

RENDIMIENTO DE *Lolium perenne* L. A DIFERENTES ESQUEMAS DE COSECHA Y FERTILIZACIÓN CON EXTRACTO DE SARGAZO (*Sargassum* spp.)

RYEGRASS *Lolium perenne* L. YIELD AT DIFFERENT HARVEST FREQUENCIES AND FERTILIZATION SCHEMES WITH SARGASSUM SEAWEED (*Sargassum* spp.)

José Agustín Pacheco-Ortiz^{1a}, Gisela Aguilar-Benítez², Yuri Villegas-Aparicio³, Valentín López-Gayou^{1b}, María Myrna Solís-Oba^{1c} y Rigoberto Castro-Rivera^{1d*}

^{1a} Instituto Politécnico Nacional, Programa de Doctorado en Biotecnología, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0009-0005-3554-8177>

^{1b} Instituto Politécnico Nacional, Programa de Doctorado en Biotecnología, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0003-0859-0482>

^{1c} Instituto Politécnico Nacional, Programa de Doctorado en Biotecnología, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0001-9347-9599>

^{1d} Instituto Politécnico Nacional, Programa de Doctorado en Biotecnología, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0002-9083-1363>

² Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, San Luis Potosí, México
<https://orcid.org/0000-0002-9243-3860>

³ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Programa de Posgrado en Productividad de Agroecosistemas, Oaxaca, México.
<https://orcid.org/0000-0003-3449-1461>

* Autor de correspondencia rcastror@ipn.mx

RESUMEN

El uso del Sargazo como bioestimulante es una alternativa a la aplicación de fertilizantes químicos en sistemas de producción agrícola. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) sometido a diferentes estrategias de defoliación y fertilizado a diferentes concentraciones de un biofertilizante a base de algas pardas o Sargazo (*Sargassum* spp.) durante un año de evaluación. Para ello, se consideraron como factores las concentraciones de 0, 2, 5 y 8% del bioestimulante y frecuencias de cosecha cada 28, 35 y 42 días, evaluando las cuatro estaciones del año. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de materia seca, unidades SPAD (Análisis del Desarrollo de la Planta en el Suelo), altura de forraje y producción de tejido foliar. Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 4 x 3, con 4 repeticiones por tratamiento. Las medias de tratamientos fueron comparadas por Tukey (P<0,05), utilizando el procedimiento Factorial ANOVA del software SAS (2002). Los resultados indican que, a excepción de las unidades SPAD, el extracto de Sargazo no registró efecto (P>0,05) en ninguna de las variables evaluadas. Con respecto a frecuencia de cosecha, el intervalo de 42 días evidenció los mayores rendimientos de forraje,

altura de la planta y producción de hoja en las épocas evaluadas, pero sin efecto en el rendimiento acumulado de materia seca. Se concluye que el nivel alto del extracto de Sargazo (8%) tienen efecto en la concentración de clorofila, mientras que la frecuencia de defoliación y la época del año tienen efecto ($P<0,01$) sobre las variables del rendimiento.

Palabras clave: *Lolium perenne*, bioestimulante, forraje, *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*.

ABSTRACT

The use of seaweed or *Sargassum* as a biostimulant is an alternative to chemical fertilizers in agricultural systems. The objective of this study was to evaluate the yield of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) subjected to different harvest frequencies and fertilized at different biofertilizer concentrations based on brown seaweed or *Sargassum* (*Sargassum* spp.) over a one-year period. For this, concentrations of 0, 2, 5 and 8% of the biostimulant and defoliation intervals of 28, 35 and 42 days were considered as factors, evaluating the four seasons of the year. The variables evaluated were dry matter yield, Soil Plant Analysis Development in Soil (SPAD) units, plant height, and leaf tissue production. A completely randomized design was used, with a 4x3 factorial arrangement with 4 replications per treatment. Mean comparisons were performed by Tukey test ($P<0,05$), using a factorial ANOVA in SAS software (2002). The results showed that, except for SPAD units, the *Sargassum* extract had no effect ($P<0,05$) on any of the variables evaluated. Regarding harvest frequency, the 42-day interval showed the highest forage yields, plant height, and leaf production over the seasons evaluated, but there was no effect on the accumulated dry matter yield. It is concluded that the highest level of *Sargassum* extract (8%) influences chlorophyll concentration, while harvest frequency and season of the year have effects ($P<0,01$) on yield variables.

Keywords: *Lolium perenne*, biostimulant, forage, *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans*.

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es un sistema integral de producción que promueve y mejora la salud del agroecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biogeoquímicos y la actividad biológica del suelo. Dentro de los productos orgánicos se pueden considerar a los bioestimulantes opción para incrementar el rendimiento de los cultivos (Calvo et al., 2014; Cruz et al., 2016; Rengasamy et al., 2016).

Los bioestimulantes se definen como productos formulados de origen biológico que contribuyen a mejorar la productividad de las plantas por efecto de sus propiedades bioquímicas, principalmente por el contenido de nutrientes esenciales, reguladores del crecimiento y comunidades microbianas (Yakhin et al., 2017). Calvo et al. (2014) describen que los bioestimulantes incluyen diversas sustancias y microorganismos usados para mejorar el rendimiento de los sistemas de producción agrícola, clasificándolos en cinco categorías, i) Inoculantes microbianos, ii) Ácidos húmicos, iii) Ácidos fúlvicos, iv) Proteínas hidrolizadas, y v) Extracto de algas. Los bioestimulantes líquidos derivados de fuentes naturales como las algas marinas mitigan el efecto nocivo de la descomposición del Sargazo, que propicia la producción de gases de efecto invernadero y la liberación de lixiviados y

metales pesados considerados contaminantes (Domínguez-Maldonado et al., 2024). La adición de los bioestimulantes se han considerado una alternativa viable para la incorporación en programas de fertilización en sistemas de producción agrícola, al registrar mejoras en la materia orgánica del suelo, aporta macro y microelementos y reguladores del crecimiento, promoviendo una germinación más rápida e incrementando la resistencia a enfermedades de los cultivos (Rengasamy et al., 2016; Yakhin et al., 2017).

Los extractos de algas como el Sargazo contienen minerales, vitaminas, hormonas de crecimiento, así como otros componentes que son útiles para los cultivos, pero se debe considerar niveles apropiados de dosificación para mejorar el rendimiento y la productividad, por lo que sus extractos líquidos pueden servir como un producto rentable para la agricultura sostenible (Vijayanand et al., 2014). Por su efecto en la germinación de semillas, crecimiento de plántulas, desarrollo de la planta, prendimiento y peso de los frutos (Rengasamy et al., 2016).

Evaluaciones de fertilizaciones con extracto de algas en gramíneas han sido reportadas por Ciepiela et al. (2013) y Godlewska y Ciepiela (2017), quienes evidenciaron que el adicionar extracto promueve aumentos del rendimiento de 10,6% en pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), con

respecto al testigo. Shah et al. (2013) reportaron que el rendimiento de grano en trigo aumentó significativamente en 19,74 y 13,16% en plantas que recibieron fertilizaciones con concentraciones del 7,5 y 5% de extracto de algas, dicha diferencia en el rendimiento lo atribuyen a un mayor número de tallos por superficie y por lo tanto en el número de espigas, peso y longitud de estas, y por ende en el peso de 100 semillas. En contraparte, Ciepiela et al. (2013) reportaron que el rendimiento de forraje en cultivos asociados de pasto ovillo y trébol rojo, el extracto de algas no alcanzó los rendimientos que registró la fertilización nitrogenada a una dosis de 150 kg ha⁻¹.

No obstante, los bioestimulantes modernos son mezclas complejas derivadas de materias primas de origen diverso que se obtienen de diferentes procesos de elaboración y se espera que tengan un amplio espectro de efectos biológicos así como resultados diferenciales en cultivos, es por ello que, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del extracto de Sargazo a diferentes concentraciones sobre en el rendimiento del pasto ballico perenne a sometido a diferentes estrategias de cosecha bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de plástico tipo túnel, en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del

Instituto Politécnico Nacional Unidad Tlaxcala, Tlaxcala México, ubicado a 19°16'50" N, 98°21'58" O, a 2221 m.s.n.m. de mayo de 2020 a mayo del 2021. Los registros de temperatura máxima, mínima y humedad relativa se obtuvieron de un Hobo Data Logger de la marca ONSET hecho en Estado Unidos y se muestran en la Fig. 1.

Establecimiento del cultivo

La siembra de ballico perenne se realizó colocando 15 semillas o cariósides en cada maceta de plástico que contenía 3 kg de suelo enriquecido con 7% de vermicompost (unidad experimental). Al emerger las plántulas se realizó un aclareo manual para dejar una población inicial de 10 tallos por maceta, en un periodo de establecimiento de 60 días después de la siembra, posteriormente y antes de iniciar el experimento se realizó un corte de uniformización a cinco cm de altura con respecto al suelo, para reducir el efecto de covariable del forraje residual después del corte.

Semillas, extracto de Sargazo y sustrato utilizado

Las semillas de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) fueron donadas por el Laboratorio de Forrajes del Posgrado en Ganadería del Colegio de Postgraduados y el extracto de Sargazo fue donado por la empresa Dianco México S.A.P.I. de C. V., cuya composición se describe en la Tabla 1. El extracto de Sargazo se aplicó con una frecuencia de riego de cada 30 días a concentraciones de 0, 2, 5 y 8% en 200 mL de agua, el vermicompost

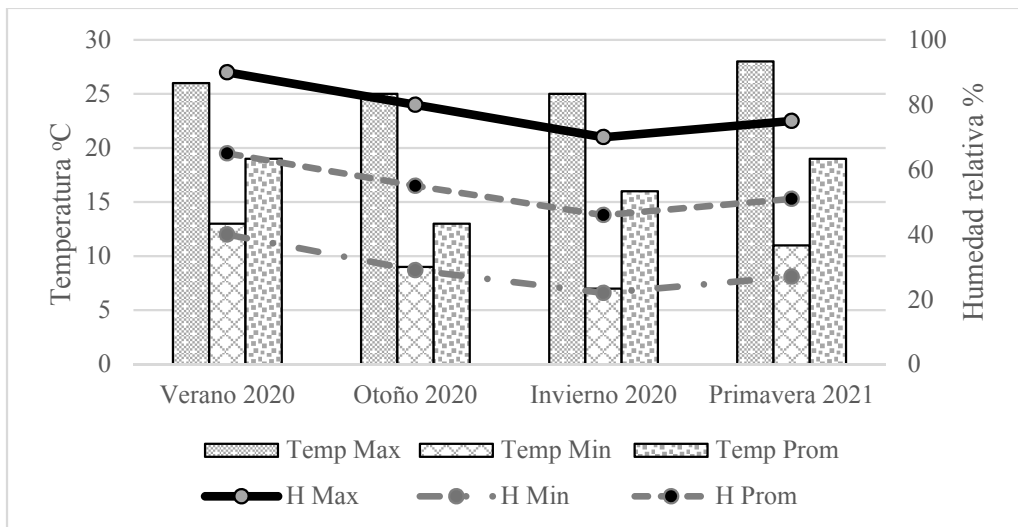


Fig. 1. Temperatura y humedad máxima, promedio y mínima registradas dentro del invernadero de plástico.

Fig. 1. Maximum, average, and minimum temperature and humidity recorded inside the plastic greenhouse.

Tabla 1. Análisis químico del extracto de Sargazo utilizado en el experimento.
Table 1. Chemical analysis of the Sargassum extract used in the experiment.

Elemento	Resultados	Elemento	Resultados
pH	5,44	Boro (ppm)	5,05
Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)	26,5	Humedad (%)	97,8
Fosforo (%)	0,0096	Materia orgánica (%)	0,31
Nitrógeno (%)	0,15	Cenizas (%)	1,88
Calcio (%)	0,03	Carbono orgánico (%)	0,18
Magnesio (%)	0,06	Relación C/N (Base seca)	1,15
Potasio (%)	0,18	Arsénico (ppm)	0,05
Cobre (ppm)	0,16	Bario (ppm)	0,5
Sodio (%)	0,44	Cadmio (ppm)	0,005
Hierro (ppm)	2,69	Cromo (ppm)	0,3
Manganeso (ppm)	0,63	Níquel (ppm)	0,25
Zinc (ppm)	2,21	Cobalto (ppm)	0,025
		Aluminio (ppm)	0,10

utilizado fue certificado por OMRI listed®, y el suelo utilizado como sustrato se obtuvo de la parcela experimental de CIBA IPN Unidad Tlaxcala.

Variables evaluadas

Rendimiento de materia seca

El rendimiento de materia seca (MS) se determinó cortando todo el material vegetal por arriba de 5 cm de altura, tomando como base el nivel del suelo y la fecha de cosecha que correspondía a la frecuencia delimitada. El forraje defoliado se lavó para eliminar cualquier rastro de suelo y se pesó en fresco, para posteriormente secarlo en una estufa de aire forzado de la marca RIOSSA modelo H-102 hecho en México, a 70 °C por 48 horas y se obtuvo el peso en base seca. Se determinó el peso promedio por corte, época del año, peso promedio por concentración de extracto y frecuencia de corte.

Producción de hojas

La producción del componente morfológico hoja (considerando desde la base de la lígula bien diferenciada hacia el ápice de la misma) se obtuvo en cada muestreo, al separarlo manualmente de los tallos cosechados en cada unidad experimental en cada muestreo. Posteriormente se pesó en fresco y se deshidrató en una estufa de aire forzado a 70 °C, por 48 h y se registró el dato.

Unidades SPAD

Un día antes del corte programado, en cada una de las unidades experimentales, se seleccionaron 3 tallos al azar, en los cuales se consideró la hoja intermedia totalmente expuesta con la lígula diferenciada y en ellas se registró la concentración

de clorofila con el equipo MC-100 Chlorophyll Meter de la marca ApoGee Instruments, hecho en Estados Unidos.

Altura de forraje

Antes de cada corte asignado en tallos al azar se registró la altura del pasto desde la base de la planta hasta el tejido vegetal superior más joven. Para ello se utilizó una regla graduada de cincuenta centímetros y una precisión de 0,1 cm de la marca MP de México Paper, modelo PA004, hecho en México (Castillo et al., 2009; Castro et al., 2011).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 3. Los factores fueron: concentración del extracto de Sargazo (0, 2, 5 y 8%) en agua y frecuencia de defoliación (28, 35 y 42 días). Los valores obtenidos de las variables se agruparon por época y se analizaron con el procedimiento factorial ANOVA y PROC GLM del Software estadístico (SAS, 2002) Versión 9.0 para Windows®. Las diferencias entre tratamientos fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%. Se realizaron pruebas de contrastes y polinomios ortogonales para ver los efectos del extracto de Sargazo.

RESULTADOS

Rendimiento de materia seca

La aplicación del biofertilizante no registró efecto ($P>0,05$) en el rendimiento de MS producida y la concentración del biofertilizante no estimuló efectos diferenciales ($P>0,05$) en la biomasa

por época, en el rendimiento promedio y la MS acumulada (Tabla 2). No obstante, se evidenciaron diferencias ($P<0,05$) en el rendimiento de biomasa promedio en las diferentes épocas (Figs. 2A, 2B y 2C), registrándose en verano la mayor producción en las unidades experimentales 1,96 g MS maceta, superando al otoño, invierno y primavera en 0,49, 0,84 y 0,3 g MS maceta lo que representa el 33, 75 y 18%, respectivamente. La cosecha del ballico perenne cada 42 días registró ($P<0,05$) la mayor cantidad de forraje en todas las épocas evaluadas; excepto en el otoño, en que el rendimiento a los 35 días fue similar ($P>0,05$) al de 42 días. La cosecha de forraje cada 28 días evidenció la menor producción de biomasa en todas las épocas, así como en el promedio anual ($P<0,05$) (Fig. 2).

El rendimiento anual de forraje con cosechas cada 42 días superó ($P<0,05$) en 55 y 45% a las efectuadas cada 28 y 35 días, respectivamente; sin embargo, el rendimiento acumulado no registró diferencias ($P>0,05$) debido a las frecuencias de cosecha ni a las concentraciones de Sargazo. Por otro lado, la mayor acumulación de forraje ($P>0,05$)

se dio en primavera y verano produciendo en conjunto el 58% del total anual. Las significancias de las frecuencias de corte fueron altamente significativas ($P<0,01$) como factor (Tabla 2) y sólo se registró efecto de la interacción con el extracto de Sargazo en la época de primavera ($P<0,05$).

Rendimiento de hoja

Con respecto a la composición morfológica cabe mencionar que durante el experimento no se produjo y por ello no se reportó el componente tallo debido a que toda la biomasa producida por arriba de los cinco centímetros de cosecha fue hoja y material muerto o senescente proveniente de las hojas.

El extracto de Sargazo no promovió ($P>0,05$) la producción del tejido foliar en el ballico perenne (Tabla 3). Sin embargo, al considerar el efecto de la temperatura promedio en las épocas del año se evidenció que en primavera y verano se produjo ($P<0,05$) el 57% del tejido foliar, mientras que, en otoño e invierno ($P<0,05$) solo el 43%. Por otro lado, al considerar la producción de tejido foliar

Tabla 2. Rendimiento de materia seca (g MS maceta⁻¹) de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) sometido a diferentes frecuencias de corte y fertilización con diferentes niveles de extracto de Sargazo.

Table 2. Dry matter yield (g DM pot⁻¹) of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) at different harvest frequencies and fertilized with different levels of Sargassum extract.

Factor	Verano		Otoño		Invierno		Primavera		Rendimiento Promedio	Acumulado MS
	RPC	RA	RPC	RA	RPC	RA	RPC	RA	(g MS maceta ⁻¹)	
Sargazo (%)										
0	1,89	4,4	1,45	3,9B	1,09	2,6	1,61	4,3	1,51	15,1
2	2,01	4,7	1,39	3,7B	1,25	2,6	1,69	4,5	1,55	15,5
5	1,99	4,7	1,44	3,9B	1,14	2,7	1,65	4,4	1,56	15,6
8	1,93	4,5	1,61	4,3A	1,26	2,6	1,69	4,5	1,59	15,9
Frecuencia de corte (días)										
28	1,6C	4,9A	1,1B	3,4B	0,9C	2,7B	1,3C	4,1B	1,26 C	15,2
35	1,9B	3,9B	1,6A	4,9A	1,1B	2,1C	1,6B	4,8A	1,58 B	15,8
42	2,4A	4,9A	1,7A	3,5B	1,5A	2,9A	2,2A	4,3B	1,96 A	15,7
Promedio época	1,9 a		1,47 c		1,1 c		1,7 b			**
Promedio acumulado		4,6 a		3,9 b		2,6c		4,4 a		**
Significancia										
%S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
FC	**	**	**	**	**	**	**	**	**	NS
FC X %S	NS		NS		NS		*		**	NS

Medias con literales mayúsculas diferentes en cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $P<0,05$), medias con literales minúsculas diferentes en filas son estadísticamente diferentes ($P<0,05$); RPC= Rendimiento promedio por corte, RA= Rendimiento acumulado por época, FC= Frecuencias de corte, %S= Porcentaje de Sargazo, Significancia NS= No significativo ($P>0,05$), *($P<0,05$); **=($P<0,01$).

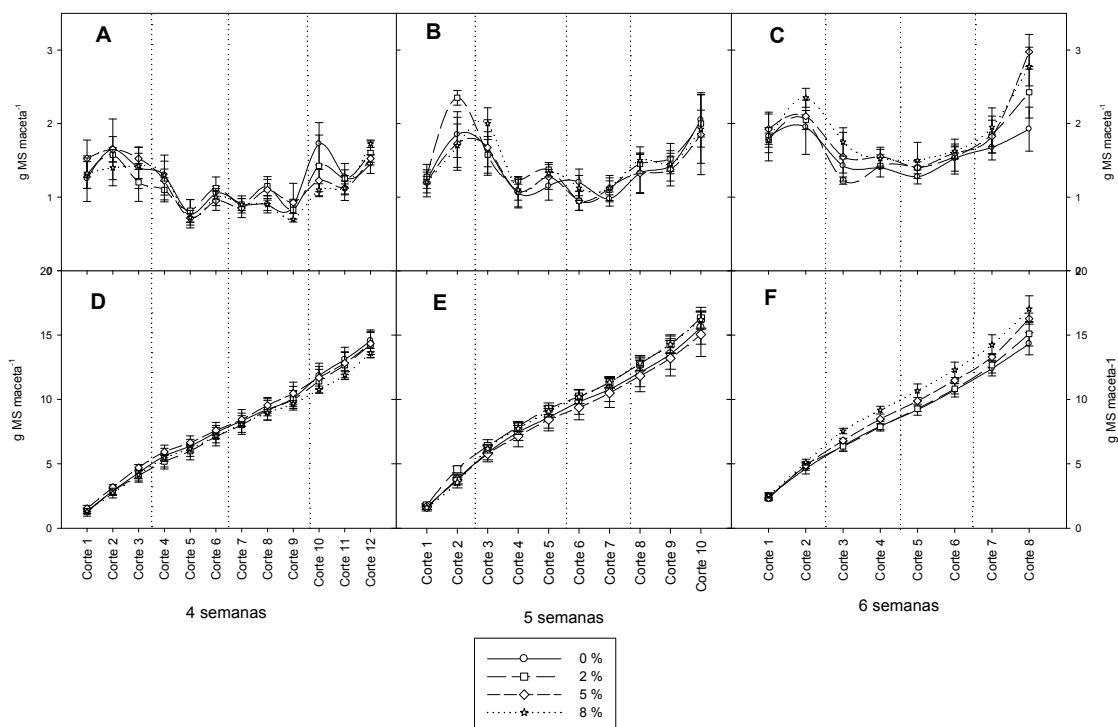


Fig. 2. Peso promedio obtenido (g MS maceta⁻¹) de tejido foliar en cortes cada 4 semanas (A) 5 semanas (B) y 6 semanas (C); Acumulación de materia seca de hoja en cortes cada 4 semanas (D), 5 semanas (E) y 6 semanas (F) a diferentes concentraciones del extracto de Sargazo. Las líneas punteadas corresponden a la época de verano (corte 1, 2 y 3 cada 4 semanas; 1 y 2 cada 5 semanas; 1 y 2 cada 6 semanas), otoño (corte 4, 5 y 6 cada 4 semanas; 3, 4 y 5 cada 5 semanas; 3 y 4 cada 6 semanas), invierno (corte 7, 8 y 9 cada 4 semanas; 6 y 7 cada 5 semanas; 5 y 6 cada 6 semanas) y primavera (corte 10, 11 y 12 cada 4 semanas; 8, 9 y 10 cada 5 semanas; 7 y 8 cada 6 semanas).

Fig. 2. Average weight (g DM pot⁻¹) obtained from leaf tissue at harvest every 4 weeks (A), 5 weeks (B), and 6 weeks (C); leaf dry matter accumulation at harvest every 4 weeks (D), 5 weeks (E), and 6 weeks (F) at different concentrations of Sargassum extract. The dotted lines correspond to summer (harvesting 1, 2 and 3 every 4 weeks; 1 and 2 every 5 weeks; 1 and 2 every 6 weeks), fall (harvesting 4, 5 and 6 every 4 weeks; 3, 4 and 5 every 5 weeks; 3 and 4 every 6 weeks), winter (harvesting 7, 8 and 9 every 4 weeks; 6 and 7 every 5 weeks; 5 and 6 every 6 weeks) and spring (harvesting 10, 11 and 12 every 4 weeks; 8, 9 and 10 every 5 weeks; 7 and 8 every 6 weeks).

anual, el mayor rendimiento se alcanzó con cortes cada 42 días, siendo este un 25 y 50% superior al obtenido con las cosechas cada 35 y 28 días, respectivamente (Figs. 2D, 2E y 2F), pero estas diferencias no alcanzaron significancia ($P>0,05$).

En cuanto al efecto de la época del año, el mayor valor de producción acumulada del componente hoja se registró en primavera (4,4 g MS maceta), produciendo el 31% del total de hojas producido a lo largo del año. Con respecto a la significancia de cada factor, la concentración del Sargazo no

afectó ($P>0,05$) la formación de tejido foliar, efecto contrario ocurrió en las frecuencias de corte y la época del año ($P<0,05$).

Unidades SPAD

La medición indirecta del contenido de clorofila mediante las unidades SPAD registraron diferencias ($P<0,05$) entre concentraciones del extracto de Sargazo en las épocas de otoño, invierno, primavera y en el promedio anual, siendo la concentración del 8 % la que superó

Tabla 3. Producción de tejido foliar (g MS maceta⁻¹) de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) a diferentes frecuencias de corte y fertilizado con diferentes niveles de extracto de Sargazo.**Table 3. Leaf tissue yield (g DM pot⁻¹) of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) at different harvest frequencies and fertilized with different levels of Sargassum extract.**

Factor	Verano		Otoño		Invierno		Primavera		Promedio Acumulado	
	RPC	RA	RPC	RA	RPC	RA	RPC	RA	% (g MS maceta ⁻¹)	MS
Sargazo (%)										
0	1,59	3,7	1,22	3,3	1,09	2,6	1,61	4,3	1,38	13,8
2	1,65	3,8	1,23	3,3	1,12	2,6	1,69	4,5	1,43	14,3
5	1,66	3,9	1,25	3,3	1,14	2,7	1,65	4,4	1,43	14,3
8	1,60	3,7	1,34	3,6	1,13	2,6	1,69	4,5	1,44	14,4
Frecuencia de corte (días)										
28	1,4B	4,3A	1,0B	3,1B	0,9C	2,7B	1,3C	4,1B	1,2C	14,2
35	1,5B	3,1C	1,4A	4,1A	1,1B	2,1C	1,6B	4,8A	1,4B	14,2
42	1,9A	3,9B	1,5A	2,9B	1,5A	2,9A	2,2A	4,4B	1,8A	14,2
Prom. por época	1,6 a		1,3 b		1,1 c		1,7 a			**
Prom. acumulado		3,8b		3,4c		2,6d		4,4a		**
Significancia										
%S	NS		NS		NS		NS		NS	NS
FC	**		**		**		**		**	NS
FC X %S	NS		NS		NS		*		NS	NS

Medias con literales mayúsculas diferentes en cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$), medias con literales minúsculas diferentes en filas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$); RPC= Rendimiento promedio por corte, RA= Rendimiento acumulado por época, FC= Frecuencias de corte, %S= Porcentaje de Sargazo, Significancia NS= No significativo ($P > 0,05$), *=($P < 0,05$); **=($P < 0,01$).

($P < 0,05$) en 11, 7 y 5% a los tratamientos de 0, 2 y 5% de extracto durante el año de evaluación, respectivamente (Tabla 4).

Con respecto a las frecuencias de defoliación, cosechar cada 28 y 42 días mostraron efectos ($P < 0,05$) superiores (6%) al de 35 días en los valores promedios obtenidos durante el año de evaluación; Sin embargo, cuando se analiza las unidades SPAD por época y entre frecuencias, el verano no registró diferencias ($P > 0,05$); mientras que, en otoño las frecuencias de 28 y 42 días registraron el mismo nivel de clorofila ($P > 0,05$); Así mismo, en invierno la frecuencia de 42 días tiene más unidades SPAD y finalmente en primavera la frecuencia de 28 días registró el valor más alto ($P < 0,05$). Con respecto al efecto de los factores a excepción del verano, en el resto de las épocas se evidenciaron efectos por factor y se registró la interacción de ambos la cual altamente significativa ($P < 0,05$), por lo que la adición del extracto estimuló la producción de fotosíntesis en el pasto el cual varió dependiendo el tiempo entre una cosecha y otra.

Así mismo, en el promedio de unidades SPAD por época del año evidenció que en verano y primavera se registró ($P < 0,05$) 17% más clorofila

en hojas que las obtenidas en otoño e invierno (Tabla 4).

En los contrastes ortogonales se detectó que la fertilización con el extracto de Sargazo, el tratamiento testigo fue diferente al resto de los tratamientos; asimismo, las menores concentraciones (0 y 2%) fueron diferentes a las más altas (5 y 8%), registrándose un efecto lineal ($P < 0,05$) del extracto de Sargazo en el análisis de polinomios ortogonales.

Altura de la planta

La altura promedio del pasto (Tabla 5) en las épocas evaluadas registró su valor más alto en primavera ($P < 0,05$) superando en 6, 10 y 13% a verano, otoño e invierno, respectivamente. No obstante, a excepción del verano en las épocas evaluadas no se registraron diferencias ($P > 0,05$) entre las concentraciones del extracto de Sargazo; sin embargo, en verano el tratamiento con el 8% registró ($P < 0,05$) la mayor altura (14 cm), y en el promedio anual todas las unidades experimentales que recibieron el extracto de Sargazo fueron mejores que el testigo.

Con respecto a las frecuencias de defoliación cosechar cada 42 días registró las mayores

Tabla 4. Registro de unidades SPAD de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) sometido a diferentes frecuencias de corte y fertilizado con diferentes niveles de extracto de Sargazo.

Table 4. Record SPAD units of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) at different harvest frequencies and fertilized with different levels of Sargassum extract.

Factor	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio anual %	Significancia
Sargazo (%)						
0	7,74	6,17 B	6,09 C	7,68 B	6,86 C	
2	7,51	6,49 A	6,53 B	7,84 B	7,07 BC	
5	8,18	6,65 A	6,57 B	7,95 B	7,28 B	
8	8,45	6,75 A	7,09 A	8,38 A	7,61 A	
Frecuencia de corte (días)						
28	8,13	6,65 A	6,48 B	8,24 A	7,31 A	
35	7,64	6,27 B	6,34 B	7,82 B	6,95 B	
42	7,98	6,67 A	6,94 A	7,76 B	7,34 A	
Promedio por época	7,97 a	6,52 b	6,57 b	7,96 a		**
Significancia						
%S	NS	**	**	**	**	
FC	NS	**	**	**	**	
FC X %S	NS	**	**	**	**	

Medias con literales mayúsculas diferentes en cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$), medias con literales minúsculas diferentes en filas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$); FC= Frecuencias de corte, %S= Porcentaje de Sargazo, Significancia NS= No significativo ($P > 0,05$), *=($P < 0,05$); **=($P < 0,01$).

Tabla 5. Alturas de plantas (cm) de ballico perenne (*Lolium perenne* L.) sometido a diferentes frecuencias de corte y fertilizado con diferentes niveles de extracto de Sargazo.

Table 5. Plant height (cm) of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) at different harvest frequencies and fertilized with different levels of Sargassum extract.

Factor	Verano (cm)	Otoño (cm)	Invierno (cm)	Primavera (cm)	Altura Promedio (cm)
Sargazo (%)					
0	12,7 B	13,1	12,5	14,1	13,1 b
2	13,4 AB	13	12,6	14,2	13,4 ab
5	13,4 AB	13,5	12,8	14,3	13,6 a
8	13,9 A	13,6	12,6	14,6	13,7 a
Frecuencia de corte (días)					
28	12,7 B	13 B	12,6 AB	13,7 B	13 c
35	13,4 B	13,3 AB	12,5 B	14,2 B	13,5 b
42	14,4 A	13,8 A	12,9 A	15,4 A	14,2 a
Promedio por época	13,4 b	13 bc	12,6 c	14,3 a	**
Significancia					
%S	*	NS	NS	NS	**
FC	**	*	*	**	**
FC X %S	**	NS	NS	NS	**

Medias con literales mayúsculas diferentes en cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$), medias con literales minúsculas diferentes en filas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$); FC= Frecuencias de corte, %S= Porcentaje de Sargazo, Significancia NS= No significativo ($P > 0,05$), *=($P < 0,05$); **=($P < 0,01$).

alturas ($P < 0,05$) en todas épocas evaluadas y en el promedio anual (14,2 cm), superando en 5 y 9% la altura del dosel de las frecuencias de 35 y 28 días, respectivamente, debido al mayor tiempo en días del tejido foliar en la planta. Asimismo, el efecto de los factores registraron que, a excepción del verano, la concentración del extracto de Sargazo no tuvo efecto independiente ni en la interacción ($P > 0,05$) en la altura de la planta, mientras que, las frecuencias de defoliación fueron altamente significativas ($P < 0,01$) en verano y primavera.

DISCUSIÓN

La adición del extracto de Sargazo no estimuló ($P > 0,05$) el rendimiento de MS producido en ballico perenne, como se muestra en los análisis factoriales y la prueba de contrastes ortogonales, lo que coincide parcialmente con los resultados reportados por Ciepiela et al. (2013) y Godlewska y Ciepiela (2017), quienes evidenciaron que en un estudio de tres 3 años el efecto de la aplicación del extracto de algas en combinación con diferentes niveles de nitrógeno (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹), en pasto ovillo y en el híbrido de festuca y ballico anual, registraron que el extracto superó al tratamiento testigo ($P < 0,05$); no obstante, el otro efecto aditivo del extracto solo se expresó en la dosis más alta de fertilización nitrogenada (150 kg N ha⁻¹), en ambas especies de pasto; mientras que, en el contraste del efecto del extracto versus el no aplicarlo registró una diferencia anual ($P < 0,05$) en el año uno y dos para pasto ovillo y, sólo en el primer año, para el híbrido de festuca y ballico anual. Asimismo, reportaron mayor acumulación en pasto ovillo, por lo que es evidente que la respuesta de los pastos a la adición de extracto de algas es diferencial en cada especie de gramínea evaluada. En este estudio no se aplicó ninguna fertilización nitrogenada, pero los resultados obtenidos registraron que efecto del extracto es muy bajo y no significativo (Tabla 2 y Fig. 2), y puede deberse a la cantidad mínima de minerales que se aporta en el suelo o probablemente la concentración de metales pesados que contiene el producto afectó la población microbiana; sin embargo, se sugiere hacer evaluaciones del extracto en concentraciones más altas o bien aplicarlo de forma foliar (Tabla 1).

Al evaluar diferentes frecuencias de cosecha en el pasto permite evidenciar el efecto de la fertilización en el tiempo transcurrido entre cortes a diferentes tiempos y esta diferencia en días se ve reflejado en el rendimiento de MS producido en el ballico perenne en todas las estaciones del año, y esto coincide parcialmente a lo reportado en otros estudios (Bribiesca et al., 2002; Velasco-Zebadúa et al., 2005; Garduño et al., 2009; Flores et al., 2015;

Rojas et al., 2017), donde el mayor rendimiento de biomasa seca acumulada se registra a los 28 y 35 días en cultivos a cielo abierto, mientras que en este trabajo la acumulación de forraje cosechado no fue significativa entre frecuencias de defoliación (Figs. 2D, 2E y 2F) no fue diferencial y esto podría deberse al efecto del extracto en las unidades SPAD al registrar un efecto lineal en los análisis de polinomios ortogonales, lo que promovió una mayor actividad fotosintética en el pasto. Sin embargo, coincide con estos mismos autores para la época de otoño e invierno, ya que se ha demostrado que entre mayor tiempo de recuperación o rebrote del ballico se promueven mayores rendimientos de forraje en estas épocas (Figs. 2A, 2B y 2C), no obstante, a pesar de que la calidad del forraje decrece conforme avanza la edad del rebrote, para el caso de la fertilización con Sargazo la mayor concentración registró los valores más altos en las unidades SPAD, lo que favoreció al pasto a no presentar el efecto del decremento de la calidad por la edad de rebrote; no obstante, la temperatura ambiental tiene efecto en el rendimiento (Figs. 2A, 2B y 2C), ya que en primavera y verano se registraron los valores más altos de MS en este el experimento (Castro et al., 2012, 2013; Moreno-Carrillo et al., 2015).

Con respecto a la producción de tejido foliar, componente morfológico más importante de la producción de forraje, en este estudio se evidenció que solo las frecuencias de corte y la época del año promovieron rendimientos ($P < 0,05$) diferenciales en el ballico perenne; mientras que, el extracto de Sargazo no evidenció efectos ($P > 0,05$) en la producción de este componente; no obstante, en los análisis de contrastes y polinomios ortogonales evidenciaron que sí existió diferencias entre el testigo y los demás tratamientos y diferencias entre las concentraciones más bajas versus las más altas, y los resultados presentan una tendencia lineal conforme se incrementa la concentración de Sargazo en las unidades SPAD, por consiguiente se esperarían resultados más alentadores si se evalúan concentraciones más altas como lo mencionan Basavaraja et al. (2018), quienes destacan que concentraciones superiores al 10% de extracto de Sargazo tienen un efecto estimulante sobre el rendimiento de gramíneas, principalmente mediante fertilización foliar; asimismo, da a conocer que el rendimiento de grano en maíz incrementó significativamente ($P > 0,05$) 18 y 26% en comparación con el tratamiento testigo; no obstante, en este experimento solo la mayor concentración tuvo un efecto diferencial en las alturas del forraje, pero está no influyó en el rendimiento del ballico perenne. Sin embargo, otros autores como Shah et al. (2013) afirman que el rendimiento de grano

en trigo aumenta significativamente en 19,7 y 13,2% en plantas que recibieron fertilizaciones de extracto de alga a concentraciones del 7,5 y 5%; sin embargo, en este experimento no se evidenciaron diferencias estadísticas en el rendimiento acumulado de MS ni en la producción de hojas, registrándose solo el efecto en las unidades SPAD, lo que podría repercutir en la calidad del pasto al incrementar el contenido de proteína ya que las unidades SPAD están correlacionadas con esta variable (González-Torres et al., 2009).

Sin embargo, otros autores mencionan que en fabáceas aplicar menores concentraciones (1,5%) se obtienen mayores efectos del extracto sobre los parámetros del crecimiento y rendimiento de frijol; observándose también, respuestas diferenciales en el contenido de pigmentos fotosintéticos, proteínas, ácido ascórbico y en la actividad del nitrato reductasa de las hojas en comparación con el testigo, mientras que, las concentraciones por arriba del 1,5%, mostraron un efecto inhibitorio en las plantas (Cruz et al., 2016). Mientras que en este estudio ocurrió lo contrario a concentraciones más elevadas se registraron mayores contenidos de pigmentos fotosintéticos (unidades SPAD), pero debemos considerar que son especies de diferente familia botánica.

Los resultados de este estudio sugieren que se continúe con la evaluación de concentraciones más elevadas del extracto de algas en suelo; así mismo, la fertilización foliar, y la combinación con otros fertilizantes ya sean orgánicos o inorgánicos para un mejor aprovechamiento del Sargazo, ya que tiene efectos en el metabolismo de fotosintético y de ahí la importancia de la evaluación de este tipo de bioestimulantes antes de ser utilizados en cultivos intensivos.

CONCLUSIONES

La adición al suelo del extracto de alga no tuvo efecto sobre el rendimiento de materia seca del ballico perenne a excepción de las unidades SPAD (Análisis del Desarrollo de la Planta en el Suelo), las cuales presentaron un efecto lineal al incrementar las concentraciones. La época del año y el manejo del cultivo mediante las frecuencias de defoliación, tienen efectos significativos en el rendimiento de forraje.

Considerando los resultados del trabajo de investigación se debe continuar evaluando el efecto de extracto a concentraciones más altas, para darle uso a ese residuo que provoca problemas ambientales conocidos.

La combinación de bioestimulantes con otras estrategias de fertilización, puede estimular el efecto aditivo del extracto de Sargazo en la

calidad del pasto, ya que por sí solo no registra efectos en las variables del rendimiento solo en las de calidad.

LITERATURA CITADA

- Basavaraja, P. K., N. D. Yogendra, S. T. Zodape, R. Prakash, and A. Ghosh. 2018. Effect of seaweed sap as foliar spray on growth and yield of hybrid maize. *Journal of Plant Nutrition* 41(14): 1851–1861. Doi: 10.1080/01904167.2018.1463381
- Bribiesca, Ma. T. P., G. A. Hernández, P. J. Pérez, H. J. G. Herrera, y G. R. Bárcena. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Técnica Pecuaria en México* 40(3): 251–263.
- Calvo, P., L. Nelson, and J. W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil* 383(1–2): 3–41. Doi: 10.1007/s11104-014-2131-8
- Castillo, G. E., B. Valles de la Mora, y J. R. Jarillo. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 47(1): 79–92.
- Castro, R. R., G. A. Hernández, R. O. Ramírez, B. G. Aguilar, Q. J. F. Enriquez, y P. S. I. Mendoza. 2013. Crecimiento en longitud foliar y dinámica de población de tallos de cinco asociaciones de gramíneas y leguminosa bajo pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4(2): 201–215.
- Castro, R. R., G. A. Hernández, B. G. Aguilar, y R. O. Ramírez. 2011. Comparación de métodos para estimar rendimiento de forraje en praderas asociadas. *Naturaleza y Desarrollo* 9(1): 38–46.
- Castro, R. R., G. A. Hernández, H. H. Vaquera, G. J. P. Hernández, C. A. R. Quero, Q. J. F. Enriquez, y H. P. A. Martínez. 2012. Productive performance of grass-legume associations under grazing conditions. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(1): 87–95.
- Ciepiela, G. A., A. Godlewska, and J. Jankowska. 2013. The effect of biostimulant on yields of mixed grass/red clover stands and chlorophyll content in crop plant leaves under different nitrogen fertilization regimes. *Fresenius Environmental Bulletin* 22(12A): 3700–3708.
- Cruz, J. M. C., S. J. M. Álvarez, F. M. de J. Soria, y M. B. Candelaria. 2016. Producción de sustratos orgánicos para ornamentales a menor costo que los importados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 25(1): 44–49.

- Domínguez-Maldonado, J. A., S. E. Solís-Pereira, R. E. Valle-Gough, Á. A. A. Magaña, E. Olgún-Maciél, L. Alzate-Gaviria, and R. Tapia-Tussell. 2024. Microbial communities present in *Sargassum* spp. Leachates from the Mexican Caribbean which are involved in their degradation in the environment, a tool to tackle the problem. *Environmental Science and Pollution Research* 31:19904-19916. Doi: 10.1007/s11356-024-32363-5
- Flores, S. E. del J., G. A. Hernández, R. J. D. D. Guerrero, C. A. R. Quero, y H. P. A. Martínez. 2015. Productividad de asociaciones de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 6(3): 337-347.
- Garduño, S. V., P. J. Pérez, G. A. Hernández, H. J. G. Haro, M. P. A. Hernández, y M. J. B. Torres. 2009. Rendimiento y dinámica de crecimiento estacional de ballico perenne, pastoreado con ovinos a diferentes frecuencias e intensidades. *Técnica Pecuaria en Mexico* 47(2): 189-202.
- Godlewska, A., and A. Ciepiela. 2017. Effectiveness of fertilization of *Dactylis glomerata* and *Festulium braunii* with nitrogen and the biostimulant Kelpak SL. *Romanian Agricultural Research* 34: 197-206.
- González-Torres, A., U. Figueroa-Viramontes, J. A. Delgado, G. Núñez-Hernández, J. A. Cueto-Wong, P. Preciado-Rangel, and A. Palomo-Gil. 2009. SPAD-502 Calibration to evaluate nitrogen requirements in forage corn. *Terra Latinoamericana* 27(4): 303-309.
- Moreno-Carrillo, M. A., A. Hernández-Garay, H. Vaquera-Huerta, C. Trejo-López, J. A. Escalante-Estrada, J. L. Zaragoza-Ramírez, y B. M. Joaquín-Torres. 2015. Productividad de siete asociaciones y dos praderas puras de gramíneas y leguminosas en condiciones de pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(1): 101-108 Doi: 10.35196/rfm.2015.1.101
- Rengasamy, K. R. R., M. G. Kulkarni, H. B. Papenfus, and J. Van Staden. 2016. Quantification of plant growth biostimulants, phloroglucinol and eckol, in four commercial seaweed liquid fertilizers and some by-products. *Algal Research* 20: 57-60. Doi: 10.1016/j.algal.2016.09.017
- Rojas, G. A. R., G. A. Hernández, C. A. R. Quero, R. J. de D. Guerrero, W. Ayala, R. J. L. Zaragoza, y L. C. Trejo. 2017. Persistencia de *Dactylis glomerata* L. solo y asociado con *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(4): 885. Doi: 10.29312/remexca.v7i4.262
- SAS, and Inst. 2002. SAS, User's Guide.
- Shah, M. T., S. T. Zodape, D. R. Chaudhary, K. Eswaran, and J. Chikara. 2013. Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *Journal of Plant Nutrition* 36(2): 192-200. Doi: 10.1080/01904167.2012.737886
- Velasco-Zebadúa, Ma. E., A. Hernández-Garay, y V. A. González-Hernández. 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. *Técnica Pecuaria en México* 43(2): 247-258.
- Vijayanand, N., S. S. Ramya, and S. Rathinavel. 2014. Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian Pacific Journal of Reproduction* 3(2): 150-155. Doi: 10.1016/S2305-0500(14)60019-1
- Yakhin, O. I., A. A. Lubyantsev, I. A. Yakhin, and P. H. Brown. 2017. Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science* 7(January): 1-32. Doi: 10.3389/fpls.2016.02049