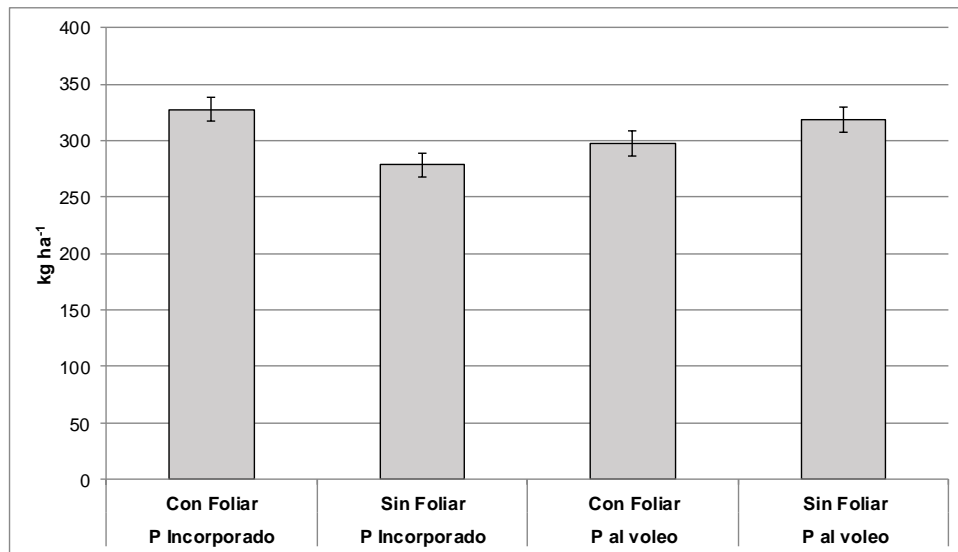
En el Cuadro 5 se muestra el ANOVA para el rendimiento de semilla. La producción de semilla fue afectada significativamente por la interacción método de aplicación de fósforo × aplicación de la mezcla de productos foliares para la nutrición de cultivos ($P < 0.0001$), por la aplicación de mejorador de suelos ($P < 0.0001$) y por el subsolado ($P < 0.0001$).

Cuadro 5. ANOVA del rendimiento de semilla al día 9 de febrero de 2021. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado de la media	<i>P</i>
Submuestra	2	231.6	0.5569
Subsoleo (S)	1	53908.5	<.0001
Mejorador de suelo (MS)	1	211144.0	<.0001
S*MS	1	1224.5	0.0857
Método de aplicación de Fosforo (MP)	1	294.3	0.3906
S*MP	1	4.3	0.9169
MS*MP	1	73.1	0.6673
S*MS*MP	1	914.2	0.1352
Aplicación foliar de nutrientes (AF)	1	2565.4	0.0153
S*AF	1	6.7	0.896
MS*AF	1	186.8	0.4931
S*MS*AF	1	463.7	0.2829
MP*AF	1	14575.0	<.0001
S*MP*AF	1	835.7	0.1525
MS*MP*AF	1	181.9	0.4987
S*MS*MP*AF	1	113.9	0.592

La interacción significativa método de aplicación de fósforo x aplicación de la mezcla de productos foliares para la nutrición de cultivos se muestra en la Figura 7. En esta figura es posible visualizar que la aplicación de los productos nutritivos foliares, sólo fue efectiva cuando se había incorporado el fósforo al suelo. Sin embargo, por la magnitud de la varianza creada por el subsolado y por la aplicación de mejorador de suelo (ver la columna de los cuadrados de las medias), las recomendaciones se centran en estas dos prácticas agronómicas. Con el tratamiento de subsolado se cosechó un 25% más semilla que sin subsolado. Así mismo, se cosechó un 55% más semilla cuando se aplicaron mejoradores de suelo que cuando no se aplicaron.

Figura 7. Interacción significativas método de aplicación de fósforo x aplicación de la mezcla de productos foliares, sobre el rendimiento de semilla, al día 9 de febrero de 2021. Experimento realizado para probar el efecto de varias prácticas agronómicas sobre la producción de semilla de pasto Bermuda en el valle de Mexicali, B. .C., México.



La media de rendimiento de 10 años para el valle Imperial a año 2018 fue equivalente a 380 kg ha⁻¹ (University of California, 2018); mientras que en el presente trabajo fue de 305 kg ha⁻¹; una diferencia de 25%. Es posible que esta diferencia pueda deberse en parte a que el muestreo para rendimiento se semilla se efectuó después del momento óptimo de cosecha. La cosecha de semilla de pasto Bermuda en el valle Imperial, CA, se realiza durante finales de la primavera o inicios del verano y puede cosecharse nuevamente a finales del otoño (Mayberry y Meister 2003): mientras que el muestreo en este trabajo se realizó a principios de febrero (debido a restricciones de mano de obra impuestas por la pandemia de COVID-19).

7. CONCLUSIONES

Las prácticas de renovación de praderas que más consistentemente mostraron un efecto sustancial positivo a través de todas las variables de respuesta en este trabajo fueron la aplicación de mejorador de suelos y el subsolado. Estos resultados tienen sentido, ya que las dos prácticas agronómicas de renovación de praderas tienen por objetivo eliminar la compactación del suelo y facilitar la penetración de las raíces; con el consiguiente beneficio en volumen de suelo para que el pasto explore con el propósito de tomar agua y nutrientes. El subsolado y el mejorador de suelos estuvieron alternado la prominencia de su importancia; aunque en las variables de producción de forrajes y producción de semilla, la aplicación de mejorador de suelos fue la de mayor relevancia al observar la magnitud de la varianza causada (columna de cuadrado de la media).

Como conclusión de este trabajo, se recomienda probar el subsolado y la aplicación de mejoradores de suelo en stands de pasto Bermuda del valle de Mexicali, que muestren signos de una baja en su productividad forrajera y o de semilla. Se sugiere probar estas prácticas de manejo en secciones de lotes comerciales (no en lotes completos), pero con la suficiente representatividad para poder hacer inferencias sólidas acerca de la funcionalidad o no de estas prácticas agronómicas, para lograr la revitalización de praderas y que esto se refleje en mayores rendimientos de semilla y forraje y que esto a su vez, permita incrementar los ingresos y calidad de vida de los productores de semilla de pasto Bermuda del valle de Mexicali, Baja California, México.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adesanwo, O., Ige, D., Thibault, L., Flaten, D., & Akinremi, W. (2013). Comparison of colorimetric and ICP methods of phosphorus determination in soil extracts. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(21), 3061–3075.
- Akhtar, M., Yaqub, M., Naeem, A., Ashraf, M., & Hernandez, V. E. (2016). Improving phosphorus uptake and wheat productivity by phosphoric acid application in alkaline calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3701–3707.
- Aydin, I., & Uzun, F. (2005). Nitrogen and phosphorus fertilization of rangelands affects yield, forage quality and the botanical composition. *European Journal of Agronomy*, 23(1), 8–14.
- Bennett, H. W. (1959). The Effect of Soil Moisture and Light on Flowering in *Paspalum* spp. 1. *Agronomy Journal*, 51(3), 169–171.
- Burns, J., King, L., & Westerman, P. (1990). *Long-term swine lagoon effluent applications on 'Coastal' bermudagrass: I. Yield, quality, and element removal* (No. 0047–2425). Wiley Online Library.
- Burton, G. W. (1942). Observations on the flowering habits of four *Paspalum* species. *American Journal of Botany*, 843–848.
- CONAGUA. (2011). *Manifestación de Impacto Ambiental Modernización de la Red de Riego Agrícola Distrito de Riego 014 Río Colorado Valle de Mexicali*. CONAGUA.

- Fairey, D. T., Loch, D., Hampton, J. G., & Ferguson, J. (1997). *Forage seed production tropical and subtropical species* (Vol. 2). CABI.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García Galvis, J., & Ballesteros, M. I. (n.d.). Evaluación de los parametros de calidad para la determinación de fósforo disponible en suelos. *Revista Colombiana de Química*.
- Gonzalez, M., Hussey, M., & Conrad, B. (1990). Plant height, disk, and capacitance meters used to estimate bermudagrass herbage mass. *Agronomy Journal*, 82(5), 861–864.
- Hanselka, C. W., & Livingston, S. (2001). Renovation practices to improve rainfall effectiveness on rangeland and pastures. *Texas FARMER Collection*.
- Humphreys, L. R., & Riveros, F. (1986). *Tropical pasture seed production*.
- King, L. D., Burns, J., & Westerman, P. (1990). *Long-term swine lagoon effluent applications on 'Coastal'bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil* (No. 0047–2425). Wiley Online Library.
- Loch, D. S., Adkins, S. W., Heslehurst, M. R., Paterson, M. F., & Bellairs, S. M. (2004). Seed formation, development, and germination. *Warm-Season (C4) Grasses*, 45, 95–143.
- Mayberry, K., & Meister, H. (2003). Sample cost to establish and produce bermudagrass seed. Univ. Of California Coop. Ext., Imperial County hp.

- Ucanr. Org/Sites/Farm_Management/Files/108104. Pdf (Accessed 19 Apr. 2012).*
- Mes, M. (1958). Influence of climate on the growth and flowering of grasses. *University of Pretoria, Annual Report of the Plant Physiology Research Institute 1958*, 30–34.
- Nkebiwe, P. M., Weinmann, M., Bar-Tal, A., & Müller, T. (2016). Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research*, 196, 389–401.
- Ortiz, C., & Dessert, J. (2019). *2018 Imperial County Agricultural Crop and Livestock Report* (p. 24). Office of the Agricultural Commissioner Sealer of Weights & Measures. El Centro, California.
- Pearson, K. E., & Bauder, J. W. (2006). The basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. *MSU Ext. Water Qual*, 1–11.
- Rodríguez-Suppo, F. (1996). Fertilizantes. *Nutrición Vegetal. AGT Editor SA México, DF, México*, 157.
- Rojas, C. (2002). Disponibilidad del fósforo y su corrección. *Serie Actas-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.
- Sanderson, M. A., Rotz, C. A., Fultz, S. W., & Rayburn, E. B. (2001). Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal*, 93(6), 1281–1286.
- SAS Institute Inc. (2002). *Copyright (c) 2002 (9.0) [Computer software]*.

- Shiflet, T., & Darby, G. (1985). *Forages and soil conservation- In M.E. Heath et al. (Ed). Forages-The science of grassland agriculture.* Iowa State Univ. Press, Ames.
- Sollenberger, L. E., & Cherney, D. (1995). Evaluating forage production and quality. *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, 2, 97–110.
- Stichler, C., & Bade, D. (1996). Forage Bermudagrass: Selection, Establishment, and Management. *Bulletin/Texas Agricultural Extension Service; No. 6035.*
- Stür, W. (1986). Reproductive development of the apex of *Brachiaria decumbens* Stapf. *Annals of Botany*, 58(4), 569–575.
- Taliaferro, C. M., Rouquette Jr, F. M., & Mislevy, P. (2004). Bermudagrass and stargrass. *Warm-season (C4) Grasses. Agronomy Monograph.*, 45, 417–475.
- Trappe, J. M., Karcher, D. E., Richardson, M. D., & Patton, A. J. (2011). Shade and traffic tolerance varies for bermudagrass and zoysiagrass cultivars. *Crop Science*, 51(2), 870–877.
- University of California. (2018). Guidelines for Bermudagrass seed production. In *Field Crops* (pp. 19-21.). U. C. Cooperative Extension.
- Vera, R., Hoyos, P., & Moya, M. (1998). Pasture renovation practices of farmers in the neotropical savannahs. *Land Degradation & Development*, 9(1), 47–56.
- Waddington, D. V. (1992). Soils, soil mixtures, and soil amendments. *Turfgrass*, 32, 331–383.

Wu, Y., Taliaferro, C., Martin, D., Goad, C., & Anderson, J. (2006). Genetic variability and relationships for seed yield and its components in Chinese *Cynodon* accessions. *Field Crops Research*, 98(2–3), 245–252.

Zamudio-González, B., Vázquez, A., Alcántar González, G., Etchevers Barra, J., & Tadeo Robledo, M. (2011). Movimiento vertical de fósforo en suelos arenosos con fertirriego y uso de mejoradores. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 249–258.