

Gramíneas, forrajes y biotecnología aplicada

Javier Ruiz-Romero^{1*}, Angélica Romero Rodríguez¹,
Rigoberto Castro-Rivera¹, José Agustín Pacheco-Ortiz¹,
Brenda Yanin Azcárraga-Salinas¹, Andres Castro-Sierra¹,
Juan Luis Soto-García¹

¹Instituto Politécnico Nacional, CIBA Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino,
Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700. Tlaxcala, México

*Autor para correspondencia: jruizr1800@alumno.ipn.mx



RESUMEN

Las gramíneas, como el maíz, trigo y arroz, son esenciales en la alimentación de humanos y animales, aportan hasta 80% del requerimiento diario de carbohidratos. Además de su valor alimenticio, estas especies también se utilizan en la producción de bioetanol; sin embargo, su elevado contenido de lignina representa una limitación para la eficiencia del proceso. En la producción de forrajes, la calidad depende de factores como la frecuencia de defoliación, ya que cortes muy seguidos reducen la biomasa y aumentan la lignina, afectando el valor nutricional. La biotecnología ofrece soluciones para mejorar la calidad y rendimiento de los forrajes, como el uso de abonos orgánicos (composta, vermicomposta) que incrementan la producción de materia seca, mejoran el suelo y reducen desechos. Estudios demuestran que estos métodos aumentan los rendimientos hasta en un 71% y mejoran la calidad del suelo a largo plazo. La investigación en biotecnología aplicada a forrajes es clave para optimizar la producción, reducir costos y promover prácticas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: Forraje, gramíneas, biotecnología

ABSTRACT

Grasses such as corn, wheat, and rice are essential for both human and animal nutrition, providing up to 80% of daily carbohydrate intake. In addition to their nutritional value, these species are also used in bioethanol production; however, their high lignin content poses a limitation to process efficiency. In forage production, quality depends on factors such as defoliation frequency, as overly frequent cutting reduces biomass and increases lignin content, negatively affecting nutritional value. Biotechnology offers solutions to enhance forage quality and yield, such as the use of organic fertilizers (compost, vermicompost), which increase dry matter production, improve soil health, and reduce waste. Studies have shown that these methods can boost yields by up to 71% and improve long-term soil quality. Research in biotechnology applied to forage crops is essential to optimize production, lower costs, and promote sustainable agricultural practices.

Keywords: Forage, grasses, biotechnology

INTRODUCCIÓN

Las gramíneas son un grupo de plantas herbáceas y leñosas que pertenecen al orden de las poales, dentro de las monocotiledóneas. A nivel mundial se reconocen más de 702 géneros y 9,675 especies de gramíneas. En México, ocupan el tercer lugar en cuanto al número de especies, con la presencia de 11 subfamilias, 205 géneros y 1,216 especies registradas en el territorio nacional (Dávila *et al.*, 2018). La domesticación de las gramíneas inició hace miles de años, en particular para México data de hace 8000 años (Diamond 2012), el cual es un cultivo que a la fecha es esencial en la dieta diaria. Los cereales pertenecientes a esta familia, por sí mismos son

capaces de aportar entre el 70 y 80% de los requerimientos de hidratos de carbono al día, así mismo, aportan macro y micronutrientes, proteínas, fibra dietética, vitaminas y minerales (Poole *et al.*, 2020). En términos de producción agrícola, las gramíneas más importantes de México son el maíz, la avena, sorgo, triticale, cebada y caña de azúcar (SIAP, 2019).

En esta revisión, se examinan diversos artículos científicos acerca de los usos y la conveniencia del uso de la biotecnología en la producción del forraje.



1.1 Usos de las gramíneas

La utilidad principal de las gramíneas radica en su consumo tanto por humanos y animales; sin embargo, otras aplicaciones históricas han sido su implementación como estructuras de carga para viviendas, plantas de ornato y en décadas recientes se ha evaluado como sustrato para la producción de bioetanol, no obstante, es necesario que la materia prima a utilizar venga de residuos industriales y no sea el objeto principal de los cultivos, debido a que esto incrementa los precios y genera escasez (Santiago-Ortega *et al.*, 2016). Gramíneas como el maíz o la caña de azúcar tienen una fotosíntesis C_4 (es decir, es-

pecializadas para fijar el CO_2 en compuestos de cuatro carbonos) son óptimas para su empleo como sustrato para obtener bioetanol debido a su contenido de celulosa superior a 40%. En las gramíneas el componente que afecta negativamente su utilización como alimento o como sustrato para bioetanol es la lignina, la cual limita la disponibilidad de celulosa y hemicelulosa, los cuales requieren ser hidrolizados a azúcares fermentables (Ventura-Rios *et al.*, 2021). Por tanto, es necesario centrar la investigación en métodos que permitan reducir la cantidad de lignina presente en el material vegetal.

1.2 Usos de las gramíneas

El término general “forraje” se emplea cuando una planta o parte de una planta es utilizada como alimento para un animal, generalmente ganado, esto es debido a que sus componentes principales podrán ser digeridos por animales herbívoros y ruminantes que tienen la capacidad de degradar la pared celular vegetal en su tracto digestivo. En el país existe una alta demanda de productos provenientes del sector primario, esto conlleva a una necesidad constante de altos volúmenes de forraje en fresco, así como a una mejora en cuanto a la calidad de este (SIAP, 2018). En el caso específico del ganado rumiante y la búsqueda de satisfacer sus requerimientos, la incorporación de forraje en su dieta será necesario para estimular el desarrollo ruminal en terneros jóvenes, posteriormente la incorporación de forrajes a la dieta adulta permitirá mantener la salud y microbiota del rumen

(Suárez *et al.*, 2006). El valor nutricional se dará en función de que tanto de lo ingerido se convertirá en producto animal, esto dependerá de la cantidad de forraje proporcionado, los nutrientes de este, la eficiencia de los procesos digestivos en el animal, así como su producción metabólica y anabólica. Algunos indicadores de calidad como el contenido de proteína han sido establecidos, sin embargo, las fracciones de fibra vegetal son las principales determinantes de la digestibilidad (Goujon *et al.*, 2003).

1.3 ¿Calidad o cantidad?

La senescencia es un proceso natural de envejecimiento celular que no se limita únicamente a las plantas, pero en ellas implica cambios fisiológicos y bioquímicos que conducen al deterioro progresivo de los tejidos, especialmente en las hojas. Este proceso puede afectar negativamente la calidad del forraje, ya que reduce el contenido de nutrientes disponibles para el consumo animal. Permitir la senescencia en cultivos forrajeros limita la producción de biomasa y su valor nutricional. En pasturas la senescencia de las hojas y la composición morfológica, dependen principalmente del manejo agronómico (Villalobos & WingChin, 2019). La reducción en senescencia se puede lograr mediante manejos estratégicos que impliquen defoliaciones, estos permiten obtener un forraje de mejor composición, aunque en cantidad sea menor a lo que se obtendría de

dejarse crecer más tiempo. Algo muy importante al determinar la frecuencia de defoliación es considerar la capacidad de crecimiento de cada especie, pues cuanto mayor es la frecuencia de defoliación, menor es el tiempo de crecimiento de descanso que le permitirá a la planta generar biomasa, así mismo, entre mayor tiempo se permita a la especie crecer: la calidad del forraje obtenido decrece, debido al incremento porcentual de lignina del que se compone y va reduciendo la disponibilidad de los nutrientes (Carambula, 2007). Frecuencias de defoliación muy cortas podrían poner en riesgo la permanencia de la especie vegetal en cuestión, por lo que planear un balance entre tiempos de descanso que le permitan a las plantas crecer y posteriormente manejar pastoreos adecuados, resulta de importancia para que el producto ingerido tenga el

mayor valor nutricional y dé el mayor aporte animal posible. Otro factor que se considera determinante en la productividad y persistencia de los cultivos forrajeros es la intensidad de la cosecha, definida como la altura a la que se realiza el corte en relación con el nivel del suelo (Rouquette et al., 2023). Esta variable interactúa directamente con la frecuencia de corte, ya que ambos influyen en la capacidad de rebrote de la planta a partir de sus reservas de carbohidratos no estructurales almacenadas en los tallos y raíces. Una cosecha demasiado severa, especialmente si se combina con cortes frecuentes, puede agotar estas reservas, disminuir el vigor del rebrote y reducir el rendimiento a largo plazo (Fulkerson & Donaghy, 2001). Por lo tanto, encontrar un equilibrio adecuado entre frecuencia e intensidad de corte es clave para maximizar la productividad forrajera sin comprometer la salud de la planta.

BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LOS FORRAJES

El término biotecnología fue utilizado por primera vez en 1919 por el ingeniero agropecuario Károly Ereki, para referirse al proceso por el cual las materias primas podrían ser biológicamente transformadas en productos de gran utilidad para la sociedad (Ferrer & Moreno-Carranza, 2014). Una definición reciente es: "la biotecnología es la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de estos, para alterar materiales vivos o no vivos con el fin de producir conocimiento, bienes y servicios" (OCDE, 2009), en diferentes países como Australia, Canadá o Francia se acepta que conforma la aplicación de ciencia y tecnología para mejorar el bienestar humano (Dahms, 2006), sin embargo, abarca tantas áreas y aspectos que no debe ser restringida por ningún aspecto molecular, agronómico o fisiológico. Considerando esta definición, surge la interrogante: ¿cómo aplicar la biotecnología en la producción de forraje? "Una de las aplicaciones más conocidas de la biotecnología es la modificación genética de plantas para mejorar la calidad del material vegetal. No obstante, debido a la controversia social que aún persiste en torno a los cultivos transgénicos en algunos contextos, es relevante destacar que existen enfoques biotecnológicos más accesibles y menos polémicos, como la producción de cultivos orgánicos o el uso de bioinsumos. Estos métodos representan alternativas viables y eficaces para mejorar la productividad y calidad de los cultivos forrajeros sin recurrir necesariamente a la ingeniería genética. La agricultura orgánica involucra considerar los cultivos como sistemas integrales en los que se busca integrar la biodiversidad, los ciclos geoquímicos y la biología del suelo, así mismo, busca la integración de residuos que permitan promover y mejorar la salud de los cultivos (Calvo et al., 2014). Los abonos orgánicos como la composta, la vermicomposta y sus lixiviados, el digestato y los estiércoles son enmiendas agrícolas



que mejoran la fertilidad del suelo y promueven un desarrollo vegetal saludable. La composta y la vermicomposta aportan materia orgánica estable, nutrientes esenciales y una comunidad microbiana activa que mejora la estructura del suelo y estimula el crecimiento de las raíces (Lazcano & Domínguez, 2011). Los lixiviados y el digestato, productos líquidos derivados del tratamiento de residuos orgánicos, contienen ácidos húmicos, microorganismos beneficiosos y nutrientes fácilmente asimilables por las plantas, lo que incrementa el rendimiento y fortalece la resistencia frente a patógenos (Albuquerque et al., 2012; Möller & Müller, 2012). Estos insumos, además de ser sostenibles, permiten reducir el uso de fertilizantes químicos, mejorar la salud del suelo y aumentar la producción de materia seca en cultivos forrajeros. El poder obtener estos productos no solo le conllevaría a los productores un ahorro en los insumos comprados, también, en el caso del compostaje o vermicompostaje permitiría incluso reducir la cantidad de desechos de los cuales sea necesario deshacerse y aunque, se deba considerar la mano de obra para atender los procesos de obtención de estos productos biotecnológicos, los rendimientos pueden ser considerablemente mayores.

1.4 Estudios aplicados

Investigaciones han demostrado que con la simple aplicación de composta a un cultivo de pasto ovillo les permitió obtener rendimientos 30% mayores en un periodo de 7 semanas a comparación de la ausencia de fertilizante (Aguilar-Benítez *et al.*, 2020). En otros estudios se han visto incrementos en rendimiento de 41% a comparación de su testigo con la adición de té de composta en cultivos de maíz forrajero e incluso encontraron que el material obtenido tenía una mayor capacidad antioxidante (Salas-Pérez *et al.*, 2018). Resultados similares en maíces forrajeros han verificado esto, encontrando que el añadir vermicomposta aumentó la producción de materia seca en un 71%, y cuando esta se cambiaba por composta el incremento era aproximadamente 55% superior a los testigos, pero también eran mayores a la fertilización química hasta por 15% (Fortis-Hernández *et al.*, 2009). En otra investigación donde se evaluó el efecto de la aplicación de fertilizante a través de largos periodos de tiempo, se realizaron aplicaciones de digestato líqui-

do en pasto ovillo durante 5 años, los resultados indicaron que aplicar digestato en al menos una concentración de 90 kg de nitrógeno por hectárea incrementó en al menos un 72% la materia seca cosechada durante su tiempo de evaluación en comparación al testigo, así mismo, se registró que su aplicación daba un incremento en los contenidos de nitrógeno y fósforo que medidos en el material vegetal obtenido en cada corte (Tilvikiene *et al.*, (2017). Otros estudios no solo encuentran que la aplicación de estos productos incrementa el rendimiento, también buscan analizar el efecto que tienen en el suelo a largo plazo y confirman un aumento en la cantidad de nitrógeno disponible, un efecto amortiguador en el pH y aumentos en la conductividad eléctrica (González-Salas *et al.*, 2018). El aumento de los rendimientos al aplicar estos productos biotecnológicos se explica porque no sólo conservan la humedad por periodos de tiempo mayores, además son una fuente de nutrientes a través de todo el ciclo productivo. Además de esto habría una actividad microbiológica constantemente en el periodo biodegradando materia y liberando iones para las plantas. En cuanto al contenido de lignina en las gramíneas, estudios (Johnson *et*



al., 2001) ya han demostrado efectivamente que la defoliación a intervalos menores da como resultado menores contenidos de lignina. En cuanto al efecto de las fertilizaciones en la pared celular las investigaciones no son concluyentes, sin embargo, hay trabajos que encuentran una reducción en el contenido de lignina cuando hay una fertilización con nitrógeno (Oleszek & Matyka 2017), aunque, otros estudios no encuentran diferencias estadísticas significativas en sus evaluaciones, por lo que es un área de investigación prometedora (Recep & Veyis, 2019).

Por último, en cuanto a estudios que analicen exclusivamente el efecto sobre el suelo, se ha encontrado que el añadir composta en cantidades de 40 t ha⁻¹ al suelo, fueron capaces de incrementar la porosidad, así como la conductividad eléctrica, se incrementaron los niveles de materia orgánica, intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases, con incrementos ligeros de los iones K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ y Zn²⁺ (Hernández *et al.*, 2017).

Otras investigaciones, han demostrado que la implementación de estos productos en el suelo no solo es capaz de mejorar el rendimiento de los cultivos, también son poderosas alternativas a tener en cuenta para suelos que necesiten ser restaurados o rehabilitados por malas prácticas de cultivo o manejo, pues su incorporación puede restablecer los niveles de carbono orgánico mediante la fijación de materia orgánica y posibilitando el establecimiento de una cubierta vegetal estable, aumentando la biodisponibilidad de los macro y microelementos, así como los elementos traza (Hernández *et al.*, 2014).

2

CONCLUSIONES

Los productos biotecnológicos aplicados al área agrícola son una oportunidad de investigación muy prometedora para el rendimiento de los cultivos forrajeros, se vuelven una alternativa para el manejo de residuos y son opciones accesibles que permiten a los productores tener ciclos productivos más amigables con el ambiente y la aceptación social, por lo tanto se debe fomentar la investigación que involucre su aplicación y evaluación en diferentes condiciones y de diversas especies se vuelven de suma importancia para la alimentación y demanda de productos derivados de los forrajes en el país.



3

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado a través del proyecto 20220605, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada No. 889355

REFERENCIAS

- Aguilar-Benítez G, Solís M, Castro-Rivera R, López-Gayou V, Lara-Ávila J, Esteves-Luna M (2020). Efecto de bacterias PGPB, composta y digestato en el rendimiento de materia seca de pasto ovollo. *Rev Mex Cienc Agríc* 24:118-127. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2363>
- Alburquerque JA, de la Fuente C, Bernal MP (2012). Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils. *Agric Ecosyst Environ* 160:15-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.007>
- Calvo P, Nelson L, Kloepper JW (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383(1-2):3-41.
- Carambula M (2007). Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. 186 pp.
- Dahms AS (2004). Biotechnology: What it is, what it is not, and the challenges in reaching a national or global consensus. *Biochem Mol Biol Educ* 32:271-278.
- Dávila P, Mejía-Saulés MT, Soriano-Martínez AM, Herrera-Arrieta Y (2018). Conocimiento taxonómico de la familia Poaceae en México. *Bot Sci* 96(3):462-514.
- Diamond J (2012). The local origins of domestication. In: Gepts P, Famula TR, Bettinger RL, Brush SB, Damania AB, McGuire PE, Qalset CO (Eds) *Biodiversity in Agriculture: Domestication, evolution, and sustainability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ellis NR, Moore LA, Hein MA (1948). Forage for livestock: plus and minus: an overall view. In: *Grass the yearbook of agriculture*. United States Department of Agriculture, Government Printing Office, Washington, DC. pp 75-80.
- Ferrer Ríos MG, Moreno-Carranza B (2014). Los grandes apellidos de la biotecnología. *Encuentros Multidisciplinares* 47:1-10.
- Fortis-Hernández M, Leos-Rodríguez J, Preciado-Rangel P, Orona-Castillo I, García-Salazar J, García-Hernández J, Orozco-Vidal J (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Rev Mex Cienc Agríc* 27:329-336.
- Fulkerson WJ, Donaghy DJ (2001). Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence—key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. *Aust J Exp Agric* 41(2):261-275
- González-Salas U, Gallegos-Robles MA, Vázquez-Vázquez C, García-Hernández JL, Fortis-Hernández M, Mendoza-Retana SS (2018). Productividad de genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica y propiedades físico-químicas del suelo. *Rev Mex Cienc Agríc* 9(spe20):4331-4341.
- Goujon T, Sibout R, Eudes A, MacKay J, Jouanin L (2003). Genes involved in the biosynthesis of lignin precursors in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol Biochem* 41:677-687.
- Hernández OB, Sánchez-Hernández ROC, López-Noverola UEB, Pérez-Méndez MA (2017). Uso de compostas para mejorar la fertilidad de un suelo Luvisol de ladera. *Rev Mex Cienc Agríc* 8(6):1273-1285.
- Hernández T, García C, Ingelmo F, Bernal M, Clemente R, Cabrera F, Madejón E, Cabrera A, Cox L (2014). Residuos orgánicos en la restauración/rehabilitación de suelos degradados y contaminados. De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. III. Recursos orgánicos: Aspectos agronómicos y medioambientales.
- Johnson CR, Reiling BA, Mislevy P, Hall MB (2001). Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions of tropical grasses. *J Anim Sci* 79(9):2439-2448.
- Lazcano C, Domínguez J (2011). The use of vermicompost in sustainable agriculture: Impact on plant growth and soil fertility. In: *Soil nutrients*. Nova Science Publishers, pp 1-23.
- Möller K, Müller T (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng Life Sci* 12(3):242-257. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>
- Oleszek M, Matyka M (2017). Nitrogen fertilization level and cutting affected lignocellulosic crops properties important for biogas production. *Bioresources*.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2009). *The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda*. OECD Publishing.
- Poole N, Donovan J, Erenstein O (2020). Investigación en agronomía: reevaluando la contribución del maíz y el trigo a la nutrición y la salud humanas. *Food Policy* 16:101976. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101976>
- Recep IN, Veyis T (2019). Influences of nitrogen fertilization and harvest time on combustion quality of four perennial grasses in a semi-arid Mediterranean climate. *Ind Crops Prod* 128:239-247.
- Rouquette FM Jr, Sollenberger LE, Vendramini JMB (2023). Grazing management and stocking strategy decisions for pasture-based beef systems: experimental confirmation vs. testimonials and perceptions. *Transl Anim Sci*. 2023 Jun 28;7(1).
- Salas-Pérez L, Borroel-García VJ, Ramírez-Aragón MG, Moncayo-Luján MR (2018). Efecto de la adición de ácido ascórbico y té de composta en la producción y capacidad antioxidante de forraje hidropónico de maíz. *Nova Scientia* 10(20):47-63.
- Santiago-Ortega MA, Honorato-Salazar JA, Quero-Carrillo AR, Hernández-Garay A, López-Castañeda C, López-Guerrero I (2016). Biomasa de *Urochloa brizantha* cv. Toledo como materia prima para la producción de bioetanol. *Agrociencia* 50(6):711-726.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019).
- Suárez BJ, Van-Reenen CG, Stockhofe N, Dijkstra J, Gerrits WJJ (2007). Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves. *J Dairy Sci* 90(5):2390-2403.
- Tilvikienė V, Šlepetienė A, Kadžiulienė Ž (2017). Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Grass Forage Sci* 73(1):206-217.
- Ventura-Ríos J, Santiago-Ortega MA, Maldonado-Peralta MA, Álvarez-Vázquez P, Maldonado-Peralta R, Barrera-Martínez I, Wilson-García CY (2021). Biomasa de *Urochloa humidicola* como materia prima para producir biocombustible. *Rev Fitotec Mex*.
- Villalobos-Villalobos LA, WingChing-Jones R (2019). Remoción mecánica del material senescente para la recuperación de pasturas. *Agron Mesoam* 30(3):821-840. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.36625>