

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EFEECTO DE ABONOS ORGÁNICOS FOLIARES EN AVENA FORRAJERA
VARIEDAD CUAUHTÉMOC

TESIS DE MAESTRIA

AARON DAVID LUGO PALACIOS

GÓMEZ PALACIO, DGO.

JULIO DE 2023

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO

FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EFFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS FOLIARES EN AVENA FORRAJERA
VARIEDAD CUAUHTÉMOC

TESIS DE MAESTRIA

AARON DAVID LUGO PALACIOS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN AGRICULTURA ORGÁNICA SUSTENTABLE

GÓMEZ PALACIO, DGO.

JULIO DE 2023

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POSGRADO

Julio de 2023

La tesis “EFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS FOLIARES EN AVENA FORRAJERA VARIEDAD CUAUHTÉMOC” presentada por: AARON DAVID LUGO PALACIOS para obtener el grado académico de: MAESTRO EN AGRICULTURA ORGANICA SUSTENTABLE ha sido aprobada por el Comité Particular Revisor de Tesis.

El Comité Particular Revisor de Tesis

Director



MIGUEL ÁNGEL GALLEGOS ROBLES Dr.

Asesor



ULISES NOEL GUTIERREZ GUZMAN Dr.

Asesor



EDMUNDO CASTELLANOS PEREZ Ph.D.

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POSGRADO

Julio de 2023

La tesis “EFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS FOLIARES EN AVENA FORRAJERA VARIEDAD CUAUHTÉMOC” presentada por: AARON DAVID LUGO PALACIOS para obtener el grado académico de: MAESTRO EN AGRICULTURA ORGANICA SUSTENTABLE ha sido aprobada por el Comité Particular Revisor de Tesis.

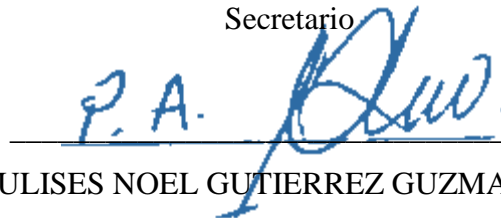
El Comité Particular Revisor de Tesis

Presidente



MIGUEL ÁNGEL GALLEGOS ROBLES Dr.

Secretario



ULISES NOEL GUTIERREZ GUZMAN Dr.

Vocal



EDMUNDO CASTELLANOS PEREZ Ph.D.

AGRADECIMIENTOS

A mí, por persistir, dedicarme y mejorar continuamente. Por confiar en mis ideales y principios. Reafirmando mi compromiso conmigo mismo para seguir cumpliendo mis objetivos.

A mi padre Raúl por motivarme a seguir superándome, mi madre Minerva por estar siempre ahí hacer más ligera la vida, mis hermanos, compañeros de vida y amigos; Raúl, Oscar y Sebastian, Por y para ustedes.

Al PhD. Edmundo, por la confianza.

Al Dr. Miguel Ángel y al Dr. Ulises Noel por su acompañamiento durante este camino.

Al Ing. Jesús Venegas y al laboratorista David Carrillo por el tiempo y apoyo, fueron fundamentales en este trabajo. Son parte de.

A la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED; con atención especial al cuerpo académico de posgrado.

DEDICATORIAS

A mi padre Raúl Lugo Ruiz, por inculcarme el deseo de seguir adelante y aspirar a más.

A mi madre Minerva Palacios Campos, por orientar con valores hacia el bien.

A ambos les debo todo, gracias a ustedes he crecido como un hombre de bien siempre priorizando los valores y principios dados, además de la capacidad otorgada de crear mis propias ideas.

A Raúl, compañero y hermano de estudios, excelente experiencia está contigo.

A Oscar y Sebastian, hermanos que motivan a ser un buen ejemplo como mayor. Sé que igual aspiran a seguir adelante, logran eso y más.

Al PhD. Edmundo.

INDICE

INDICE	vii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS.....	3
III REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 El cultivo de la avena	4
3.1.1. Clasificación taxonómica.....	4
3.1.2. Generalidades.....	5
3.1.3. Descripción del cultivo	5
3.1.4. Requerimientos climáticos y edáficos.....	7
3.1.5 Manejo del cultivo.....	8
3.1.6 Avena forrajera en México.....	9
3.2. Degradación del suelo y pérdida de nutrientes:	12
3.2.1 Daño colateral de fertilizantes sintéticos.....	12
3.3 Abonos orgánicos.....	14
3.3.1 Importancia de abonos orgánicos.....	14
3.3.2 Supermagro	15
3.3.2 Biofish	15
3.4 Agenda 2030 y relación con la producción sustentable de alimentos.....	16
3.4.1 Impacto social de producción sustentable de alimentos.	16
3.4.2. Impacto ambiental de producción sustentable de alimentos.	16
3.4.3 Industria ganadera y sustentabilidad	18
3.4. Aplicación de nutrientes por vía foliar.....	19

3.4.1 Implicación de la fertilización foliar en la sustentabilidad.	19
3.4.2 Antecedentes de fertilización foliar.	20
3.4.3. Proceso de absorción de nutrientes vía foliar.....	21
3.4.4. Movilidad de nutrientes en el floema.....	25
3.4.5. Efectividad de fertilización foliar.....	27
3.5 Calidad de los forrajes.....	30
3.5.1 Importancia de determinar calidad.....	30
3.5.2 Hemicelulosa, celulosa y lignina.....	34
3.5.3 Hemicelulosa.....	34
3.5.4 Pectina.....	36
3.5.5 Celulosa.....	37
3.5.6 Lignina.....	38
3.5.7 Ceniza.....	38
3.5.8 Materia seca digestible.....	39
3.6 Justificación de línea de investigación.....	39
3.6.1 Prioridad de investigación.....	39
IV MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
4.1 Ubicación geográfica y características de la región laguna.	41
4.2 Ubicación del área experimental.....	41
4.3 Manejo del cultivo.....	42
4.4 Aplicación de tratamientos.....	44
4.5 Análisis de abonos orgánicos.....	46
4.6 Diseño experimental.....	47
4.7 Análisis de suelo.....	49
4.8 Variables evaluadas.....	51
4.8.1 Manejo de datos de variables evaluadas.....	51
4.8.2 Rendimiento.....	52
4.8.3 Calidad del forraje.....	52
4.9 Modelo estadístico.....	53

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
VI CONCLUSIONES	76
VII LITERATURA CITADA.....	77

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimiento mineral de avena según Kelling y Fixen (1992) para meta productiva de MS de 5000 kg ha ⁻¹ , 7500 kg ha ⁻¹ y 10000 kg ha ⁻¹ en Wisconsin y Georgia, Estados Unidos de Norteamérica.	7
Cuadro 2. Clasificación de los nutrientes acorde a movilidad en el floema (Epstein y Bloom, 2005).	26
Cuadro 3. Clasificación de compuestos en los forrajes acorde a contenido y pared celular (Van Soest, 1967).	30
Cuadro 4. Rango de valores de FDN, FDA, PC y LDA en % por grupos de forrajes (Lee, 2018).	33
Cuadro 5. Composición típica en % de fibras en órganos de monocotiledóneas (Gong et al., 1981).}	34
Cuadro 6. Hemicelulosas presentes en pared celular I y II en gramíneas (Scheller Y Ulvskov, 2010).	36
Cuadro 7. Media de minerales en % de ceniza total presentes en forrajes (Vassilev et al., 2013).	38
Cuadro 8. Fechas y número de riegos de avena variedad Cuauhtémoc en Facultad de agricultura y zootecnia para ciclo uno 2021-2022 y ciclo dos 2022-2023.	42
Cuadro 9. Tratamientos del estudio para ciclo uno 2021-2022 y ciclo dos 2022-2023.	45
Cuadro 10. Condiciones ambientales medias de aplicación de abonos orgánicos foliares.	45
Cuadro 11. Análisis de composta: SUPERMAGRO. Realizado en Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición FERTILAB en Celaya, Guanajuato.	46
Cuadro 12. Análisis de composta: BIOFISH. Realizado en Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición FERTILAB en Celaya, Guanajuato.	47
Cuadro 13. Distribución experimental del ciclo 2021-2022. Identificación de tratamientos por bloque.	48
Cuadro 14. Distribución experimental del ciclo 2022-2023. Identificación de tratamientos.	48
Cuadro 15. Propiedades y características físicas del suelo.	50
Cuadro 16. Diagnóstico de fertilidad por muestra compuesta.	50
Cuadro 17. Análisis de salinidad: cationes y aniones solubles.	51
Cuadro 18. Resultados para ciclo uno, noviembre 2021 - marzo 2022 con Supermagro.	55
Cuadro 19. Resultados para ciclo uno, noviembre 2021 - marzo 2022 con Biofish.	56
Cuadro 20. Resultados para ciclo dos, septiembre 2022 - marzo 2023 con Supermagro.	57
Cuadro 21. Resultados para ciclo dos, septiembre 2022 - marzo 2023 con Biofish.	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento economico del cultivo de avena en el estado de Coahuila durante el period 1980-2020. Elaboracion propia con datos de SIACON (2022).	10
Figura 2. Superficie cosechada (ha) de avena forrajera por tipo en el estado de Durango, 1980-2020. Azul: en verde, rojo: seca y verde: achicalada. Elaboración propia creada con datos del SIACON (2022).	11
Figura 3. Superficie cosechada en ciclo otoño-invierno en la región laguna de cultivos totales y representación de avena. Elaboración propia con datos de SADER (2022).	12
Figura 4. Porcentaje de valor de producción de cultivos forrajeros en producción orgánica. Elaboración propia creada con datos del SIACON (2022).	19
Figura 5. Representación generalizada de lámina foliar. Imagen de (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).	22
Figura 6. Rutas de absorción por cutícula (Ashton y Crafts, 1981).	22
Figura 7. Ruta de absorción a través de la cutícula dependiendo de la naturaleza de la sustancia (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).	23
Figura 8. Proceso de absorcion via estomatica (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).	23
Figura 9. Ruta de penetración via estodesmos (Wójcik, 2004).	24
Figura 10. Flujo de solutos en base a la concentración (izquierda). Modelo de funcionamiento propuesto (derecha) (Coll et al., 2019).	27
Figura 11. Comparación de componentes que constituyen los métodos de análisis de Weende y Van Soest (Weinrich et al., 2018).	31
Figura 12. Modelo estructural de pared celular de angiospermas (Brett y Waldron, 1996).	32
Figura 13. Síntesis de hemicelulosa y pectina (Tenhaken y Thulke, 1996).	35
Figura 14. Síntesis de celulosa y sitios de interacción (Delmer y Amor, 1995).	37
Figura 15. Señalador del área de estudio dentro de las instalaciones de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Imagen extraída de Google earth.	41
Figura 16. Unidades calor para ciclo uno de avena, noviembre 2021 - marzo 2022.	43
Figura 17. Unidades calor para ciclo dos de avena, septiembre 2022 - marzo 2023.	44
Figura 18. Plano del predio y puntos de muestreo del suelo para análisis fisicoquímico.	49
Figura 19. Producción de materia verde (kg/m^2) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	59
Figura 20. Producción de materia seca (kg/m^2) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	59
Figura 21. Producción de ceniza (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	59
Figura 22. Producción de FDN (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	60

Figura 23. Producción de FDA (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	60
Figura 24. Producción de HC (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	60
Figura 25. Producción de MSD (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.	61
Figura 26. Producción de materia verde (kg/m ²) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	61
Figura 27. Producción de materia seca (kg/m ²) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	62
Figura 28. Producción de ceniza (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	62
Figura 29. Producción de FDN (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	62
Figura 30. Producción de FDA (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	63
Figura 31. Producción de HC (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	63
Figura 32. Producción de MSD (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.	63

RESUMEN

Durante el ciclo otoño-invierno 2021-2022 y 2022-2023 se sembró avena variedad Cuauhtémoc. El objetivo fue determinar la respuesta de la avena a abonos orgánicos foliares Supermagro y Biofish, esto en variables de rendimiento y calidad bromatológica. El presente trabajo se desarrolló en el campo experimental de la Facultad de agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango en ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango. Se empleó un diseño bloques al azar para el ciclo uno 2021-2022, mientras el ciclo dos 2022-2023 un diseño completamente al azar. Se utilizaron cinco tratamientos: T1 = Supermagro 150 cm³ L, T2 = Supermagro 300 cm³ L, T3 = Biofish 150 cm³ L, T4 = Biofish 300 cm³ L y T5 = testigo. La frecuencia de aplicación de los tratamientos fue de nueve días para ambos ciclos. En el ciclo uno hubo significancia para la variable FDA y MSD en Supermagro, Biofish no presentó diferencia. Para el ciclo dos se obtuvieron diferencias estadísticas para PV, MS, FDN, FDA y MSD con tendencia lineal para Supermagro. Además, el Biofish presentó tendencia lineal de igual forma para PV, MS y FDN.

Palabras claves: Avena, Rendimiento, Calidad, Abonos orgánicos foliares, Supermagro, Biofish, tendencia lineal.

ABSTRACT

Oats of the Cuauhtémoc variety were planted during the fall-winter 2021-2022 and 2022-2023 cycles. The objective was to determine the response of oats to Supermagro and Biofish foliar organic fertilizers, in terms of yield and bromatological quality variables. The present work was carried out in the experimental field of the Faculty of Agriculture and Zootechnics of the Universidad Juárez del Estado de Durango in Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango. A randomized block design was used for cycle one 2021-2022, while for cycle two 2022-2023 a completely randomized design was used. Five treatments were used: T1 = Supermagro 150 cm³ L, T2 = Supermagro 300 cm³ L, T3 = Biofish 150 cm³ L, T4 = Biofish 300 cm³ L and T5 = control. The frequency of application of the treatments was nine days for both cycles. In cycle one there was significance for the variable FDA and MSD in Supermagro, Biofish showed no difference. For cycle two, statistical differences were obtained for GY, DM, NDF, ADF and DDM with a linear trend for Supermagro. In addition, Biofish showed the same linear trend for GY, DM and NDF.

Key words: Oats, Yield, Quality, Organic Foliar Fertilizers, Supermagro, Biofish, linear trend.

INTRODUCCIÓN

La industria pecuaria demanda insumos para abastecer su cadena de suministro, los alimentos que de esta emanan son indispensables. Forrajes y leguminosas son requeridas para satisfacer la demanda nutricional en calidad y cantidad. Esta industria representa 24% del PIB agropecuario nacional (SADER, 2022), para el año 2020 los forrajes abarcaron el 14% de la superficie cosechada y el 6% del valor de la producción nacional de cultivos (SIACON, 2022). La avena es el forraje más importante de invierno (Dangi, 2021), en la región laguna ha abarcado alrededor del 85% de la superficie cosechada en dicho ciclo (SADER, 2022).

La nutrición de los cultivos empleados como alimento en el sector lácteo representa el 30% de los costos de producción de la cadena leche, además emiten hasta el 50% de los gases de efecto invernadero (Quintero-Herrera et al., 2022). Por lo tanto, eficientizar esta actividad es importante ante la necesidad de los consumidores por adquirir productos sustentables (Wojciechowska-Solis y Barska, 2021). El mundo en general requiere de mejoras en prácticas comúnmente aceptadas que ocasionan deterioro ambiental (Ochoa-Noriega et al., 2021). Así surge la agricultura orgánica al dar cumplimiento a las necesidades del consumidor actual que busca bienestar animal y sustentabilidad (Scozzafava et al., 2020). Este sistema da valor agregado al producto, se puede colocar en mercados de mayor poder adquisitivo que derivan en mayor rentabilidad económica y calidad nutricional del producto final (Cintra et al., 2018).

El trabajar el suelo de forma activa y continua es necesario para satisfacer la demanda nutricional de los cultivos, además es posible emplear nutrientes vía foliar que tienen resultados eficientes en tiempo. Esta práctica aventaja en mayor producción económica

ya que evita pérdidas por filtración y dispone los nutrientes directamente a la planta (Fernández et al., 2015). En el caso de los forrajes, se determinó que aplicar uno o más micronutrientes influyó en aumento del 7-19% más de materia seca. En proteína cruda 1.9-11% y 8-17% en digestibilidad (Adnan et al., 2020; Iqbal et al., 2019). Mientras tanto, el abono foliar orgánico Panchagavya junto a BPCV redujo la necesidad de aplicar el 25% de fertilizante sintético y otorgó mayor rendimiento en verde (Kumar et al., 2022). El Supermagro y el Biofish cuentan con antecedentes satisfactorios, en la literatura se reportan incrementos de biomasa en lechuga, café, pimiento y sandía. Se han analizado a dosis de 4%, 12%, 20% y 30% (Araujo et al., 2008; Bonillo et al., 2015; González et al., 2015; Oliveira et al., 2014). Al aplicar los fertilizantes Biofish y Supermagro de forma individual a la avena debe haber mayor producción en la avena que cuando no se aplican estos fertilizantes. Es posible que la dosis intermedia tenga efecto en mayor producción que la mayor dosis, lo que indica que se llega a la dosis óptima bajo las condiciones que fue sembrada la avena. Sin embargo si la mayor producción es con la dosis más alta, indica que aún es posible aumentar las cantidades de dosis del fertilizante.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de abonos orgánicos foliares en el rendimiento y calidad de la avena forrajera variedad Cuauhtémoc.

Objetivos específicos

1. Estimar el efecto de los abonos orgánicos foliares Supermagro y Biofish en el rendimiento de avena.
2. Determinar calidad bromatológica de la avena derivado de los abonos orgánicos foliares Biofish y Supermagro.

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El cultivo de la avena

3.1.1. Clasificación taxonómica.

La avena (*Avena sativa*) es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas, de acuerdo a Parodi, (1939) la taxonomía es:

Dominio: Eukarya.

Reino: Plantae.

División: Tracheophyta

Subdivisión: Pteropsida

Clase: Angiosperma

Subclase: Monocotiledónea

Orden: Graminales

Familia: Gramíneas

Tribu: Aveneae

Género: *Avena*

Especie: *Avena sativa* L.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha liberado diferentes variedades para las variadas regiones agroclimáticas del país, entre ellas la variedad Cuauhtémoc. La avena sativa variedad Cuauhtémoc se eligió para este trabajo de investigación, siendo liberada en 1967 (Villaseñor et al., 2021).

3.1.2. Generalidades.

La avena tiene origen en Asia (INIFAP, 2012), tiende a medir un metro de altura (Cecchini y Ticli, 2016), cuenta con raíces amplias y profundas, posee un tallo grueso y recto, hojas planas alargadas y suele adaptarse a variedad de condiciones como: suelos, altitudes y precipitaciones (Ikram y Rehman, 2020). Es ideal para climas fríos, requiere bajas temperatura para lograr una adecuada floración, es consecuencia de la inhibición del gen flowering Locus C (Madrid et al., 2021). Es el forraje de invierno que mayor cantidad de agua necesita, se calcula que se requieren alrededor de 2,400 litros de agua para producir un kilogramo de esta (Ikram y Rehman, 2020). Ello es consecuencia de su alto coeficiente de transpiración (SAGARPA, 2017). Las principales plagas que azotan este cultivo son los pulgones del follaje, espiga y cogollo. Estos deben ser tratados cuando se encuentren de 5 a 10 pulgones por espiga o bien, 10 pulgones por planta antes del espigamiento (INIFAP, 2009).

3.1.3. Descripción del cultivo

Raíz. Tiene raíces con mayor abundancia y profundidad en comparación con otros cereales, cualidad que otorga mejor absorción de nutrientes disponibles en el suelo y en consecuencia requiere menos fertilizantes (SAGARPA, 2017). Llega a penetrar en el suelo hasta 50 cm (Martínez, 2005).

Tallo. Posee tallos gruesos y rectos. Llegan a medir entre medio metro o hasta un metro con 80 cm (Martínez, 2005). En los tallos se forman entrenudos donde nacen las hojas (SAGARPA, 2017).

Hoja. Éstas son planas y alargadas. Son ásperas al tacto, presentan un ancho de entre 15-25 mm y 20-40 cm de longitud dependiendo de la variedad (Martínez, 2005).

Flor. Estas se alojan en las espigas, generalmente cuenta con dos o más flores basales. Son fértiles, poseen ovarios y tres estambres (Martínez, 2005).

Semilla. La semilla está resguardada en un cariósipide, cuenta con una estructura denominada pericarpio que es la fusión de las paredes del ovario y se presenta unido a la semilla. La semilla está compuesta por el endospermo y el embrión. Físicamente, las semillas son alargadas, pueden ser oblongas o cilíndricas. Su color varía desde un tono blanco hasta amarillo, aunque también hay variedades que presentan colores que varían del violeta al negro (Martínez, 2005).

Fenología del cultivo. El desarrollo del cultivo abarca tres etapas: vegetativa, reproductiva y semillazón. Estas etapas se distinguen por los cambios en las características morfológicas.

Etapa vegetativa. Se inicia el desarrollo del tallo principal, hojas y macollos, también se genera el desarrollo del sistema radicular permanente; el tallo principal y los macollos permanecen cortos y alrededor de la base de la planta; no ocurre alargamiento en los entrenudos (Rebuffo, 1998).

Etapa reproductiva. Los tallos y macollos se alargan. La venida de la floración se detecta al apreciar el alargamiento de 3 a 5 entrenudos superiores del tallo precediendo a la inflorescencia (Rebuffo, 1998).

Semillazón. Esta es la última etapa del cultivo, inicia con la polinización y termina con la maduración de la semilla (Rebuffo, 1998).

3.1.4. Requerimientos climáticos y edáficos

La duración del cultivo es determinada por las condiciones climáticas del lugar a cultivar, incluyendo las características físicas, químicas y biológicas del suelo, el manejo agronómico, que comprende desde tipo de riego, variedad utilizada y demás prácticas.

Clima. La avena está bien adaptada para climas fríos, en temperaturas de verano es afectada por el calor. Ocasiona aceleración en el desarrollo y no se concreta el llenado de grano (Martínez, 2005).

Suelo. Se desarrolla bien en suelos bien drenados y con la fertilidad que requiere. Suelos con drenado pobre causan enfermedades como la roya (Martínez, 2005).

Minerales. Los minerales que demanda según la literatura son varios, en el Cuadro 1 se aprecian las cantidades necesarias en kg para producción meta de MS según Kelling y Fixen (1992). Si bien la demanda mineral varía dependiendo de la zona, es el trabajo más completo que se encontró como parte de la revisión de literatura de esta tesis.

Cuadro 1. Requerimiento mineral de avena según Kelling y Fixen (1992) para meta productiva de MS de 5000 kg ha⁻¹, 7500 kg ha⁻¹ y 10000 kg ha⁻¹ en Wisconsin y Georgia, Estados Unidos de Norteamérica.

Mineral	5000 kg ha ⁻¹	7500 kg ha ⁻¹	10000 kg ha ⁻¹
N	45.66	68.49	91.32
P	9.04	13.57	18.09
K	46.99	70.49	93.98
Ca	6.03	9.05	12.07
Mg	6.46	9.69	12.93
Fe	0.460	0.691	0.921
Cu	0.034	0.051	0.068
Zn	0.202	0.303	0.405
Mn	0.146	0.219	0.293
S	8.18	12.28	16.37

3.1.5 Manejo del cultivo

Se sugiere realizar un análisis físico-químico previamente al asentamiento de la avena. Esto mostrara los niveles de nutrientes existentes para así determinar las necesidades reales del predio acorde al cultivo.

Preparación del terreno. Se recomienda realizar barbecho con profundidad de 30 cm, además de nivelación con pendiente de 5 a 10 cm en 100 metros.

Siembra. Esta se lleva a cabo en seco y al voleo. La densidad ronda entre 100-120 kg/ha-1 de semilla (INIFAP, 2012).

Riegos. La SAGARPA (2017) recomienda realizar cinco riegos distribuidos a la siembra, emergencia, amacolle, floración y en llenado de grano. El INIFAP (2009) indica también cinco riegos distribuidos: la pre siembra, amacollamiento, encañembuche, floración y formación de grano.

Fertilización. La dosis recomendada por el INIFAP (2009) es 120 unidades de nitrógeno y 60 de fosforo.

Control de maleza. Se indica aplicar herbicida cuando la planta está amacollando, se sugiere Amina a dosis de 1.5 l/ha-1 (INIFAP, 2009).

Control de plagas. Como se mencionó previamente, las plagas que comúnmente se presentan son los pulgones en el follaje, cogollo y espiga. Además se recomienda aplicaciones de productos comerciales que deben de utilizarse cuando se encuentren 10 pulgones por planta antes del espigamiento, o de 5 a 10 pulgones por espiga (INIFAP, 2009).

Cosecha. Dependiendo de la meta productiva del agricultor. Sin embargo un estudio determino que en la etapa de madurez fisiológica de grano se logra mayor rendimiento, disminuye el contenido de FDN y FDA lo cual aumenta la digestibilidad. Sin embargo disminuye la cantidad de proteína (Ramírez-Ordóñez et al., 2013).

3.1.6 Avena forrajera en México

Se estima que los cultivos para alimentación de ganado representan el 26% de la superficie terrestre y el 70% de la superficie agrícola según la FAO (2019), estos son gramíneas o leguminosas herbáceas. Dichos cultivos son altamente importantes para la economía. En México, la trascendencia de este grupo de cultivos radica en la magnitud que comprende la industria lechera, tan solo en el año 2020 apporto el 24% del PIB agropecuario (SADER, 2022). Para el año 2020 el grupo de forrajes abarco el 14% de la superficie cosechada en todo el país y el 6% del valor de la producción nacional de cultivos (SIACON, 2022).

Los cultivos forrajeros más importantes en el país por aporte económico: son pastos y praderas, alfalfa, sorgo, maíz y avena con el 21, 16, 16, 9 y 4% respectivamente (SIACON, 2022).

La avena forrajera es importante para la industria pecuaria en el país. Muestra de ello es que representa el 9.27% del total de producción de forrajes, ocupando el puesto número cuatro (SAGARPA, 2017). En contraste, datos del SIACON (2022) contemplando el periodo entre 1980-2020, dicho cultivo representa el 7% de la producción de forraje, solo por detrás de pastos y praderas, alfalfa forrajera en verde y maíz forrajero en verde con el 49.7, 18.19 y 14.37%. En superficie, abarca el 10.81% del

área dada para este tipo de cultivos, ocupa el tercer puesto en cuanto a área cubierta, aventajado por pastos y praderas y sorgo grano con 44.96 y 23.94% correspondientemente.

A nivel nacional, la avena representa históricamente el 5.96% del PIB Agrícola por grupo natural de forrajes, solo por debajo de pastos y praderas con el 31.54%, sorgo grano 21.12, alfalfa verde 14.43, maíz forrajero en verde 13.55 y alfalfa achicalada 9.76 (SADER, 2022).

Avena forrajera en Coahuila de Zaragoza. Este forraje abarca alrededor del 11% de la superficie cosechada, así como derrama el 10% del ingreso en el estado de Coahuila de Zaragoza, ambas porcentajes dentro de cultivos forrajeros. La cantidad de recurso económico que aporta a la economía del estado demuestra un crecimiento lineal como se observa en la figura 1, posee una TMCA de 22.13%.

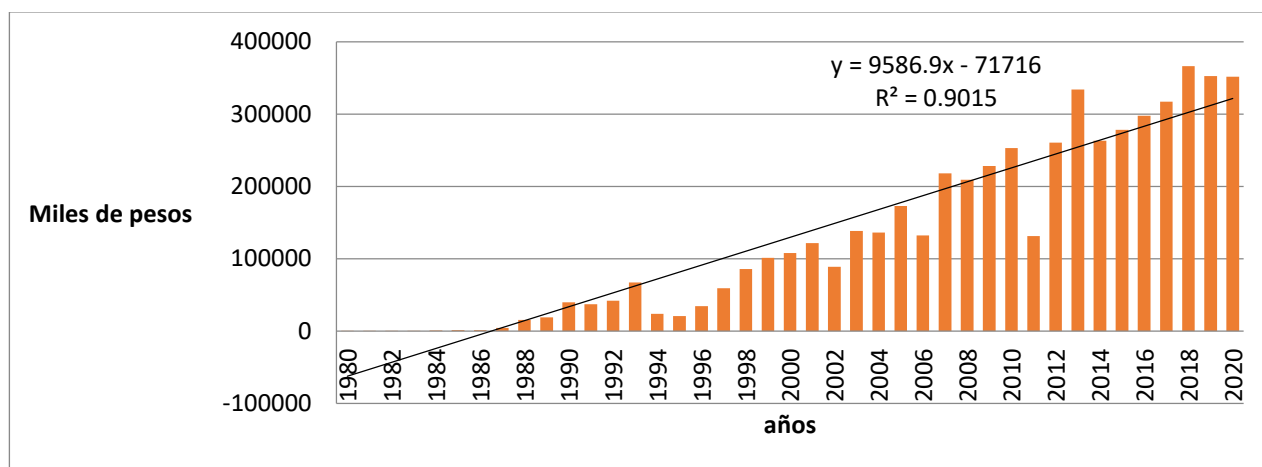


Figura 1. Crecimiento económico del cultivo de avena en el estado de Coahuila durante el periodo 1980-2020. Elaboración propia con datos de SIACON (2022).

Avena forrajera en Durango. En Durango representa el 51% de la superficie cosechada para forraje, además genera el 23% del valor monetario dado para dicho grupo de cultivos, se aprecia en figura 2. Por lo tanto, la importancia del cultivo en este

estado es mayor que en Coahuila de Zaragoza y tiene una TMCA de 2.6% (SIACON, 2022).

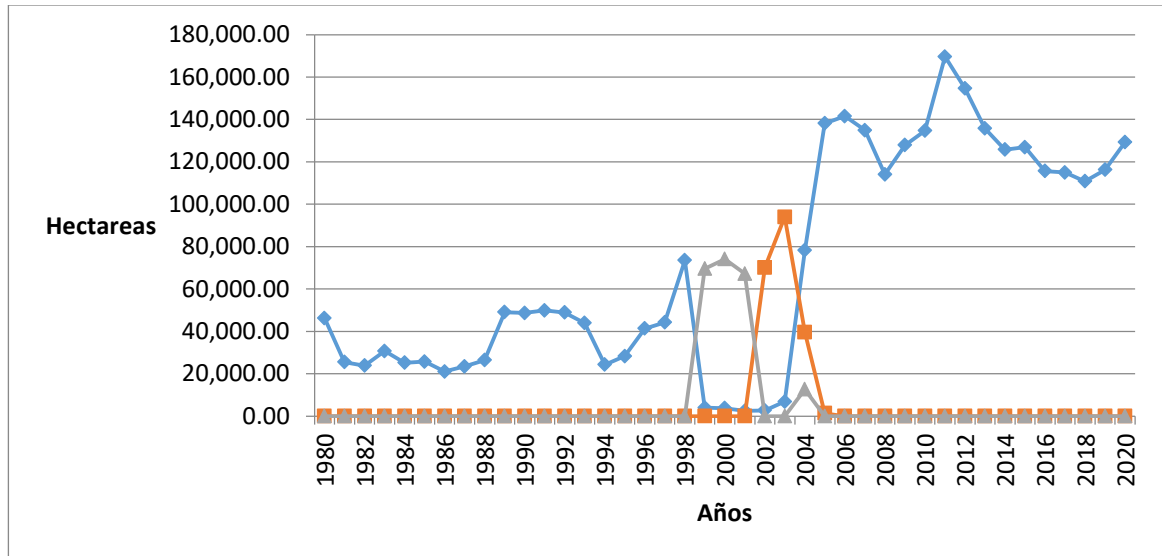


Figura 2. Superficie cosechada (ha) de avena forrajera por tipo en el estado de Durango, 1980-2020. Azul: en verde, rojo: seca y verde: achicalada. Elaboración propia creada con datos del SIACON (2022).

Avena forrajera en región laguna. La avena es el cultivo más importante en la región laguna en ciclo otoño-invierno (SADER, 2022). Como forraje, es fundamental para La producción de leche de ganado bovino, esta actividad es sumamente valiosa en la zona (Rodríguez-Hernández et al., 2018).

Como se observa en la Figura 3, la superficie para este cultivo ha disminuido, sin embargo, el porcentaje que representa en relación a los cultivos del periodo otoño-invierno ha ido en aumento. Para el año 2019-2020 aportó el 83%, para el ciclo 2020-2021 y 2021-2022 aumento, hasta 84 y 90% respectivamente. Los datos mostrados en la gráfica 3 comprenden las hectáreas cosechadas únicamente, el área cultivada es mayor debido a predios siniestrados. Según estudios en la región, la dosis de fertilizante NPK

aplicada para dicho forraje es 120-60-00 por hectárea (INIFAP, 2009). De ser la cantidad de fertilizante aplicada en promedio en la región, tan solo en el ciclo otoño-invierno 2021-2022 se habrían aplicado 2,103 toneladas de nitrógeno y 1,052 de fósforo. Esto, sin considerar la aplicación de micronutrientes. Por lo tanto, eficientizar la aplicación equivale a un ahorro económico considerable y así, resulta atractivo para la economía regional considerar alternativas a la aplicación de nutrientes.

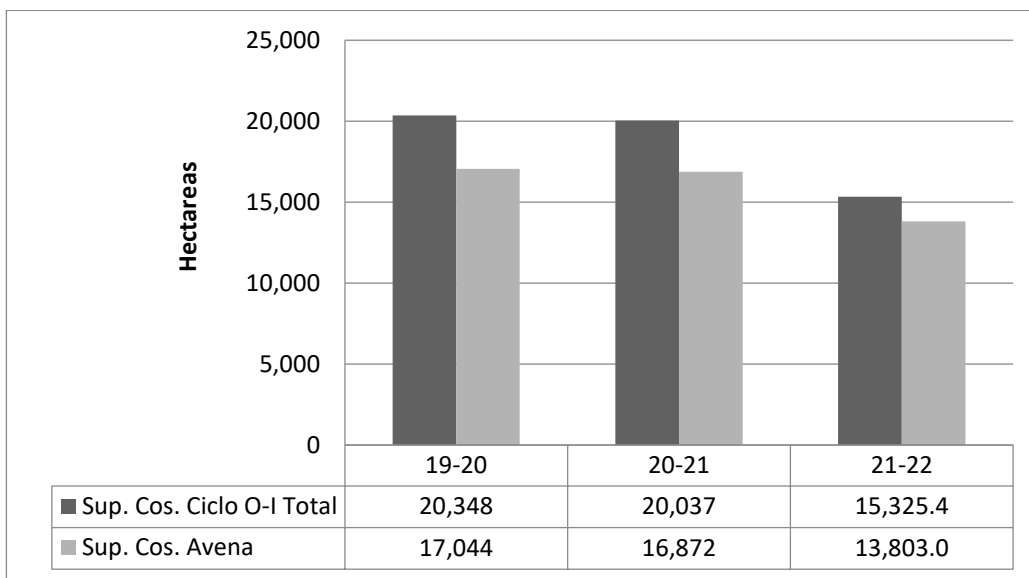


Figura 3. Superficie cosechada en ciclo otoño-invierno en la región laguna de cultivos totales y representación de avena. Elaboración propia con datos de SADER (2022).

3.2 Degradación del suelo y pérdida de nutrientes:

3.2.1 Daño colateral de fertilizantes sintéticos.

La revolución verde impactó significativamente en el incremento de la población a nivel mundial (Llewellyn, 2018). En parte, se debió al aumento en la producción de cultivos y por ende mayor cantidad de alimento disponible para los ciudadanos, esto fue resultado de la implementación de técnicas e intensificación de prácticas, como uso

desmedido de agroquímicos, entre ellos fertilizantes sintéticos. Se data de un crecimiento de demanda de fertilizante nitrogenado de 2.5 veces entre 1970 a 1990 (Chávez-Díaz et al., 2020).

El uso desmedido propicio mejoras en los rendimientos, el trigo y el maíz obtuvieron alrededor de 200 y 150% de incremento respectivamente. A raíz de ello, actualmente a nivel mundial se están desarrollando problemáticas de diversas índoles, lo cual afecta directamente en los eslabones de la sustentabilidad ya sea de carácter social, ambiental o económico. Para lograr un desarrollo de la sociedad en condiciones adecuadas es necesario dirigir hacia la sustentabilidad (ONU, 2015).

El impacto ambiental ocasionado por agroquímicos atañe a la salud pública en general, además genera degradación del suelo y filtración de nitratos causando acidez en los suelos y contaminación de aguas subterráneas (Rodríguez-Suárez et al., 2020). La fertilización sintética repercute en los ciclos naturales, la degradación del suelo se da al afectar negativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, esto disminuye la eficiencia del suelo como ecosistema. A medida que crezca la población mundial se prevé intensificación de deterioro del suelo, por lo tanto resulta un tema crucial para el futuro de la humanidad el optar por alternativas que aminoren el deterioro ambiental (Kuzyakov y Zamanian, 2019).

La producción de alimento para la industria pecuaria no solo hace uso excesivo de fertilizantes sintéticos, datos de Steinfeld et al. (2006) indican que este sector tan solo en EEUU consume el 37% de los plaguicidas.

El uso de agroquímicos ocasiona degradación del suelo, en el proceso se pierden elementos que fungen como nutrientes para microorganismos edáficos y plantas. Por lo

tanto, el deterioro de los suelos y la carencia de micronutrientes afectan el desarrollo de los cultivos (Niu et al., 2021).

Datos del FIRA (2022) indican que para producir avena en el ciclo otoño-invierno del año 2021-2022 en el país tuvo un costo de \$21,664.00 ha⁻¹, con el 24% del costo total absorbido por concepto de fertilización. Para el maíz, en el mismo ciclo y año la fertilización representa el 42% de los gastos totales, el trigo demanda el 37% y cebada el 34. Lo anterior genera una brecha económica, ocasionada por la diferencia de ingresos entre agricultores. Los productores de mayor escala tienen acceso a la tecnificación, que debido a sus altos costos es de difícil acceso para el pequeño propietario, lo cual obliga a rentar o vender su suelo con ganancias bajas.

Ante la tendencia creciente de la temperatura mundial y sus consecuencias, se estima que aumentara la magnitud de los fenómenos adversos, ello genera riesgo en la producción de alimentos. Se prevé presión sobre la cadena de suministro de alimentos, impactando en precios y mayor volatilidad (Bolton et al, 2020). Por lo tanto, explorar y difundir información sobre complementos que reduzcan la dependencia a fertilizantes sintéticos puede favorecer económicamente.

3.3 Abonos orgánicos

3.3.1 Importancia de abonos orgánicos

Los abonos orgánicos han sido utilizados durante siglos anteriores a la revolución verde como fuente de nutrientes para las plantas. La industria de agroquímicos generó una brecha entre agricultores-suelo-planeta, es tiempo de retomar tal conexión. Los abonos son preparados a base de residuos de origen vegetal y/o animal, esto ocurre

mediante procesos de degradación microbiana en presencia de humedad y oxígeno limitado. En décadas recientes se ha enervado la necesidad de reutilizar residuos que en caso de no realizarse generan contaminación ambiental. La economía circular es la forma de producción que requiere de cero residuos, así da lugar al aprovechamiento de este material, reduce costos por nutrición vegetal y disposición. Además, se profundizara en el siguiente apartado su relación con el futuro del planeta.

3.3.2 Supermagro

El abono orgánico Supermagro es realizado a base de estiércol bovino. Para realizar un contenedor de 150 l se requiere 50 kg de estiércol bovino fresco, 4 l suero de leche, 2 kg melaza, 0.2 kg levadura, 2 kg harina de roca, 2 kg ceniza y 2 kg hojarasca.

Cuenta con antecedentes satisfactorios tanto en uso de forma foliar y directo al suelo, sin embargo predomina en la literatura como abono foliar (Rosa, 2016). Se ha empleado en hortalizas como la lechuga, sandía y pimiento, así mismo en fresa, café y maracuyá (Araujo et al., 2008; Bonillo et al., 2015; González et al., 2015; Mazaro et al., 2013; Oliveira et al., 2014; Rodrigues et al., 2009).

3.3.2 Biofish

El abono orgánico Biofish es realizado a base de residuos de pescado, melaza y harina de roca.

Cuenta con antecedentes sin trascendencia al ser aplicado en suelo y con potencial de forma foliar. Se ha empleado en linaza y pepino (Abusaief et al., 2021; Rahil, Y Qanadillo, 2015).

3.4 Agenda 2030 y relación con la producción sustentable de alimentos.

3.4.1 Impacto social de producción sustentable de alimentos.

El uso de los abonos orgánicos beneficia directamente al sector social, esto ante la posibilidad de ser opción como nueva forma de ingreso económico al hogar de los pequeños propietarios de ganado. El excremento es insumo fundamental en variedad de preparados, por consecuencia se alinea a los Objetivos 8 y 12 de la agenda 2030 de la ONU (2015), constan de “promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo digno para todos”, “garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” respectivamente, estos nos encaminan como sociedad hacia mejores condiciones de vida para todos los seres humanos en relación armoniosa con el medio ambiente.

El deterioro ambiental pone en alarma la seguridad de la supervivencia de la población humana. Ante ello resulta imprescindible reducir el impacto o en su caso, remediar el entorno (Sun et al., 2022). La agricultura es pilar de la sociedad, sin ella no hay subsistencia. Sin embargo, no cuenta con directrices que garanticen el bienestar del medio ambiente. Esto preocupa poniendo en peligro el aprovisionamiento de alimentos a largo plazo (Bethwell et al., 2022).

3.4.2 Impacto ambiental de producción sustentable de alimentos.

Es importante aliviar la presión ocasionada por la intensificación de la agricultura, esta deriva en contaminación por lixiviación hacia los mantos acuíferos, pérdida de fertilidad de los suelos y liberación de gases de efecto invernadero (Quintero-Herrera et al., 2022).

La creciente población impulso el desarrollo de la economía agrícola, esta ocasiono contaminación, a su vez, la contaminación agrícola ha puesto trabas en el crecimiento de la economía agrícola y en consecuencia existe peligro para la salud pública. Las medidas correctivas para aumentar la economía agrícola ha sido aumentar el uso de fertilizantes químicos y pesticidas (Li et al., 2019).

Urge planear, orientar e informar las acciones que permitan adentrar a los productores agrícolas y ganaderos hacia procesos sustentables. Y así, permitir a la raza humana la oportunidad de desarrollarse en un entorno saludable y que propicie las condiciones idóneas para su existencia y desarrollo (Sun et al., 2022).

El deterioro pone en cuestionamiento el futuro aprovisionamiento de alimentos a largo plazo. Existe mayor demanda de la que puede ser abastecida (van Noordwijk et al., 2022). Apoyar a los agricultores en la gestión de aportación de nutrientes, específicamente en servicios de orientación técnica o inversiones en tecnologías representa un área de oportunidad para aminorar el impacto ambiental negativo ocasionado (Thorsøe et al., 2022).

Los agricultores toman sus decisiones según beneficio económico lo cual es lógico. Sin embargo, añadir un enfoque que le proporcione una visión sobre la salud del suelo y agua posiblemente le otorgue reducción de costos al hacer uso de recursos de manera sostenible, así mismo al utilizar residuos como aporte de nutrientes situación que reduce costos por nutrición vegetal. Para lograr una visión conjunta entre los productores de alimentos es incuestionable regular mediante leyes, reglamentos y normas. Ello confiere obligación, además, generalmente el uso eficiente de recursos puede encaminar

a agricultores hacia mercados de exportación, y así, mayor derrama económica (Bethwell et al., 2022).

3.4.3 Industria ganadera y sustentabilidad

La industria ganadera se ve amenazada ante movimientos crecientes en pro del bienestar animal y ecológico, ellos rechazan el consumo de alimentos de origen animal o algunas prácticas de maltrato (Beck y Ladwig, 2021). Ejemplos de lo mencionado previamente, como área de mejora para el sector es eficientizar el uso del agua, reducir uso de agroquímicos como pesticidas, herbicidas y fertilizantes minerales (Mateo-Sagasta et al., 2017). Por lo tanto, adopción de medidas sustentables en la cadena de producción resultaría positiva para este sector (Scozzafava et al., 2020). Incrementar el rendimiento y la calidad del forraje implica mayor eficiencia en la alimentación de hatos (Cintra et al., 2018).

Es necesario eficientizar métodos de aplicación de nutrientes (Thorsøe et al., 2022). Como área de oportunidad, en el país, de las 198 millones de hectáreas el 73% se utiliza para fines agrícolas (FAO, 2019), de ello el 79.3% se destina para pastos de forma silvestre (Ochoa-Noriega et al., 2021). Al grupo de forrajes se le destina el 35.06% de la superficie de agricultura tecnificada, por ello es una área de oportunidad representativa (CONAGUA, 2021).

Forrajes por tipo de producción. En general, los forrajes carecen de cambio de tipo de producción. La producción orgánica de forrajes no representa ni el 1% entre el año 1980-2020.

La avena forrajera cuenta con antecedentes que demuestran existencia de interés por prácticas orgánicas (véase figura 4). Solamente existe registro de tres forrajes

producidos de esta manera, siendo la avena uno de ellos, aportó el 6% del valor de producción de cultivos forrajeros entre el año 1980-2020, el 94% restante pertenece a pastos y praderas buffel (SIACON, 2022).

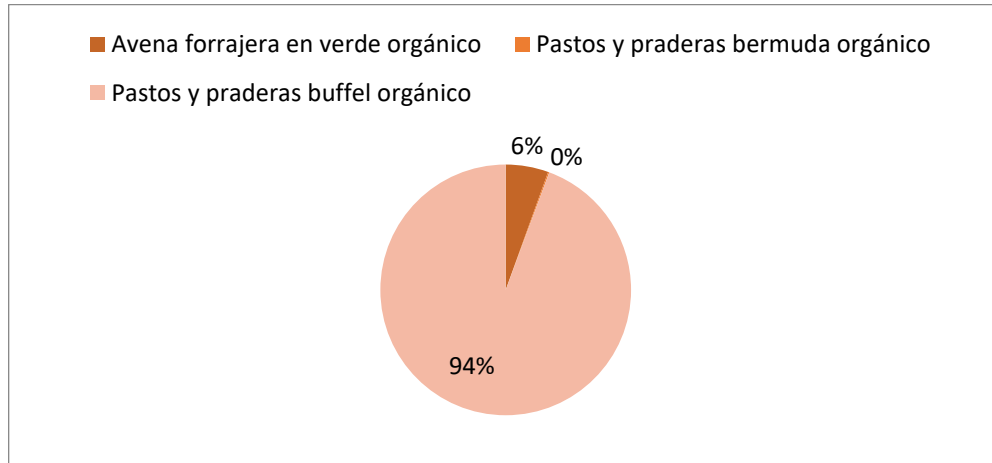


Figura 4. Porcentaje de valor de producción de cultivos forrajeros en producción orgánica. Elaboración propia creada con datos del SIACON (2022).

3.5 Aplicación de nutrientes por vía foliar

3.5.1 Implicación de la fertilización foliar en la sustentabilidad.

México enfrenta el desafío de desarrollar modelos de gestión que ofrezcan la oportunidad de incrementar la producción, siempre y cuando se preserve el medio ambiente y se propicie desarrollo económico para la población. Existe la necesidad de promover líneas de investigación considerando los eslabones de la sustentabilidad (Ochoa-Noriega et al., 2021).

El cultivo de interés en el presente estudio representa el 7% de los cultivos de forraje, siendo así de interés para la industria ganadera. Es fundamental obtener alimentos de calidad y en vías de sustentabilidad, estos demuestran un aumento en

adopción y adquisición debido al incremento de consumidores con conciencia ambiental (Wojciechowska-Solis y Barska, 2021).

El proveer nutrientes por vía aérea no aspira a eliminar el suministro de los mismos en el suelo, si no reducirlos. Pretende suministrar directamente los nutrientes a los tejidos de destino (Vasundhara y Chhabra, 2021). Diversos trabajos han arrojado resultados variables en forrajes, así como en avena (Kutasy et al., 2022).

La aplicación de estos por vía foliar reduce escurrimiento y lixiviación, por ende reduce la contaminación de los cuerpos de agua subterránea (Dhaliwal et al., 2021). El conocimiento respecto a la respuesta de las plantas a la absorción foliar aún es insuficiente, por ello es importante realizar experimentación (Fernández et al., 2015).

Importancia de la fertilización foliar. Esta práctica surge como una forma de aplicar nutrientes directamente a los órganos que lo requieren, también es utilizado al momento de encontrar deficiencias en el sustrato que resulten perjudiciales para el cultivo y que además por tiempo, es difícil agregar al suelo y corregir para su posterior asimilación. Hay reportes de resultados volubles, esto implica que se requiere de mayor cantidad de investigaciones para encontrar paridad y así optar por determinar factores incidentes que arrojen un mejor entendimiento.

3.5.2 Antecedentes de fertilización foliar.

Santos Y Manjarrez (1999) mencionan que el uso de la fertilización foliar comenzó en el 1800 a. C. durante el periodo de la época babilónica, sin embargo el reconocimiento sobre la absorción de agua en la superficie aérea data de alrededor de hace 300 años (Gris, 1843). A lo largo de la historia se han empleado un sin fin de solutos como fertilizantes foliares, Fernández y Eichert (2009) concluyeron que los

primeros estudios en el tema se dieron principalmente en especies frutales incluidos cítricos, manzanos y vid.

3.5.3 Proceso de absorción de nutrientes vía foliar

La penetración de la solución ocurre una vez se entra en contacto con la superficie foliar mediante aspersión, menor tamaño de gota incrementa la superficie de contacto y aumenta por ende la eficiencia de absorción. El proceso fue descubierto a grandes rasgos por un autor alemán quien encontró que algunas sustancias podían ser absorbidas por los órganos fotosintetizadores (Franke, 1986). Murillo (2013) clasifica en tres etapas el proceso de absorción: "Retención del producto en la hoja, movimiento del nutriente hasta los órganos y transporte del nutriente a las células". Se conoce que la absorción aérea ocurre por tres diferentes rutas, vía cuticular, estomática y ectodesmos (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).

Una propiedad de la superficie foliar de las plantas es la de fungir como regulador en el intercambio bidireccional de H₂O y gases, en consecuencia limitan la liberación del agua interna en clima adverso, la pérdida de nutrientes y metabolitos. A raíz de lo anterior, las plantas determinan la absorción foliar realizándolo inversamente (Fernández et al, 2015).

Es importante conocer la anatomía típica de la hoja, en la Figura 5 se aprecia la composición de esta donde se denota el rol de la cutícula y estomas, además de los estodesmos que se encuentran extendidos por la cutícula (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009). Se sabe que la cutícula posee cargas negativas, lo cual favorece la adsorción y absorción (Fernández et al., 2015).

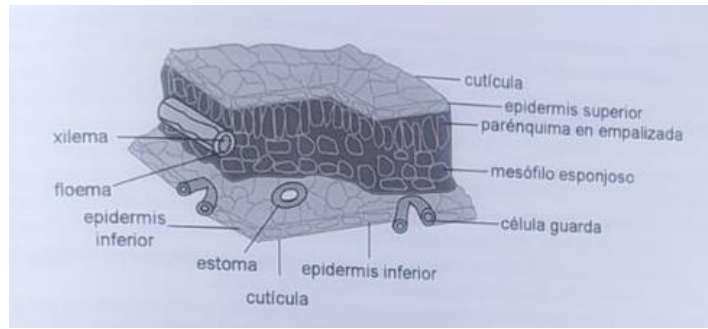


Figura 5. Representación generalizada de lámina foliar. Imagen de (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).

Ruta de la cutícula en la absorción foliar. Como se denota en la figura 6 y 7, cuando la solución se encuentra en contacto con la hoja entra en contacto con la cutícula que contiene células epidérmicas modificadas, estas controlan la transpiración resultando así en la absorción y posterior transporte de nutrientes y agua indispensables para los órganos de interés (Morandi et al., 2010).

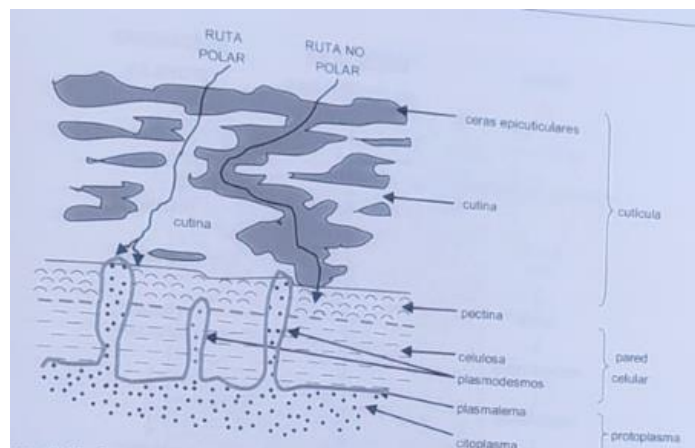


Figura 6. Rutas de absorción por cutícula (Ashton y Crafts, 1981).

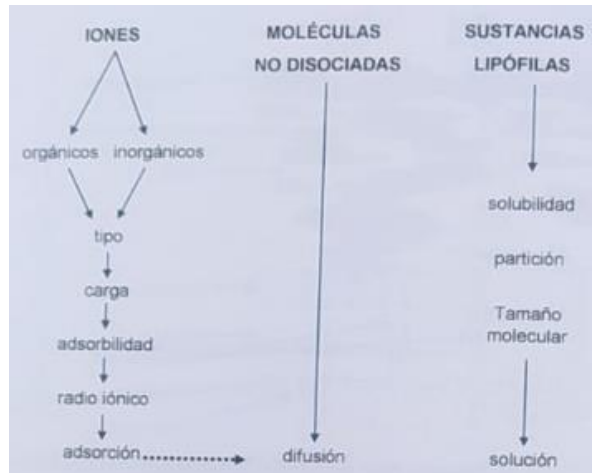


Figura 7. Ruta de absorción a través de la cutícula dependiendo de la naturaleza de la sustancia (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).

Ruta de estomas en la absorción foliar. Para que la absorción estomática sea posible es necesario reducir al máximo el tamaño de gota (Orozco-Meléndez et al., 2021). La Figura 8 expresa gráficamente la razón de ello. Esto es posible al aplicar una presión adecuada a la hora de la pulverización, por otra parte el uso de surfactantes coadyuva en dicha labor ya que aumentan la estancia de la solución sobre la planta al evitar evaporación, también aumenta la superficie de contacto puesto que logra reducir el tamaño de gota (Orozco-Meléndez et al., 2021).

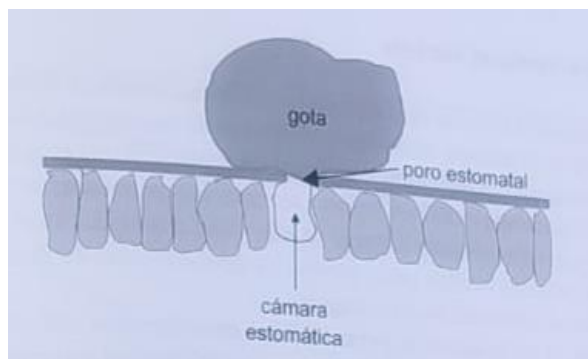


Figura 8. Proceso de absorción vía estomática (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2009).

Ruta de ectodesmos en la absorción foliar. Los ectodesmos forman parte de la epidermis siendo prolongaciones del citoplasma, en la Figura 9 se aprecia la distribución espacial que poseen en la pared celular.

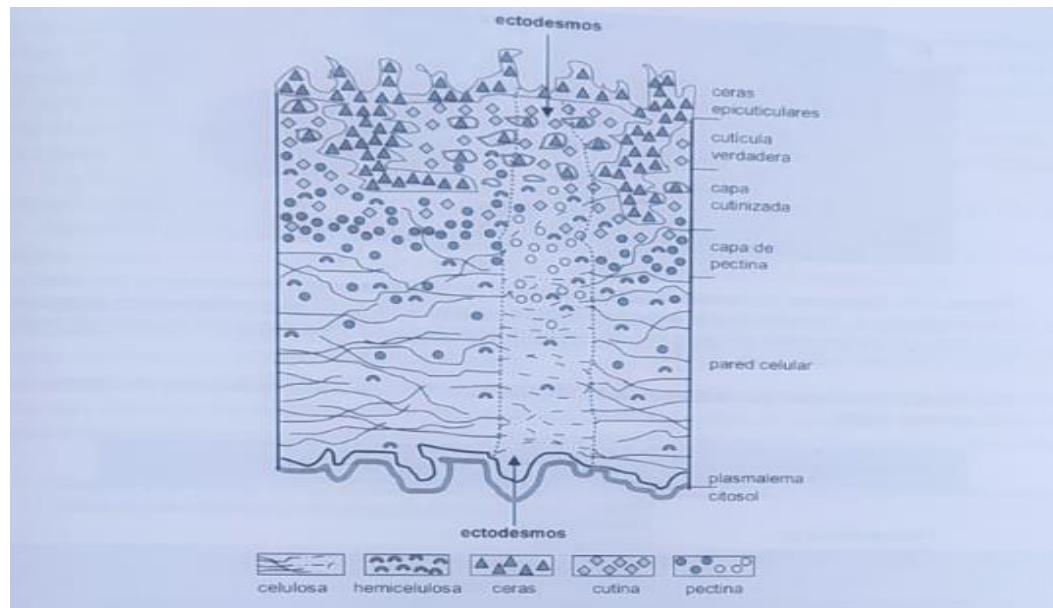


Figura 9. Ruta de penetración vía estodesmos (Wójcik, 2004).

A su vez, el nitrógeno ingresa en forma gaseosa a la célula vegetal como NO_2 , NH_3 y NO , esto ocurre mediante el apoplasto, así logra disponerse en el citoplasma y dependiendo de la forma en que se encuentre pasa a mitocondrias o cloroplastos. Lo anterior no difiere en cuanto al proceso de asimilación puesto que también ingresa en forma de NO_3 disuelto en agua (Bourgeois et al., 2019; Patil y Chetan, 2018). Los compuestos con N ingresan al metabolismo celular mediante estomas o a través de la cutícula, esto ocurre mediante reducción y/o oxidación de las moléculas dependiendo de su estructura química. Disponer el N directamente a las hojas erradica la competencia que ello implica en el suelo, ya que no deriva en pérdidas o indisposición por adición a

materia orgánica o volatilidad a la atmosfera. Bourgeois et al. 2019 mencionan que aún se necesita más trabajo para explicar con precisión la ruta de absorción foliar de formas orgánicas, iónicas o de partículas. En cuanto al fosforo, se ha analizado la ruta de penetración mediante imágenes a nivel celular. Es posible que ingrese por las estomas y la cutícula como rutas absorción. Se adjudica que la ruta que conlleva el mayor tráfico de P ocurre por el simplasto, caso contrario al N. Una hipótesis es que ingresa por la afinidad de los iones con los poros polares acuosos en la base de los tricomas o paredes celulares (Arsic et al., 2020).

La absorción de los minerales ocurre de forma distinta a través del tiempo dependiendo del elemento y la forma química que presente, revisión de literatura realizada por Patil y Chetan (2018) recopilan el tiempo transcurrido para asimilar el 50% del elemento químico. El nitrógeno (en forma de urea) requiere entre 0.5-2 horas, potasio demanda 10-24 horas, el calcio, zinc y manganeso 1-2 días, magnesio 2-5 días, azufre 8 días, el fosforo 5-10 días y hierro y molibdeno 10-20 días. Entre menor peso molecular la penetración es mayor.

3.5.4 Movilidad de nutrientes en el floema

La eficiencia de la absorción de los nutrientes no solo se limita a la conclusión de que estos se encuentran dentro de la planta sino además, de la movilización que ocurra dentro dependiendo si los nutrientes se transfieren a hojas recientes, flores y frutos (Fernández et al., 2015). Para poder ser transportados influye la movilidad de los nutrientes por el floema; Epstein y Bloom (2005) clasifican los minerales según su

movilidad:

Cuadro 2. Clasificación de los nutrientes acorde a movilidad en el floema (Epstein y Bloom, 2005).

Móvil	Movilidad intermedia	Baja movilidad
<u>Potasio</u>	<u>Sodio</u>	<u>Calcio</u>
<u>Nitrógeno</u>	<u>Hierro</u>	Silicio
<u>Azufre</u>	<u>Zinc</u>	<u>Manganeso</u>
<u>Magnesio</u>	<u>Cobre</u>	<u>Boro</u> *
<u>Fosforo</u>	Molibdeno	
<u>Boro</u> *		
Cloro		

*Depende de la especie.

_ Los elementos subrayados son empleados en este estudio.

Mencionan Fernández et al. (2015) que existen tres factores involucrados en la movilización: 1) capacidad del nutriente para ingresar al floema; 2) capacidad de movilización una vez dentro de dicho conducto; y 3) capacidad de migración hacia tejidos de interés. La movilidad es estrechamente dependiente de la etapa fenológica del cultivo y sus exigencias nutricionales, las etapas más importantes y demandantes son: la germinación, crecimiento vegetativo, etapa de reproducción, senescencia y en el caso de perennes un rebrote.

El principio del transporte de solutos por el floema se basa en el flujo de presión, según Coll et al. (2019) hay suficiente evidencia experimental que lo sustenta. El flujo

de solutos demuestra transporte de concentraciones superiores a menores, la Figura 10 ilustra el principio de este proceso.

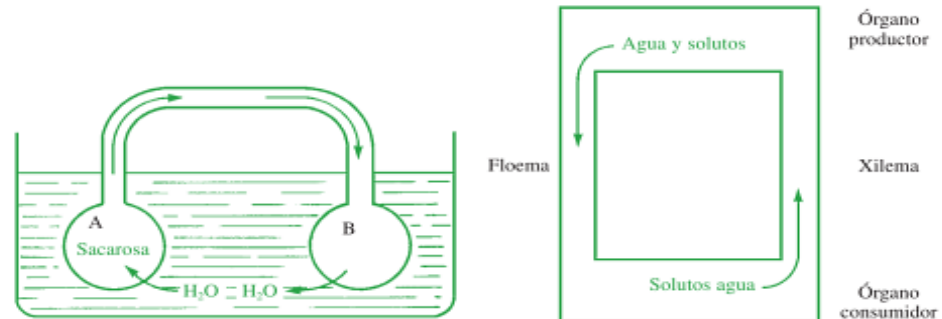


Figura 10. Flujo de solutos en base a la concentración (izquierda). Modelo de funcionamiento propuesto (derecha) (Coll et al., 2019).

3.5.5 Efectividad de fertilización foliar

Factores implicados en la nutrición foliar. Para que esta práctica suceda efectivamente es necesario considerar factores ambientales como la luz, temperatura, humedad relativa y hora de aplicación, respecto a la solución se involucra el pH, concentración, nutrientes y coadyuvantes, mientras por parte de la planta coacciona la cutícula y estomas (Fernández et al., 2015).

Impacto económico de fertilización foliar. Revisión de literatura de Adnan et al. (2020) mencionan que la aplicación de nutrientes vía foliar logra mayor producción económica, ya que evita pérdidas por filtración y dispone los nutrientes directamente a la planta. Indica que un conjunto de la aplicación de nutrientes vía foliar y en suelo puede lograr mejores resultados en general. Además, es posible hacer uso de economía circular y así reducir los gastos por concepto de fertilización (Kumar et al., 2022).

Fertilización foliar en avena. La literatura indica que la avena ha sido objeto de experimentación bajo distintos nutrientes. Un meta análisis de IQBAL et al. (2019)

determinó que la aplicación foliar en forrajes resultado de uno o más micronutrientes influyo en obtención de biomasa y materia seca en 7-19% más. Así como 1.9-11% y 8-17% en proteína cruda y digestibilidad respectivamente, ello de manera general. El uso de un abono orgánico foliar a base de estiércol bovino logro reducir en un 25% la fertilización sintética manteniendo el rendimiento (Kumar et al., 2022). Aplicación de ácidos húmicos incremento considerablemente la materia verde y materia seca de avena forrajera a dosis de 6 g/L con un aumento de 24 a 50 ton/ha-1 y 7.6 a 16.8 ton/ha-1 respectivamente (Alabdulla, 2019).

Se utilizaron diversas sustancias a dosis escalonadas como fuente de nutrientes vía foliar con el objetivo de coadyuvar en la producción de avena orgánica. Se concluyó que dosis fueron las mejores extracto de hoja de moringa (1 cm³/40 cm³ agua), algas marinas (2%), chitosan (100 ppm) y tiourea (400 ppm) en la variable materia verde, materia seca y ceniza además de otras que no son de interés en este trabajo (Gurmani et al., 2021)

El uso de orina de conejo diluida en agua a 50% aplicada de forma foliar es capaz de mantener la materia verde de avena, este se comparó con un fertilizante comercial lo cual no represento diferencia estadística (Mutai, 2020).

El maíz fue objeto de estudio para ver respuesta a fertilizantes foliares, se usaron de origen sintético y orgánico a distintas dosis. El uso del fertilizante orgánico foliar logro reducir el 25% de la dependencia a la nutrición de origen sintético con solo 15 cm³/2 L de agua (Sudding et al., 2021). Otro estudio analizó la influencia de la fuente de nutrición aplicada foliarmente a dos variedades de trigo con idéntica nutrición de macronutrientes al suelo el rendimiento en verde del cultivo (Panfilova et al., 2020).

Según Pérez (2020) la aplicación de fertilizantes foliares comerciales logro incrementar la producción de materia seca en avena. Por otro lado, aspersión de 2000 ppm de hierro y 150 kg/ha-1 de potasio aplicados al suelo derivaron en significancia estadística favorable en diversas variables de crecimiento pero resalta mayor rendimiento de grano obtenido con 8.10 mcg/ha-1 en comparación al testigo sin aplicación de potasio ni hierro 2.16 mcg/ha-1 (Alabdalsayid et al., 2021).

Para aliviar estrés hídrico fue efectiva la aspersión de silicio y azufre. En comparación con el control, las unidades experimentales asperjadas transpiraron 1m^3 de agua menos por parcela de 10.5 m^2 durante el experimento, además el rendimiento aumentó un 10.2% con el silicio y un 8.0% con ambos combinados (Kutasy et al., 2022).

Aspersión de urea (0.5%) y potasio (1%) fueron objeto de estudio, el K aumento significativamente el rendimiento biológico a 12.3 toneladas por hectárea comparado con 11,60 obtenidos en el testigo, lo cual se atribuye a su injerencia en la fotosíntesis y la asimilación de carbohidratos (Alrubaiee et al., 2019).

Se comparó aplicación de macronutrientes al suelo con la misma cantidad de estos, pero con adición de micronutrientes Fe, Zn, Mb, Cu, B y Mn asperjados. El análisis estadístico presento significancia en el cultivo de avena en beneficio de la sinergia creada con los macro y micro elementos. Hubo mayor contenido de materia verde, materia seca y fibra, entre otras variables (Monjezi-Zadeh et al., 2018).

3.6 Calidad de los forrajes

3.6.1 Importancia de determinar calidad

La calidad de forrajes radica en la composición, la cual, según Van Soest (1967) se divide entre contenido celular y pared celular. La clasificación se desglosa en el Cuadro 3. Este método es el más aceptado para determinar la calidad bromatológica de los cultivos, en este trabajo de investigación se emplea para alimentos de rumiantes y se desglosa a detalle en la figura 11, se denota que permite distinguir de mejor forma entre las fibras, por ende auxilia a mejorar el manejo y balanceo de las dietas de rumiantes en comparación con el método Weende (Weinrich et al., 2018).

Cuadro 3. Clasificación de compuestos en los forrajes acorde a contenido y pared celular (Van Soest, 1967).

Clasificación	Grupo de compuestos	Digestibilidad	
		Rumiantes	No rumiantes
		Completamente	Completamente
Contenido celular	Carbohidratos solubles		
	Proteínas	Completamente	Alto
	Lípidos	Alto	Alto
	Pectina	Alto	Alto
	Nitrógeno no proteico	Alto	Alto
	Otros	Alto	Alto
Pared celular	Celulosa	Parcialmente	Bajo
	Hemicelulosa	Parcialmente	Bajo
	Lignina	Indigestible	Indigestible
	Proteínas	Indigestible	Indigestible

Considerando la clasificación de van soest, el NRC (2001) establece valores típicos del forraje de la avena con materia seca de 34.9%, 12.9% de proteína, 3.4% de extracto etéreo, 60.6% de FDN, 38.9% de FDA, 5.5% de lignina y 9.8% de ceniza.



Figura 11. Comparación de componentes que constituyen los métodos de análisis de Weende y Van Soest (Weinrich et al., 2018).

Como indica Van Soest (1967), la pared celular es constituida por celulosa (CL), hemicelulosa (HL), lignina (LG) y proteínas (P). Investigaciones en las décadas posteriores caracterizaron con mayor exactitud la composición, concluyendo que esta presenta proteínas ($\pm 10\%$) y pectinas (PN) (Polko y Kieber, 2019). Entonces, como se aprecia en la Figura 11 el método Van Soest sobreestima el contenido de FDN por presencia de proteínas y PN mientras en la FDA incluye la LG (Espinosa-Negrín et al., 2022; Weiss y Hall, 2020).

La estructura de la pared celular de las angiospermas fue detallada por Brett y Waldron (1996). Por lo tanto se enriqueció el método de análisis bromatológico Van Soest, así se ilustra en la Figura 12 la interacción física de los componente de la pared celular.

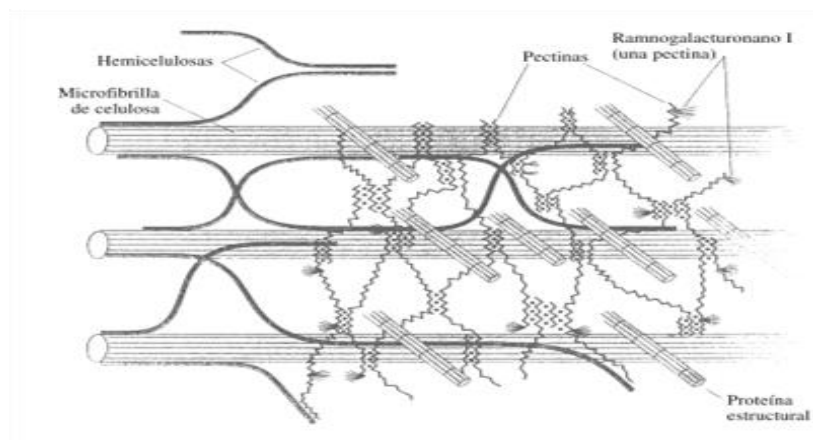


Figura 12. Modelo estructural de pared celular de angiospermas (Brett y Waldron, 1996).

El modelo estructural es importante porque demuestra el estrecho vínculo de las HC, CL, LG, P y PN entre sí. Determinar los componentes de los forrajes es una práctica imprescindible puesto que el manejo del cultivo y las condiciones de desarrollo influyen en la concentración de los componentes. La composición típica de FDN, FDA, PC y LDA de cultivos forrajeros se muestra en el Cuadro 4 con datos de Lee (2018).

Mientras tanto, Adesogan et al. (2019) comparo plantas C3 contra C4 y determinó que estas últimas son caracterizados por poseer menor digestibilidad de fibras, las plantas C4 poseen más LG lo cual disminuye la posibilidad de digerir demás compuestos fibrosos como la celulosa.

Se recalca que este trabajo tiene entre sus objetivos la determinación de carbohidratos estructurales y ceniza, por lo cual se centra en estos compuestos. Sin embargo, se expone de igual manera el rango medio en el cuadro 4 de los cultivos por grupo, ya sea herbáceas, gramíneas o leguminosas.

Cuadro 4. Rango de valores de FDN, FDA, PC y LDA en % por grupos de forrajes (Lee, 2018).

Compuestos	Rango de valores nutrimentales		
	Herbáceas	Gramíneas	Leguminosas
FDN	50 ±5	75±5	50±8
FDA	37±6	43±5	31±4
PC	15±5	11±4	19±2
LG	5±1	7.5±1.5	7.5±1.5

Importancia de carbohidratos estructurales. Los carbohidratos abarcan el 75% de la biomasa de las plantas, se divide en estructurales y no estructurales, o bien, fibrosos y no fibrosos (Chatterjee et al., 2015). Monitorear el contenido de fibras es importante para la alimentación de rumiantes puesto que la CL y HC son degradados en el rumen. El rol de estas es fundamental para mantener la salud y el bienestar del ganado, sin embargo la LG no es posible de degradar ante las condiciones aeróbicas del rumen, así dificulta la asimilación de la CL y HC debido a que reduce el acceso de enzimas hacia estas por la estrecha relación que poseen (Adesogan et al., 2019).

Cantidades elevadas de carbohidratos fibrosos limitan la digestibilidad de los alimentos en las dietas de los rumiantes. Además, los forrajes cosechados en zonas áridas contienen más fibras y por ende LG, la razón es que las temperaturas elevadas activan cambios en las células vegetales engrosando la pared celular (Lee et al., 2018). Aunado a esto, el calcio regula la actividad del complejo de síntesis de celulosa (Xin et al., 2023). El calcio presente en el citoplasma regula el proceso de fosforilación del gen

de la celulosa sintasa y la proteína THESEUS1 que media en el proceso de lignificación (Dumas et al., 2008).

3.6.2 Hemicelulosa, celulosa y lignina

La HC, CL, LG y PN son considerados como carbohidratos estructurales (Espinosa-Negrín et al., 2022). Como se demuestra en el Cuadro 5, al cuantificar la FDN, FDA y LDA se está determinando la HC, CL, LG, PN y una cantidad limitada de proteínas (Weinrich et al., 2018). Por lo tanto, es fundamental conocer la biosíntesis de dichos compuestos. Sin embargo, antes resulta imprescindible conocer la concentración de estos en plantas como la avena sativa. La avena es monocotiledónea y en el Cuadro 5 se aprecia la composición típica de esta subclase.

Cuadro 5. Composición típica en % de fibras en órganos de monocotiledóneas (Gong et al., 1981).}

Organo	Hemicelulosa(%)	Celulosa(%)	Lignina(%)
Tallos	25-50	25-40	10-30
Hojas	80-85	15-20	-
Fibras	5-20	80-95	-

3.6.3 Hemicelulosa

Posee varias funciones, actúa como reserva de carbohidratos en la etapa de germinación y una vez emerge la planta tiene función estructural, protege de las inclemencias ambientales y otorga rigidez (Lee et al., 2018). Incluso funge como

regulador del crecimiento vegetal ante la injerencia que tiene en el proceso de auxinas (Coll et al., 2019).

La HC son formadas por diversos azúcares a diferencia de la CL, son insolubles en agua mientras en ácidos o sustancias alcalinas se solubilizan, se encuentran muy ligados a LG (Van Soest, 2018). Las clases más comunes de este grupo son los xilanos, arabinoxilanos, galactomananos, gluco-arabinoxilanos, glucomananos y xiloglucanos (Coll et al., 2019). La síntesis de las hemicelulosas ocurre gracias a que los nucleosidos difosfatados ceden azúcar a polímeros, en la Figura 13 se muestra el proceso de síntesis de la HC y PN (Tenhaken y Thulke, 1996). En el cuadro 6 se observa la concentración media de hemicelulosa en la pared celular I y II en gramíneas.

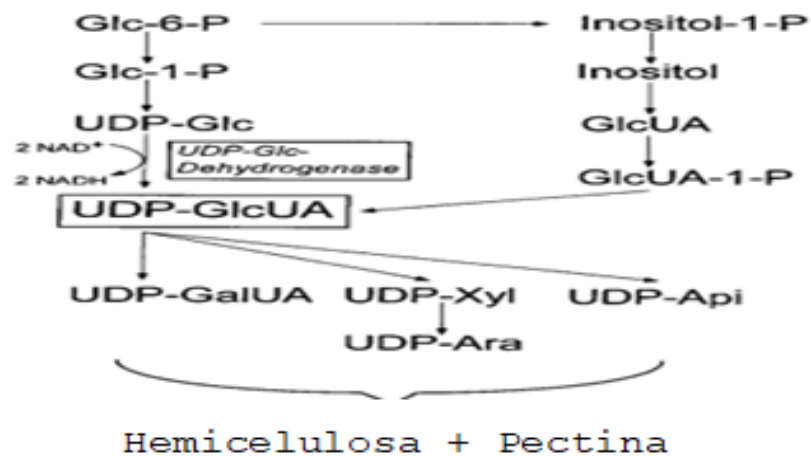


Figura 13. Síntesis de hemicelulosa y pectina (Tenhaken y Thulke, 1996).

Cuadro 6. Hemicelulosas presentes en pared celular I y II en gramíneas (Scheller Y Ulvskov, 2010).

Polisacárido	Pared Celular I	Pared Celular II
Xyloglucano	2-5	Muy poco
Glucuronoarabinoxylan	20-40	40-50
(Gluco)mannan	2	0-5
β -(1 \rightarrow 3,1 \rightarrow 4)-glucan	2-15	Muy poco

3.6.4 Pectina

Este componente es abundante en la naturaleza pues se encuentra en todas las plantas. Es un polisacárido compuesto por 18 monosacáridos que se enlazan a través de 20 diferentes tipos de enlace que pueden presentar modificaciones por grupo éter y/o éster. Como se ha mencionado anteriormente, la PN forman parte de la pared celular, su función es estructural y son degradables por bacterias ruminales en un 98% (Van Soest, 2018).

Está clasificado en dos familias: galacturonanos y ramnogalacturonanos I. La columna vertebral de los galacturonanos es constituida por ácido d-galacturónico unidos α -(1,4), mientras los ramnogalacturonanos I poseen diglicosilo y cuentan con ramificación en O-4 y O-3 con cadenas laterales de arabinosa y galactosa en combinaciones variadas (Ropartz y Ralet, 2020). En la Figura 13 se muestra el proceso de síntesis.

3.6.5 Celulosa

La celulosa tiene la función de otorgar estructura porque los enlaces que presenta en conjunto dan rigidez y fortaleza, posee enlaces en los puentes de hidrógeno intramoleculares establecidos en grupos hidroxilo en posición 3'. Puentes de oxígeno propio también de las moléculas de glucosa y en los grupos hidroxilo en posición 6'. Hoy en día es difícil definir concretamente el mecanismo total de su síntesis, sin embargo es posible sintetizarse como se muestra en la Figura 14.

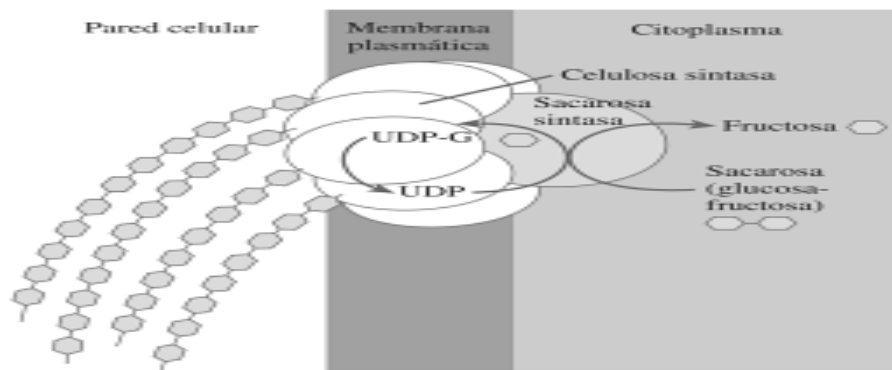


Figura 14. Síntesis de celulosa y sitios de interacción (Delmer y Amor, 1995).

La celulosa es glucosa enlazada mediante B 1-4. Es una de las moléculas orgánicas con mayor presencia en la superficie de la tierra, se calcula presencia en 2×10^{12} ton. Además, para resaltar su importancia se estima forma el 33% de la MS de células vegetales (Van Soest, 2018). Se encuentra en la pared celular en forma de microfibrila con una longitud de 4000-7000 nm, cada microfibrila está constituida por 20 fibrilas, que a su vez, son formadas por 36 cadenas de celulosa la unidad. Mientras un mol de celulosa es equivalente a 8000-14000 restos de glucosa (Coll et al., 2019).

3.6.6 Lignina

La LG es formada mediante deshidrogenación enzimática de alcoholes como el cumarílico, coniferílico y sicipílico (Vanholme et al., 2008). En la síntesis interviene el Coumaroil-Coenzima A (CoA), se caracteriza porque el CoA está ligado a azufre, de esta manera da lugar a los tres tipos de lignina C, G y S (Maceda et al., 2021). Esta molécula inicia su aparición en las células vegetales reemplazando el espacio ocupado por el H₂O en la pared celular (Coll et al., 2019). Este compuesto es el factor limitante para degradar la HC y CL como se mencionó anteriormente (Adesogan et al., 2019).

3.6.7 Ceniza

La ceniza en el forraje es importante porque indica la cantidad de minerales presentes en la biomasa, estos son nutrientes esenciales para el correcto funcionamiento de las células vegetales y eventuales consumidores primarios. La ceniza está constituida por los minerales sin la parte orgánica, estos tienen diversas funciones en el metabolismo vegetal puesto que coadyuvan en un funcionamiento adecuado. Los minerales presentes en la ceniza junto a sus valores medios se exponen en el Cuadro 7 (Vassilev et al., 2013).

Cuadro 7. Media de minerales en % de ceniza total presentes en forrajes (Vassilev et al., 2013).

Minerales	SiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂
% de ceniza total	43.94	14.13	24.49	4.13	2.71	4.66	1.42	3.01	1.35	0.16

Es importante monitorear los valores de ceniza total puesto que resulta información útil para determinar suplementación. El calcio es indispensable para vacas lactantes, un valor mayor en esta variable de calidad indica menor dependencia al calcio como suplemento reduciendo así el costo por este concepto (Hoffman, 2005).

Un metaanálisis encontró que el 70% de los cultivos analizados resulta con <10% de ceniza. No se desglosó rangos por grupo para la ceniza argumentando que esta no presentó variabilidad entre gramíneas, leguminosas y herbáceas (Lee, 2018).

3.6.8 Materia seca digestible

La digestibilidad es determinante para evaluar la calidad del forraje. Esto indica la cantidad aprovechable del alimento en el rumiante, o sea que determina prácticamente la rentabilidad del hato. La cantidad de fibra, específicamente la FDA limita la asimilación de la materia seca. Monitorear dicha variable es de interés para la productividad en el sector lácteo (Mertens y Grant, 2020).

La materia seca digestible (MSD) es un parámetro que se refiere a la cantidad de materia seca que es digerible en el sistema digestivo del animal. O sea, es la fracción del forraje que contiene los nutrientes que el rumiante puede absorber y utilizar.

3.7 Justificación de línea de investigación

3.7.1 Prioridad de investigación

Este estudio es de prioridad de orden segundo solo por detrás de mejora genética como temática de investigación, es crucial indagar sobre el uso eficiente y sustentable de

materia proveedora de nutrientes como lo son los abonos orgánicos (Reyes, 1980). Como resultado de los efectos negativos de la producción convencional de cultivos existe la metodología agricultura orgánica. La cual implica disminuir el uso de sustancias sintéticas y dar pasó a la recirculación de residuos orgánicos capaces de proveer auxiliar en la nutrición de plantas. El uso de agroquímicos ocasiona degradación de los suelos la cual propicia disminución de las propiedades físico-químicas como pérdida de retención de humedad e intercambio de gases, cambios en el pH y CIC así como degradación biológica por consecuencia de adición de nutrientes que causan distorsión en población de microorganismos y ciclaje de nutrientes que se puede ver reflejado en el incremento de la densidad aparente y la susceptibilidad a la compactación (Yakovchenko et al., 2021).

Dependiendo del resultado de este estudio se propone que se asesore a los campesinos y se cree investigación en el área para dar soluciones integrales por sector productivo específico.

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación geográfica y características de la región laguna.

La Comarca Lagunera está ubicada al suroeste del estado de Coahuila y al noreste del estado de Durango entre los meridianos $101^{\circ}40'$ y $104^{\circ}45'$ de longitud Oeste y los paralelos $25^{\circ}05'$ y $26^{\circ}54'$ de latitud Norte. Su altitud es de 1,139 metros sobre el nivel mar. Cuenta con una vasta área plana donde se desarrolla la actividad agrícola y pecuaria rodeada por montañas (CNA, 2002).

4.2 Ubicación del área experimental

Durante el ciclo otoño-invierno del 2021-2022 se estableció el cultivo de avena variedad Cuauhtémoc en el campo experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, ubicado en el ejido Venecia en el municipio de Gómez Palacio, Durango con coordenadas geográficas 25.78391012216715, -103.3508831470744.



Figura 15. Señalador del área de estudio dentro de las instalaciones de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Imagen extraída de Google earth.

4.3 Manejo del cultivo

Siembra. En el ciclo uno se sembró la avena forrajera variedad Cuauhtémoc el 30 de noviembre del 2021 con una densidad de 210.7 kg ha⁻¹. El terreno fue arado, posteriormente se distribuyó la semilla con cono y se cubrió con una rastra de púas a una profundidad de 4 a 6 cm (INIFAP, 2009). En el caso del ciclo dos la densidad fue de 168.59 kg ha⁻¹, la semilla fue esparcida al voleo de forma manual. El resto del manejo fue idéntico en ambos ciclos.

La semilla se cubrió con rastra de púas a profundidad aproximada de entre 2-6 cm.

Se realizó inspección semanal por unidad experimental para detectar plagas en etapa temprana, sin embargo no hubo presencia. No fue empleado ningún insecticida, fungicida, bactericida o herbicida. Respecto a detección de maleza, solo hubo algunas plantas detectadas.

Riegos. Se emplearon cuatro riegos por gravedad acorde a especificaciones del INIFAP (2009) para el ciclo uno, el ciclo dos requirió un riego más debido al nulo espigamiento. En el Cuadro 8 se dispone la fecha correspondiente a cada riego. La lámina de riego fue de 80 cm para el ciclo 2021-2022 y .225 cm de precipitación, para el ciclo 2022-2023 fue de 100 cm y además 6.24 cm de precipitación.

Cuadro 8. Fechas y numero de riegos de avena variedad Cuauhtémoc en Facultad de agricultura y zootecnia para ciclo uno 2021-2022 y ciclo dos 2022-2023.

2021-2022		2022-2023	
02 diciembre-2021	Riego 1	05-octubre-2022	Riego 1
31-diciembre-2021	Riego 2	07-noviembre-2022	Riego 2
02-febrero-2022	Riego 3	07-diciembre-2022	Riego 3
08-marzo-2022	Riego 4	12-enero-2023	Riego 4
		17-febrero-2023	Riego 5

Condiciones ambientales. Para el ciclo uno la temperatura media fue de 19.29°C, con temperatura máxima media de 28.87°C y mínima media de 9.33°C. En el caso del ciclo dos la temperatura media fue de 20.04°C, con temperatura máxima media de 29.6°C y mínima media de 10.46°C. Se determinaron unidades calor acorde al INIFAP (2023) de 5°C como base y 30°C máxima. Se tomaron los datos de la estación meteorológica de Torreón al ser la más cercana con datos abiertos. En el ciclo uno hubo un acumulamiento de 1588.33 UCA en 118 días y en el ciclo dos 2872.5 en 165 días, en la figura 16 y 17 se presentan los datos acumulados para ciclo uno y dos correspondientemente, el valor promedio de UCA para el ciclo uno fue de 13.46 y el ciclo dos 17.40 UCA.

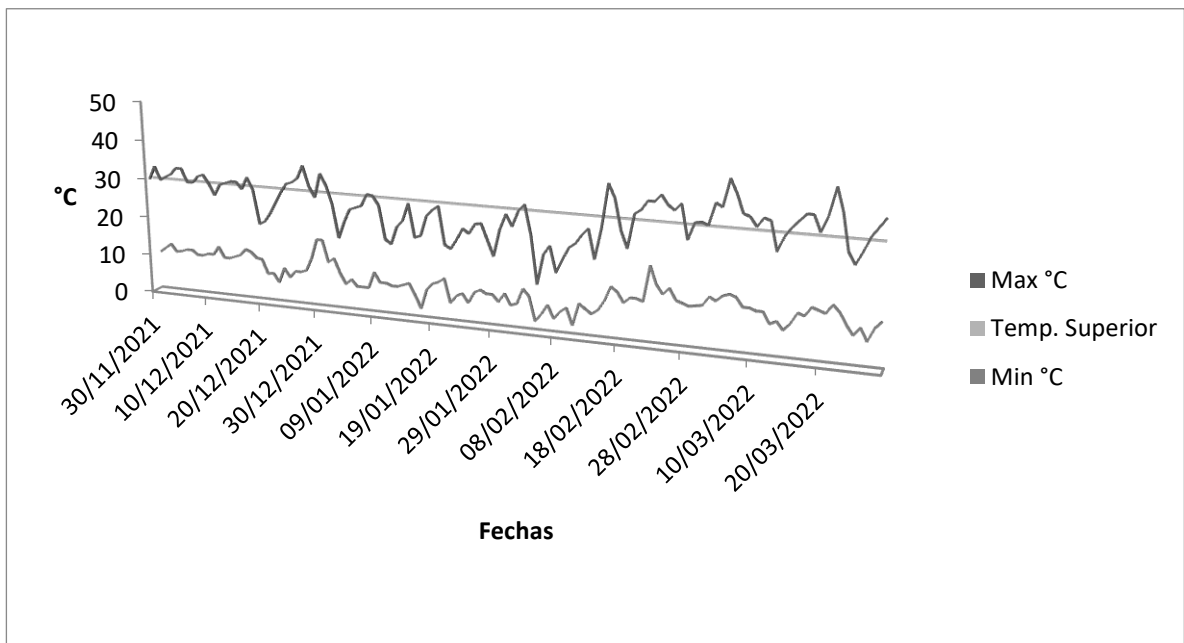


Figura 16. Unidades calor para ciclo uno de avena, noviembre 2021 - marzo 2022.

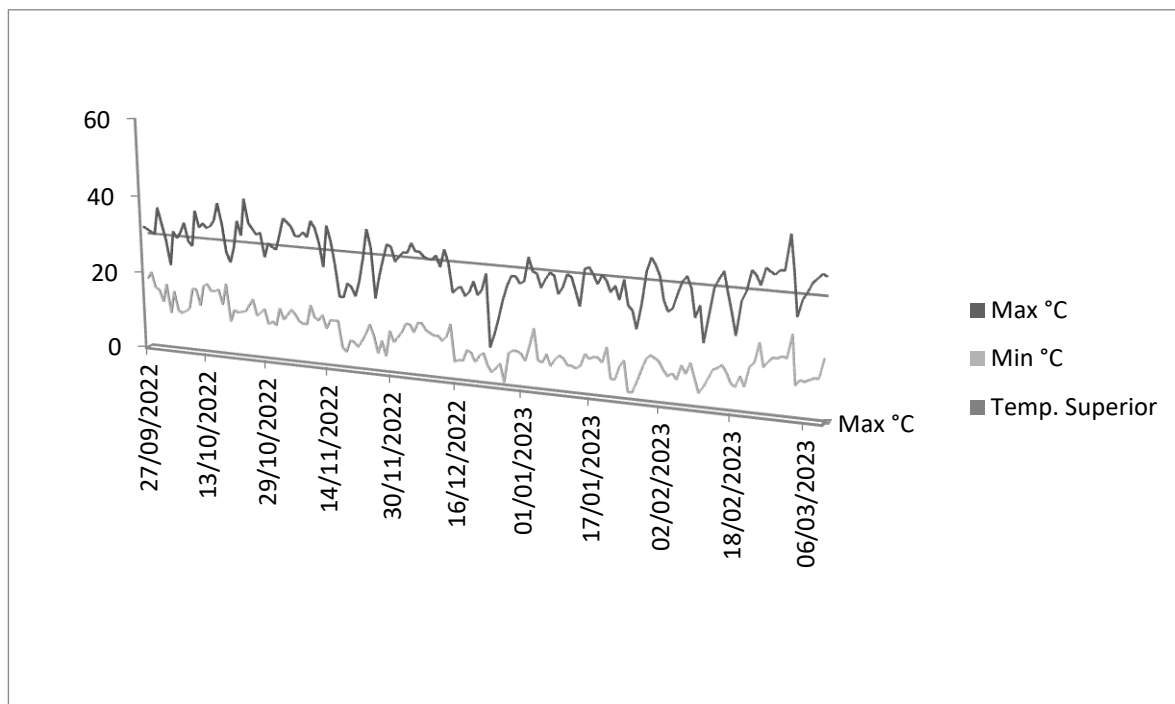


Figura 17. Unidades calor para ciclo dos de avena, septiembre 2022 - marzo 2023.

Cosecha. El corte se realizó en estado masoso lechoso para maximizar la calidad (Ramírez-Ordóñez et al., 2013). Se empleó un cuadro de madera de 0.25 m².

4.4 Aplicación de tratamientos

Se diseñaron los tratamientos en base a recomendación y trabajo previo en hortalizas y café a dosificación de 150 cm³ L de agua de Supermagro y de 150 cm³ L de Biofish, otros tratamientos fueron 300 cm³ L de Supermagro y 300 cm³ L de Biofish para determinar si a mayor concentración aumenta (tendencia lineal) el rendimiento y la calidad bromatológica o bien disminuye (tendencia cuadrática) con contrastes ortogonales.

En el Cuadro 9 se muestran los tratamientos, cada uno de ellos lleva 1 cm³ de Inex por litro. Sin embargo difieren de concentración y tipo de abono orgánico foliar, el

tratamiento uno y dos son Supermagro mientras el tres y cuatro Biofish, el uno y tres llevan 150 cm³ L de agua en tanto el dos y cuatro 300 cm³ L.

Cuadro 9. Tratamientos del estudio para ciclo uno 2021-2022 y ciclo dos 2022-2023.

Composición		
Tratamiento	Abono orgánico foliar	%
1	Supermagro: 150 cm ³ L agua	13
2	Supermagro: 300 cm ³ L agua	23
3	Biofish: 150 cm ³ L agua	13
4	Biofish: 300 cm ³ L agua	23
5	Testigo, no aplica	Testigo, no aplica

La aplicación de los abonos orgánicos foliares fue realizada en condiciones óptimas (Patil y Chetan, 2018). Se realizó cada 9 días en promedio (Bonillo et al., 2015). La hora de aplicación fue entre las 8:00 am y 10:00 am. Se concretó en condiciones soleadas con poco o nulo viento para ambos ciclos. El gasto por hectárea para ambos abonos orgánicos foliares a dosis de 150 cm³ L fue de 17.5 L por aplicación, mientras para las dosis de 300 cm³ L fue de 33.4 L. Quedando a concentraciones de 13% y 23% respectivamente en ambos ciclos.

Cuadro 10. Condiciones ambientales medias de aplicación de abonos orgánicos foliares.

Parámetro	Unidad	Ciclo uno	Ciclo dos
Temperatura media	°C	12.68	13.09
Humedad relativa	%	33.35	37.97
Velocidad del viento	km/h	6.92	7.62
Frecuencia	Días	9	9

4.5 Análisis de abonos orgánicos

El análisis de los abonos orgánicos foliares que dan lugar a los tratamientos es detallado en la Cuadro 11 y 12.

Se muestra el método empleado para la obtención de las concentraciones de cada mineral, así como la unidad de medida y el valor. Ambos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición FERTILAB en Celaya, Guanajuato.

Los abonos utilizados fueron producidos en Santiago Ixcuintla, municipio de Nayarit. Posteriormente fueron donados para la realización de este trabajo sin conflicto de interés.

Cuadro 11. Análisis de composta: SUPERMAGRO. Realizado en Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición FERTILAB en Celaya, Guanajuato.

Variable	Método	Unidad	Resultados
pH	NMX-FF-109-SCFI-2007		5.91
Conductividad eléctrica	NMX-FF-109-SCFI-2007	dS m	13.1
*Nitrógeno total	Dumas	%	0.07
*Fosforo (P)	Digestión en microondas/ICP	%	0.17
*Potasio (K)	Digestión en microondas/ICP	%	3.79
*Calcio	Digestión en microondas/ICP	%	2.70
*Magnesio	Digestión en microondas/ICP	%	0.76
*Sodio	Digestión en microondas/ICP	%	0.12
*Azufre	Digestión en microondas/Turbidimetría	%	0.24
*Hierro	Digestión en microondas/ICP	ppm	712
*Cobre	Digestión en microondas/ICP	ppm	18.0
*Manganeso	Digestión en microondas/ICP	ppm	367
*Zinc	Digestión en microondas/ICP	ppm	47.2
*Boro	Digestión en microondas/ICP	ppm	18.0
Humedad	Método gravimétrico	%	96.4
*Materia orgánica	Calcinación	%	2.33
*Cenizas	Calcinación	%	1.31
*Carbono orgánico	Calcinación	%	1.35
*Relación C/N	Base seca		18.7

* Resultados reportados en base húmeda

Cuadro 12. Análisis de composta: BIOFISH. Realizado en Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición FERTILAB en Celaya, Guanajuato.

Determinación	Método	Unidades	Resultados
pH	NMX-FF-109-SCFI-2007		4.29
Conductividad eléctrica	NMX-FF-109-SCFI-2007	dS m	44.0
*Nitrógeno total	Dumas	%	0.67
*Fosforo (P)	Digestión en microondas/ICP	%	1.66
*Potasio (K)	Digestión en microondas/ICP	%	10.1
*Calcio	Digestión en microondas/ICP	%	3.38
*Magnesio	Digestión en microondas/ICP	%	1.13
*Sodio	Digestión en microondas/ICP	%	0.94
*Azufre	Digestión en microondas/Turbidimetría	%	1.90
*Hierro	Digestión en microondas/ICP	ppm	412
*Cobre	Digestión en microondas/ICP	ppm	14.1
*Manganeso	Digestión en microondas/ICP	ppm	59.4
*Zinc	Digestión en microondas/ICP	ppm	91.7
*Boro	Digestión en microondas/ICP	ppm	19.0
Humedad	Método gravimétrico	%	80.7
*Materia orgánica	Calcinación	%	16.1
*Cenizas	Calcinación	%	3.21
*Carbono orgánico	Calcinación	%	9.35
*Relación C/N	Base seca		13.9

* Resultados reportados en base húmeda.

4.6 Diseño experimental.

En el ciclo uno noviembre 2021 – marzo 2022 se empleó un diseño en bloques al azar para bloquear el efecto de la heterogeneidad del suelo. Se determinó el orden de los tratamientos por bloque mediante sorteo al azar. Se utilizaron cinco bloques y cinco tratamientos, por lo tanto se tuvieron 25 unidades experimentales.

En el ciclo dos, septiembre de 2022 – marzo de 2023 se aplicó un diseño completamente al azar. Hubo 25 unidades experimentales con las mismas medidas que el ciclo uno. La parcela útil fue de 2 m².

Las unidades experimentales quedaron como se muestra a continuación en el Cuadro 13 y 14 para ciclo uno y dos respectivamente. Cada unidad experimental tuvo un área de 94.9 m², 8.1 de ancho y 11.7 de largo. Los bloques y tratamientos contaron con un área total de 474.5 m². En el ciclo dos hubo pérdidas de siete parcelas útiles.

Cuadro 13. Distribución experimental del ciclo 2021-2022. Identificación de tratamientos por bloque.

B1	B2	B3	B4	B5
T2	T3	T5	T1	T4
T4	T5	T1	T3	T2
T3	T2	T4	T5	T1
T5	T1	T3	T2	T5
T1	T4	T2	T4	T3

Cuadro 14. Distribución experimental del ciclo 2022-2023. Identificación de tratamientos.

5	4	<u>3</u>	1	5
4	1	2	3	<u>2</u>
1	3	2	5	4
3	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>1</u>
5	2	1	4	<u>2</u>
_ parcela útil perdida				

4.7 Análisis de suelo

Muestreo inicial de suelo. El área empleada fue de 2,373.3 m² en total, 40.5 m de ancho por 58.6 de largo. Se utilizó AutoCAD para realizar un plano del predio y se determinaron los puntos de muestreo en zigzag, se procedió a obtener las muestras del suelo según la NOM-021-RECNAT-2000. Para el ciclo uno noviembre 2021-marzo 2022 se obtuvieron 16 muestras simples a una profundidad entre 0-30 cm que posteriormente conformaron tres muestras compuestas. Estas fueron etiquetadas como se presenta en la figura 18, siendo MC1-1, MC1-2, MC1-3. Para el ciclo dos, septiembre 2022-marzo 2023 se obtuvieron 10 muestras simples y se analizaron como muestra compuesta. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de análisis físico, químico y microbiológico de suelos, agua y plantas con acreditación PJLABS no.- 113087 e ISO/IEC 17025:2017 en el municipio de Gómez Palacio, Durango

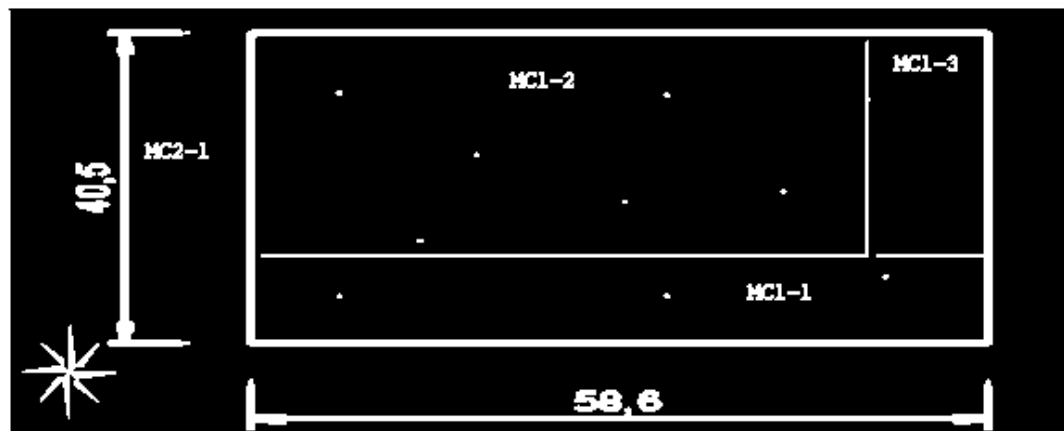


Figura 18. Plano del predio y puntos de muestreo del suelo para análisis fisicoquímico.

Los análisis del suelo se muestran divididos en los Cuadros 15, 16 y 17. Se interpreta como un suelo alcalino. Por su conductividad clasifica como suelo

moderadamente salino. Su nivel de nitratos y fosforo es alto y la cantidad de materia orgánica es medio-alto.

En el Cuadro 15 se detallan las propiedades y características físicas del suelo, es un suelo franco con densidad de 1.03 g/cm³. En el Cuadro 16 se muestra el diagnostico de fertilidad. El análisis de salinidad se desglosa en el Cuadro 17 con un pH de 8.61.

Cuadro 15. Propiedades y características físicas del suelo.

Parámetro	Unidad	Valor
Textura		Franco
CIC	meq/100g	18.49
Capacidad de campo	%	
Marchitez permanente	%	12.23
Saturación	%	44.7
Densidad aparente	g/cm ³	1.03
Arena	%	36
Arcilla	%	48
Limo	%	16
Suelo de textura		medio

Cuadro 16. Diagnóstico de fertilidad por muestra compuesta.

Parámetro	Unidad	Muestra compuesta 1-1	Muestra compuesta 1-2	Muestra compuesta 1-3	Muestra compuesta 2-1
M.O.	%	3.36	2.58	2.68	2.39
N-NO ₃	ppm	54.20	89.60	28.52	37.29
P	ppm	15.52	47.81	19.69	35.38
K	ppm	3994.64	4512.00	3387.7 3	2773.89
Ca	ppm	5578.36	32601.00	5424.51	5562.85

Mg	ppm	391.44	491.00	399.83	338.98
Fe	ppm	8.21	0.45	8.71	5.28
Cu	ppm	1.46	0.05	1.99	1.52
Zn	ppm	2.68	0.14	4.42	2.18
Mn	ppm	24.9	1.06	27.19	5.95
B	ppm	-	0.36	-	-

Cuadro 17. Análisis de salinidad: cationes y aniones solubles.

	Unidad	Muestra compuesta C1	Muestra compuesta C2
Cationes solubles			
Calcio	Meq/l	17.04	12.06
Magnesio	Meq/l	1.26	1.41
Sodio	Meq/l	16.26	7.62
Potasio	Meq/l	1.43	4.25
Aniones solubles			
Carbonatos	Meq/l	0.5	0
Bicarbonatos	Meq/l	8.5	122.02
Cloruros	Meq/l	6.25	124.11
Sulfatos	Meq/l	13.42	975.01
pH	-	8.61	
CE	dS/m	3.49	

4.8 Variables evaluadas

4.8.1 Manejo de datos de variables evaluadas

Las variables evaluadas en ambos años agrícolas empleados se dividen en dos grupos: rendimiento y calidad del forraje. Los datos fueron concentrados en hoja de Excel, luego

se realizó un ANOVA con contrastes ortogonales lineal y cuadrático en SAS para determinar tendencias. Se concentraron los resultados en cuadros en Word para visualización.

4.8.2 Rendimiento

El rendimiento se determinó en materia verde (PV) y materia seca, se utilizó un Cuadro de madera de 0.25 m² como base superficie. Se realizó una repetición al azar por unidad experimental al centro de la parcela. Se pesó el día del corte para determinar materia verde, a los 118 para ciclo uno 2021-2022 y 163 días para ciclo dos 2022-2023. Para obtener los datos de materia verde se usó balanza analítica. Transcurridos 22 días se determinó materia seca parcial para ambos cortes, este fue obtenido a peso constante en un lugar seco y aislado. Posteriormente se realizó materia seca total a 100°C durante 24 horas en la estufa de secado. El resultado fue obtenido en proporción, se multiplico por el contenido de MS parcial y se obtuvo MS total.

4.8.3 Calidad del forraje

Se analizaron variables referentes a la importancia de la dieta de los rumiantes. En este caso se realizó un análisis bromatológico a excepción de proteína y lípidos. Las variables analizadas fueron fibra detergente neutro, (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa (HC) (Van Soest et al., 1991), ceniza (AOAC, 1990) y materia seca digestible (MSD) (Moore y Undersander, 2002).

4.9 Modelo estadístico

En la siembra 2021-2022 se aplicó el experimento bajo un diseño en bloques al azar con el fin de bloquear el suelo. Posteriormente, ante la nula significancia en bloques para el ciclo uno 2021-2022 en el ciclo dos 2022-2023 se optó por un diseño completamente al azar.

Por lo tanto, para la siembra 2021-2022 se tiene que:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

Dónde:

Y_{ijk} = es la observación de la variable de respuesta

μ = media general

α_i = efecto de los tratamientos i

β_j = efecto de bloques j

ϵ_{ijk} = error experimental

Mientras para la siembra 2022-2023 con un diseño completamente al azar se tiene que:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$j = 1, 2, \dots, r$

Dónde:

Y_{ij} = es la observación de la variable de respuesta

μ = media general

α_i = efecto de los tratamientos i

ϵ_{ij} = error experimental j

Se realizó una correlación de Pearson entre las variables FDN y MS.

$$P_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{\sqrt{var(x) \cdot var(y)}}$$

$$-1 \leq P_{xy} \leq 1$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables evaluadas fueron PV, MS, ceniza, FDN, FDA, HC y MSD. Se desarrolló ANOVA con contraste ortogonal lineal y cuadrático para cada una de las variables por abono orgánico foliar por ciclo. En el Cuadro 18 se muestran los resultados de la influencia del Supermagro en las variables para el ciclo uno. Se denota que no hubo diferencia estadística para ninguna variable excepto para FDA y MSD, ambos con tendencia cuadrática $P < 0.05$. A su vez, tampoco hubo diferencia entre bloques salvo en HC. El ANOVA de FDA R^2 de 0.5412, coeficiente de variación de 8.0746 y raíz del error cuadrático medio (RECM o RMSE por sus siglas en inglés) de 27.6137. MSD R^2 0.5412, coeficiente de variación de 3.4550 y RMSE de 21.5111.

Cuadro 18. Resultados para ciclo uno, noviembre 2021 - marzo 2022 con Supermagro.

Variables	Tratamientos			Contraste	
	5	1	2	Lineal	Cuadrático
PV kg/m ²	2.918	2.142	2.716	ns	ns
MS kg/m ²	0.871	0.667	0.794	ns	ns
Ceniza g/kg	108.808	94.226	108.347	ns	ns
FDN g/kg	608.06	653.39	588.34	ns	ns
FDA g/kg	323.89	365.79	336.24		*
HC	284.16	287.59	252.09	ns	ns
MSD g/kg	636.68	604.04	627.06		*

* = diferencia significativa $P < 0.05$, ** = altamente significativo $P < 0.01$, ns = no significativo.

Con la aplicación de Biofish no hubo diferencia significativa para PV, MS, ceniza, FDN, FDA, HC y MSD en el ciclo uno como se observa en Cuadro 19. En bloques tampoco hubo diferencia estadística.

Cuadro 19. Resultados para ciclo uno, noviembre 2021 - marzo 2022 con Biofish.

Variables	Tratamientos			Contraste	
	5	3	4	Lineal	Cuadrático
PV kg/m ²	2.918	2.323	2.570	ns	ns
MS kg/m ²	0.871	0.757	0.756	ns	ns
Ceniza g/kg	108.808	108.31	100.23	ns	ns
FDN g/kg	608.06	574.23	613.55	ns	ns
FDA g/kg	323.89	360.82	322.42	ns	ns
HC	284.16	213.40	291.13	ns	ns
MSD g/kg	636.68	607.91	637.83	ns	ns

* = diferencia significativa $P < 0.05$, ** = altamente significativo $P < 0.01$, ns = no significativo.

Para el ciclo dos, se muestra en el Cuadro 20 que el Supermagro obtuvo diferencia estadística en algunas variables. Tal es el caso de PV, MS, FDN, FDA y MSD. En todos los casos previamente mencionados la significancia fue altamente significativa ($P < 0.01$) en contraste ortogonal lineal. El ANOVA del PV R^2 de 0.7323, coeficiente de variación de 28.2819 y RMSE de 0.6736.

MS R^2 de 0.7093, coeficiente de variación de 29.2017 y RMSE 0.2384. En FDN R^2 de 0.6242, coeficiente de variación de 6.7462 y RMSE de 40.5198. Para FDA R^2 de

0.6588, coeficiente de variación de 7.6611 y RMSE de 27.9497. En MSD una R^2 de 0.6588, coeficiente de variación de 3.5999 y RMSE de 21.7728. Además el ANOVA de Ceniza R^2 0.2144, coeficiente de variación 8.5567 y RMSE 8.7389, HC R^2 0.2872, coeficiente de variación 13.4061 y RMSE 31.6127.

Cuadro 20. Resultados para ciclo dos, septiembre 2022 - marzo 2023 con Supermagro.

Variables	Tratamientos			Contraste	
	5	1	2	Lineal	Cuadrático
PV kg/m ²	1.195	2.720	3.513	**	
MS kg/m ²	0.412	0.954	1.172	**	
Ceniza g/kg	107.09	98.17	100.76	ns	ns
FDN g/kg	555.68	595.05	667.99	**	
FDA g/kg	323.96	375.18	405.48	**	
HC	231.72	219.86	262.51	ns	ns
MSD g/kg	636.63	596.73	573.12	**	

* = diferencia significativa $P < 0.05$, ** = altamente significativo $P < 0.01$, ns = no significativo.

En el ciclo dos, de acuerdo con el Cuadro 21 la aplicación de Biofish obtuvo diferencia significativa en las variables PV, MS y FDN. Las tres variables fueron altamente significativas para contraste lineal ($P < 0.01$). El ANOVA del PV R^2 0.6731, coeficiente de variación 28.9444 y RMSE 0.6388. MS R^2 0.7436, coeficiente de variación 26.259 y RMSE 0.2149, la FDN R^2 0.6673 coeficiente de variación 12.7837 y RMSE 89.2420. Mientras tanto el ANOVA de Ceniza R^2 0.1419, coeficiente de

variación 10.1303 y RMSE de 10.5399. FDA R^2 0.5443, coeficiente de variación 10.9459 y RMSE 40.7314. HC R^2 0.3752, coeficiente de variación 33.1663 y RMSE 108.1133. MSD R^2 0.5443, coeficiente de variación 5.2960 y RMSE 31.7298.

Cuadro 21. Resultados para ciclo dos, septiembre 2022 - marzo 2023 con Biofish.

Variables	Tratamientos			Contraste	
	5	3	4	Lineal	Cuadrático
PV kg/m ²	1.195	2.553	2.960	**	
MS kg/m ²	0.412	0.970	1.110	**	
Ceniza g/kg	107.09	106.39	99.22	ns	ns
FDN g/kg	555.68	787.32	773.56	**	
FDA g/kg	323.96	415.24	387.91	ns	ns
HC	231.72	372.07	385.64	ns	ns
MSD g/kg	636.63	565.52	586.81	ns	ns

* = diferencia significativa $P < 0.05$, ** = altamente significativo $P < 0.01$, ns = no significativo.

De la figura 19-25 se grafican las medias de abono orgánico foliar Supermagro para PV, MS, ceniza, FDN, FDA, HC y MSD para ambos ciclos.

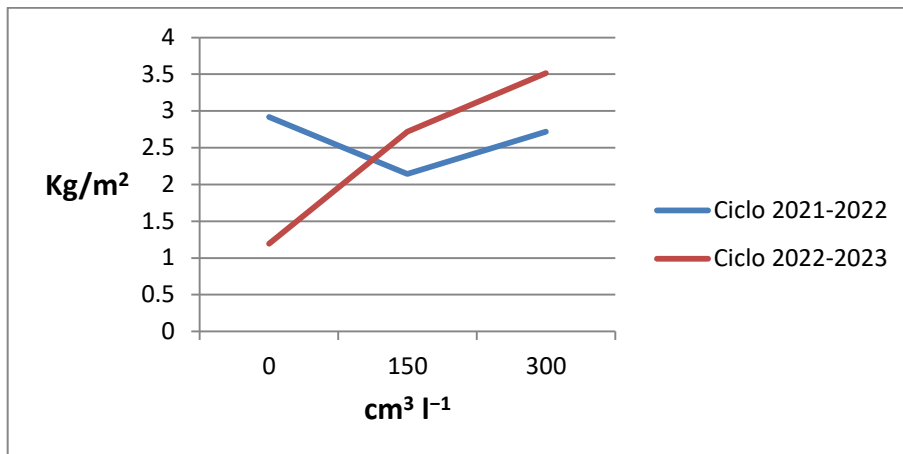


Figura 19. Producción de materia verde (kg/m²) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

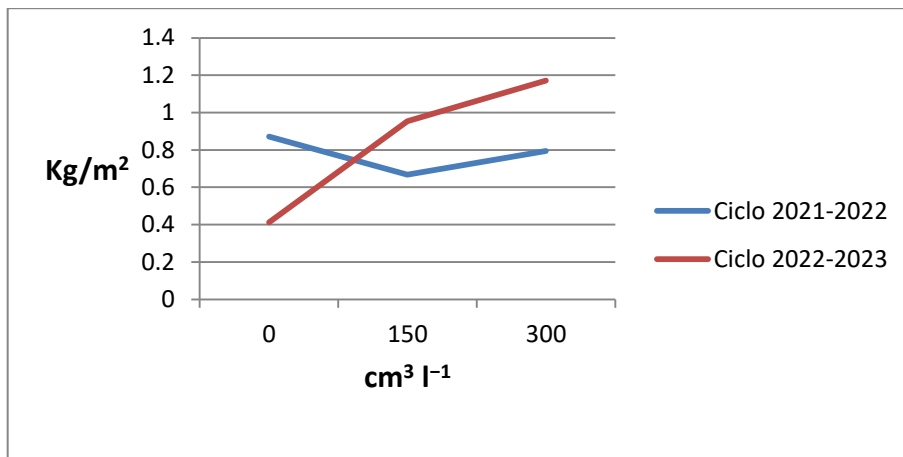


Figura 20. Producción de materia seca (kg/m²) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

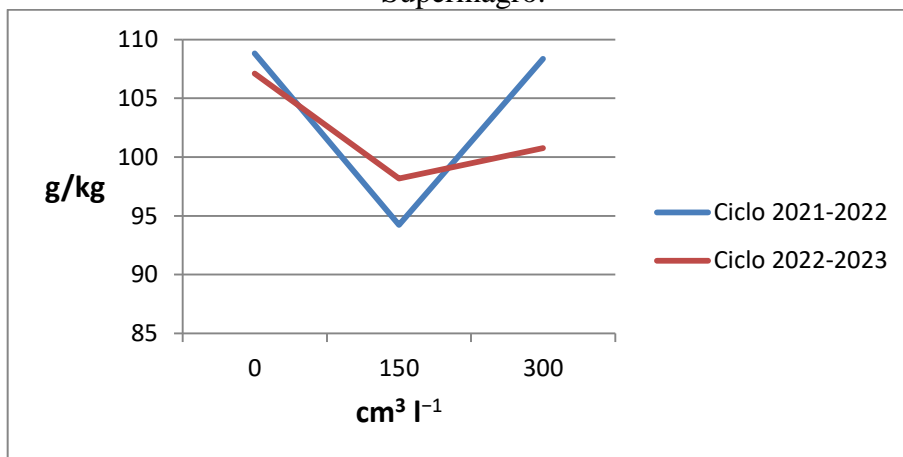


Figura 21. Producción de ceniza (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

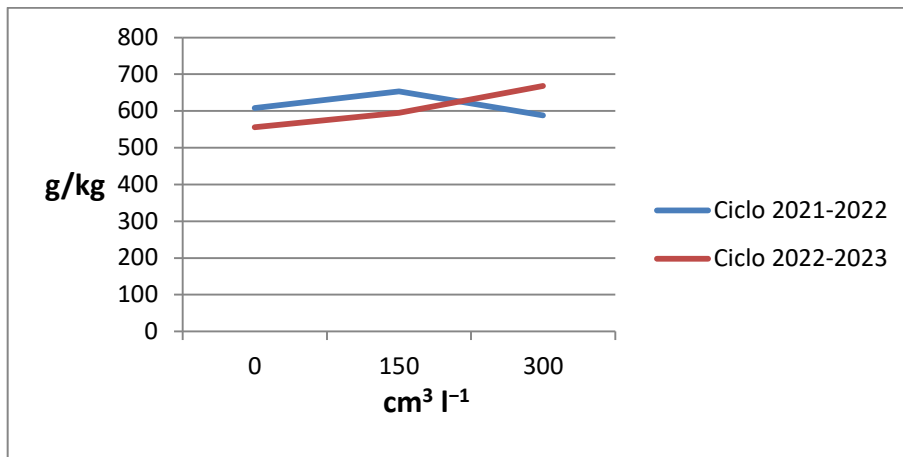


Figura 22. Producción de FDN (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

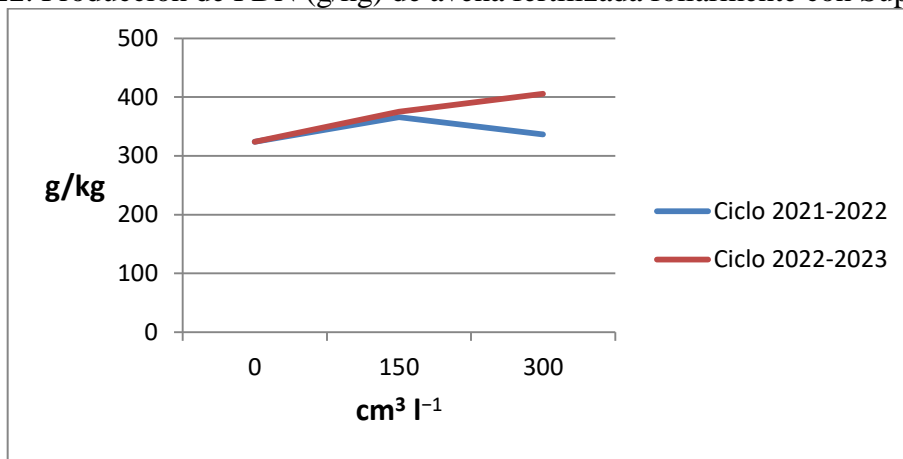


Figura 23. Producción de FDA (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

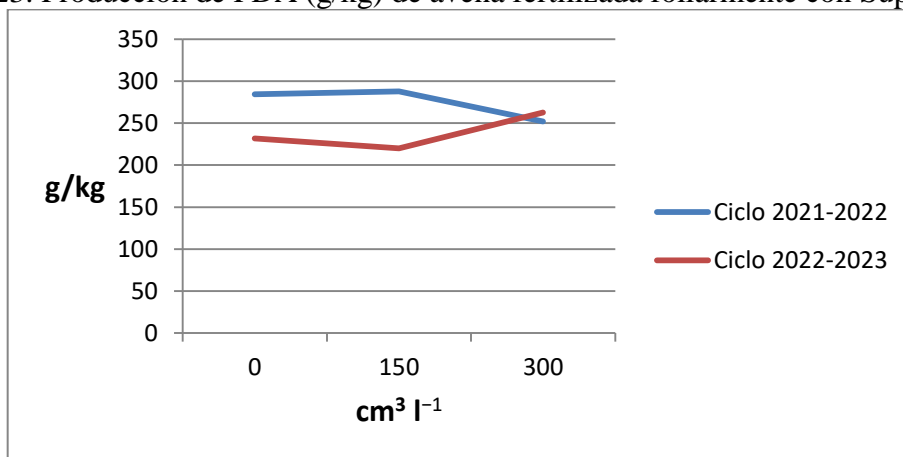


Figura 24. Producción de HC (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

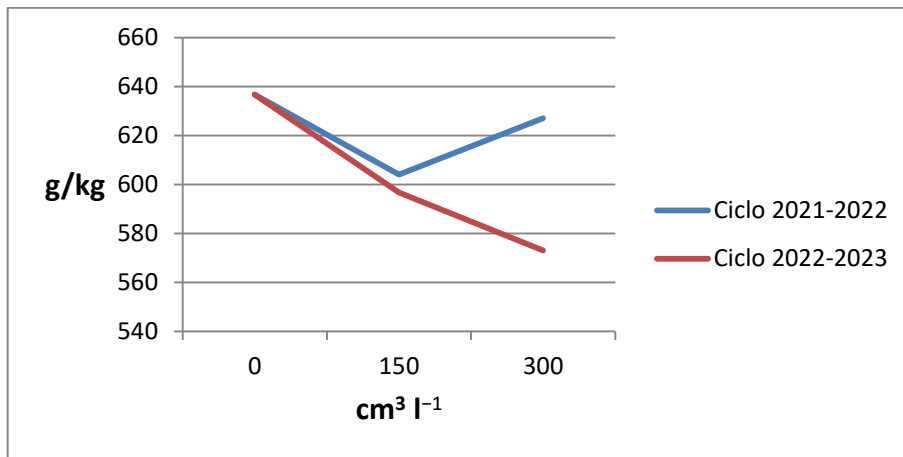


Figura 25. Producción de MSD (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Supermagro.

De la figura 26 a la 32 se grafican las medias de abono orgánico foliar Biofish para PV, MS, ceniza, FDN, FDA, HC y MSD para ambos ciclos.

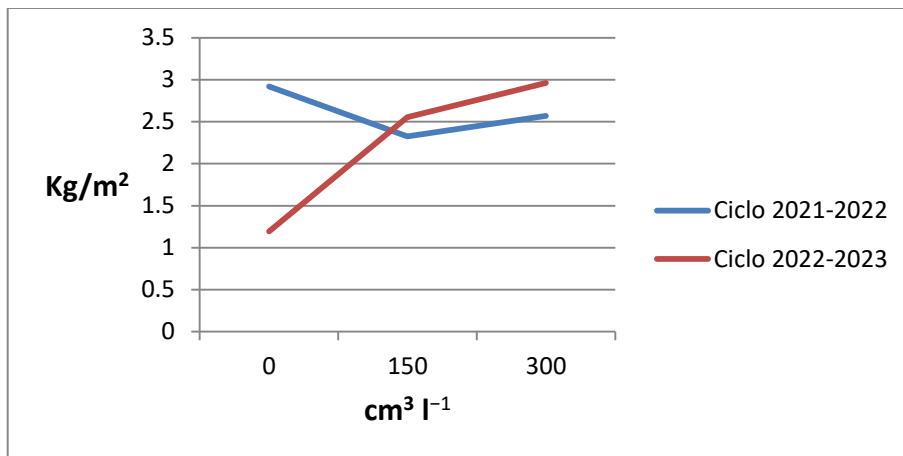


Figura 26. Producción de materia verde (kg/m²) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.

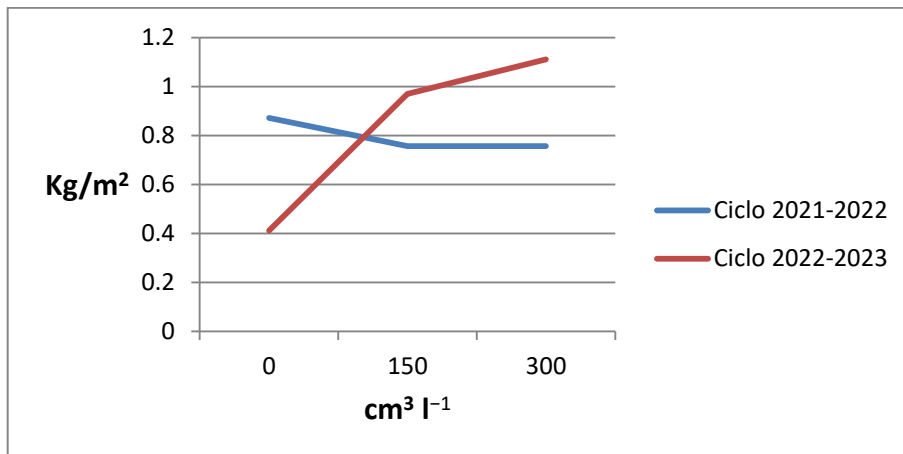


Figura 27. Producción de materia seca (kg/m²) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.

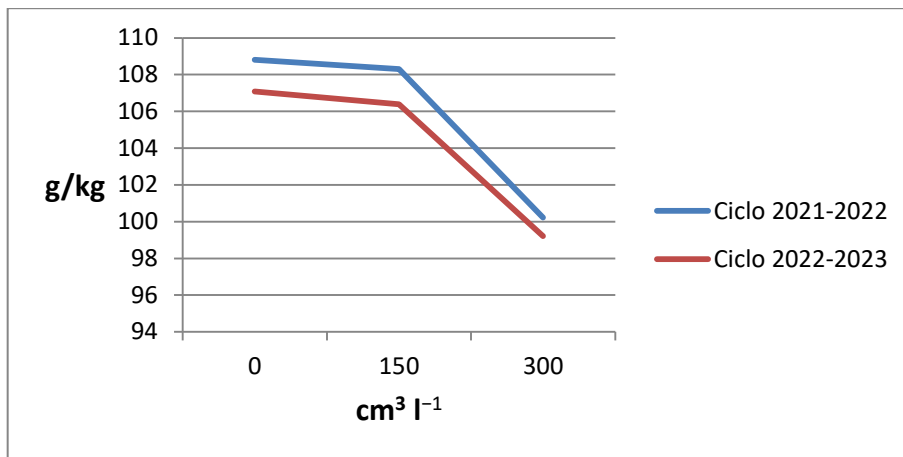


Figura 28. Producción de ceniza (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.

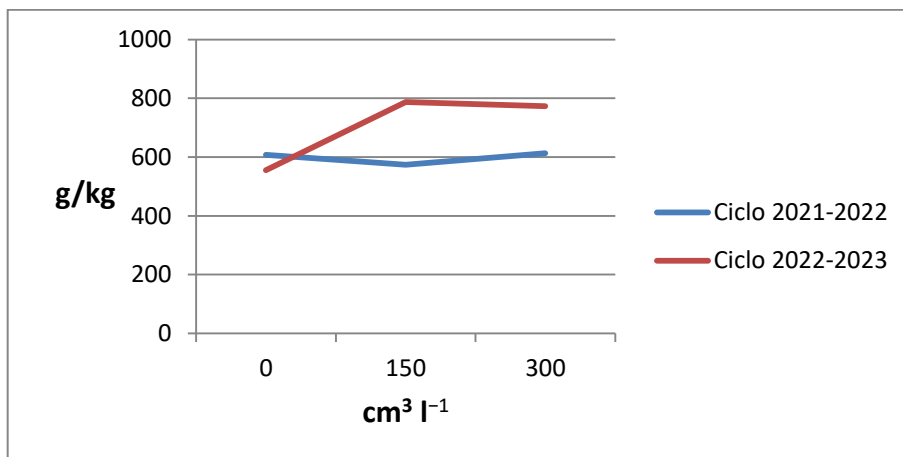


Figura 29. Producción de FDN (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish

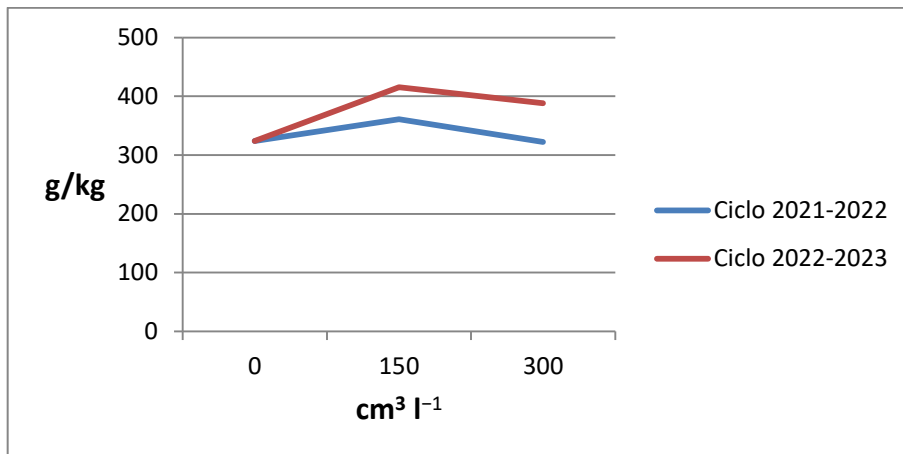


Figura 30. Producción de FDA (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.

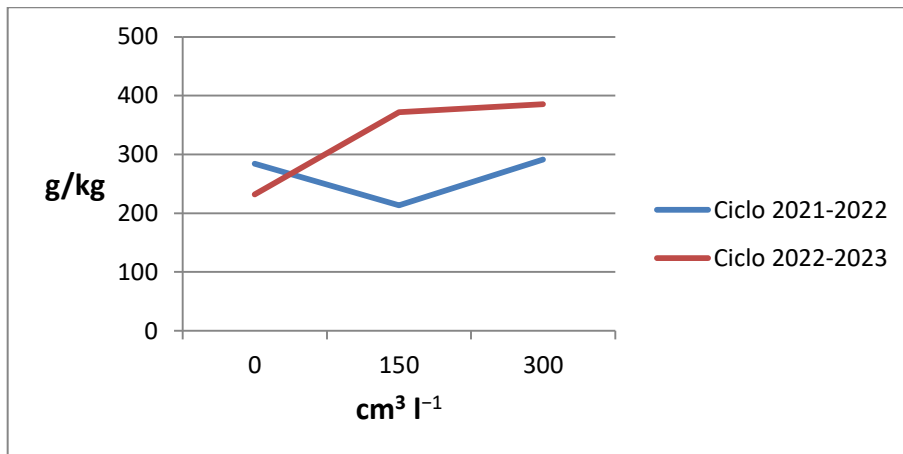


Figura 31. Producción de HC (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.

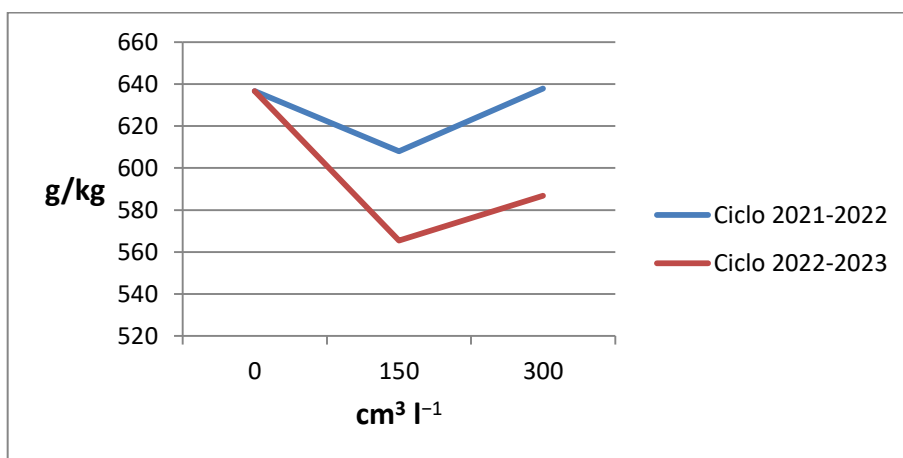


Figura 32. Producción de MSD (g/kg) de avena fertilizada foliarmente con Biofish.

Materia verde y materia seca. Como se ha denotado a lo largo de la descripción de los resultados, los abonos orgánicos foliares no tuvieron influencia en el ciclo uno. A pesar de ello se optó por replicar el experimento con conocimiento de que se contaba con la cantidad suficiente de minerales para desarrollarse en el ciclo dos, esto se determinó derivado de un análisis de la demanda mineral de avena acorde a Kelling y Fixen (1992) lo cual se constata en relación al Cuadro 1 y Cuadro 16. Los abonos orgánicos foliares Supermagro y Biofish no presentaron influencia en el ciclo uno 2021-2022 puesto que la siembra fue tardía, la fecha de siembra implicó una disminución en las unidades calor. En concordancia con Bobadilla-Meléndez et al. (2013) a medida que se adelanta la fecha de siembra del cultivo de avena, las condiciones ambientales son favorables para la producción de avena para grano, según Sosa-Montes et al. (2020) conforme inicia el llenado de grano disminuye la biomasa de hojas y tallos e incrementa el de panícula favoreciendo así la formación de grano y su rendimiento. La razón es que el cambio de temperatura cálida a fría ocasiona retraso en el desarrollo, esto implica que la siembra temprana realizada en ciclo dos 2022-2023 presento tales condiciones durante su desarrollo lo cual retraso la emergencia de la panícula, caso contrario en el ciclo uno (Aydin et al., 2010). Por lo tanto, el ciclo dos 2022-2023 estuvo sujeto a mayor tiempo de asimilación de carbohidratos debido a que la madurez se retrasó. Según Coll et al. (2019) mayor cantidad luz retrasa el envejecimiento foliar. Aunado a esto, el ciclo dos estuvo sujeto a mayor horas luz en los primeros meses de desarrollo (octubre y noviembre) en comparación al ciclo uno (diciembre y enero) con 11.6 y 10.9 vs 10.6, 10.7. Por lo cual, el ciclo dos retraso la maduración.

Mientras tanto, un estudio realizado en Cuba menciona que la fecha de siembra de la avena tiene influencia altamente significativa en la producción de MS, indicando que en etapa temprana se aumenta el rendimiento (Machado y Mendoza, 1987). Los autores redactan que las condiciones climáticas presentadas después de la siembra temprana favorecen la acumulación de UCA. Además recalcan que no hubo diferencias en las temperaturas medias para ambas fechas de siembra, sin embargo en cuanto a la UCA promedio y precipitación acumulada se encontró favorecida la siembra temprana al presentar valores mayores. En concordancia, en este trabajo el ciclo dos 2022-2023 fue objeto de siembra temprana el mes de septiembre del 2022. En contraste con el ciclo uno 2021-2022, el ciclo dos 2022-2023 registró mayor precipitación acumulada (6.4 vs .225 cm) y UCA promedio mayor (17.40 vs 13.46 UCA) durante su desarrollo fenológico, el cual se prolongó en similitud a tales autores. Además, a pesar de presentar temperaturas medias similares en ambos ciclos, el ciclo dos 2022-2023 registro mayor incidencia de temperaturas superiores a la temperatura máxima que tolera la avena de 30°C con 81 días con temperaturas mayores en comparación a 54 en el ciclo uno 2021-2022 (INIFAP, 2023). Se adjudica que la combinación de las diferencias climáticas en cuanto a UCA y precipitación influyó en el aumento de biomasa en el ciclo dos.

Es crucial señalar que la siembra de la avena se efectuó en un terreno descansado con niveles elevados de macronutrientes, principalmente N con 167.47 kg ha⁻¹, 276.86 kg ha⁻¹ y una pequeña porción del terreno con 88.126 kg ha⁻¹. P con 47.95 kg ha⁻¹, 147.73 kg ha⁻¹ y 60.8421 kg ha⁻¹. Además, un contenido de materia orgánica de 2.87%. Esto incidió en la nula significancia presentada en el ciclo uno, sin embargo para el ciclo dos fue posible observar los efectos reales de los abonos orgánicos foliares Supermagro y

Biofish. La razón es que la extracción mineral ocurrida en el ciclo uno permitió un déficit nutrimental mínimo en el suelo, en consecuencia se presentó diferencia estadística positiva para el ciclo dos 2022-2023. En concordancia, la extracción del ciclo uno 2021-2022 y la nula adición de minerales al suelo derivó en contenido limitado de N para el ciclo dos 2022-2023 con $115.22 \text{ kg ha}^{-1}$, en el caso del P aún se contenían niveles elevados con $109.32 \text{ kg ha}^{-1}$, considerando el nivel de materia orgánica es posible que se encuentre una proporción de N y P de forma orgánica lo cual dificulta su disponibilidad, siendo el requerimiento de la avena de N 120 kg ha^{-1} y 60 kg ha^{-1} de P (INIFAP, 2009). Sin embargo, se posee la cantidad suficiente de macronutrientes para el desarrollo de la avena en el ciclo dos 2022–2023, con carencia de 5 kg ha^{-1} de N solamente. Esto permitió apreciar el verdadero potencial de los abonos orgánicos foliares Supermagro y Biofish en el cultivo de la avena para el ciclo dos. El aumento del PV ocasionado por Supermagro y Biofish es alterado ante los valores de N, P y K en comparación al aporte nulo de tales minerales en el tratamiento control (Oliveira et al., 2014). Los minerales aplicados en los tratamientos fueron estimados contemplando la concentración (véase cuadro 11 y 12) y densidad de tales elementos debido al desconocimiento de la forma química en que se encuentran presentes en los abonos orgánicos foliares. Se menciona en orden de $150 \text{ cm}^3 \text{ L}$ y $300 \text{ cm}^3 \text{ L}$ a continuación, en Supermagro se asperjó por aplicación 0.0153 y $0.0292 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, 0.0541 y 0.1033 de P kg ha^{-1} , 0.5703 y 1.0886 de K kg ha^{-1} . Respecto a Biofish se asperjó por aplicación 0.1465 y $0.2797 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, de P 0.5287 y 1.009 kg ha^{-1} , de K 1.52 y $2.9011 \text{ kg ha}^{-1}$. Como se observa, la cantidad de N dispuesta por los abonos es baja en su totalidad durante todo el ciclo de desarrollo de la avena, el Supermagro aportó 0.3 kg ha^{-1} con dosis de $300 \text{ cm}^3 \text{ L}$, Biofish 3.07 kg

ha⁻¹ con la misma concentración. En cuanto al P, Supermagro 1.13 kg ha⁻¹ y Biofish 11.09 kg ha⁻¹, ambos con dosis de 300 cm³ L. Así, el déficit fue cubierto en parte por los abonos. En apariencia la cantidad de minerales dispuestos es menor a lo que requiere el cultivo edáficamente, sin embargo en realidad la eficiencia de absorción de los nutrientes es superior considerando masa/masa entre disposición foliar de N - P y fertilización de N y P al suelo recomendada. La proporción del N en relación al suelo es de 0.0038% y de P es 0.0019% según datos del INIFAP (2009) considerando la densidad del suelo donde se asentó este experimento. Respecto al N – P asperjado con los abonos orgánicos foliares en la MS de avena el Supermagro tiene una proporción de N de 0.0017% y 0.0027%, de P 0.0062% y 0.0096% a dosis de 150 y 300 cm³ L en orden. El Biofish, en cuanto a N 0.0166% y 0.0277%, de P 0.0599% y 0.0999% respectivamente 150 y 300 cm³ L. De esta manera es posible maximizar el uso de minerales, además permite incrementar la concentración y así disponer mayor nutrimento por masa del cultivo. Se vio mejorada la relación masa – masa en la aplicación de N por parte de Biofish y de P en ambos abonos.

Un estudio realizado en zacatecas determino rendimiento de MS en variedades de avena, se encontró que a medida que incrementa la ms hay significancia estadística en FDN de forma paralela (Sánchez-Gutiérrez et al., 2014). Lo anterior se corrobora con un análisis de correlación de Pearson, puesto que mayor UCA propicia un incremento en los carbohidratos asimilados por el cultivo, así ocurre una sinergia entre UCA, Ca en abonos orgánicos foliares, FDN y MS. Esto implica correlación producto del Supermagro entre FDN y MS, lo cual se explica con un R² de 0.6452 y un valor de P < 0.05, mientras en Biofish la correlación de Pearson entre las variables MS y FDN posee

R^2 de 0.581. Este valor indica una correlación positiva moderada entre ambas variables. Sin embargo, el valor p correspondiente a esta correlación es 0.0608, lo cual indica que no es estadísticamente significativo al $P < 0.05$. Por lo tanto, hay una tendencia positiva moderada entre las variables MS y FDN, pero no se puede concluir de manera significativa que haya una correlación estadísticamente significativa entre ellas. Además, una investigación reportó tendencia lineal con el uso de Supermagro en PV del fruto de fresa. Sin embargo utilizaron un rango de concentraciones inferior a los de esta investigación con 0.5%, 1%, 2% y 4% (Mazaro et al., 2013).

En esta investigación se difiere con Araujo et al. (2008) quienes reportaron mayor acumulación de MS en café a 12%, en este trabajo se encontró mejor rendimiento en PV y MS a concentración de 23% con dosis de 300 cm³ L. Tal autor menciona que concentraciones mayores de micronutrientes como el Cu, B, Fe, Mn y Zn podrían causar toxicidad a las plantas. Sin embargo, ello no ocurrió en este trabajo.

Mientras tanto, un estudio realizado en lechuga finalizó que la aplicación de Supermagro al 0.1% presentó mayor acumulación de PV y MS en comparación a té de lombricompost al 1%, té de compost al 0,1 % y agua como testigo (Bonillo et al., 2015).

A su vez, González et al. (2015) no determinaron variables directas que indican mayor PV o MS. Sin embargo, este trabajo encontró diferencia estadística a favor de concentración de 30% en altura y mayor número de frutos de sandía. Para la primera variable fue idéntico a tratamiento químico y mejor que dosis de Supermagro del 10% y blanco. Mientras tanto, para número de frutos fue superior al tratamiento químico, dosis del 10% y testigo. Los autores remarcan que el Supermagro promueve mayor actividad fotosintética y por ende translocación de nutrientes hacia el fruto. Así mismo, el área y el

número de frutos están estrechamente ligados a acumulación de PV y MS por unidad de superficie. Mientras tanto, el Biofish no cuenta con antecedentes positivos en la literatura. Se data de su aplicación al cultivo de linaza, en cambio no fue distinto estadísticamente al control en PV ni MS (Abusaief et al., 2021).

En adición, Kumar et al. (2022) aluden a que el suministro directo de nutrientes vía foliar mejora el desarrollo del cultivo. Lo anterior se atribuye al aumento del contenido de clorofila, lo cual aumenta los fotosintatos, beneficia la generación de constituyentes protoplasmáticos y a su vez acelera el proceso de división celular y elongación donde es participe el pectato de calcio. Entonces se obtiene un cultivo sano que favorece la acumulación de biomasa, tal investigación logro reducir el 25% de fertilización sintética de macronutrientes al añadir el abono orgánico foliar.

Continuando con el párrafo anterior, Sudding et al. (2021) indican que la disposición en el follaje facilita que las plantas absorban los nutrientes contenidos en el abono. Si bien los abonos orgánicos contienen cantidades limitadas de macronutrientes, poseen suficientes micronutrientes, los cuales son fundamentales para el desarrollo vegetativo. Los micronutrientes desempeñan un rol imprescindible en el aumento del metabolismo de las plantas. La aplicación en conjunto de Ca, Zn y Fe a concentración de 3%, 2% y 1% aumento estadísticamente el rendimiento de PV de sorgo en comparación al testigo (53,0 t/ha vs 35,75 t/ha) y redujo la fertilización sintética en un 25%. Los autores discuten que dicho aumento puede ser producto de la actividad del Fe, pues es representa un rol importante en enzimas como la citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa y en las que dan lugar a la síntesis de clorofila. Beneficiando la fotosíntesis, proceso que produce

el 90-95% del peso seco de una planta (Coll et al., 2019). Estos impactan positivamente al cultivo y el rendimiento final (Asif et al., 2020; Alabdalsayid et al., 2021).

El suministro de ambos abonos logro producir MS en cantidad similar a publicaciones realizadas en la región Laguna, el Supermagro 11,720 kg ha⁻¹ y Biofish 11,100 kg ha⁻¹ a dosis de 300 cm³ L. Reta-Sanchez et al. (2023) reportaron 11,244 kg ha⁻¹, a su vez, González-Cifuentes et al. (2022) 10116 kg ha⁻¹. Ambos con fertilización nitrogenada de 250 kg ha⁻¹, Núñez-Hernández et al. (2010) reportaron 14,590 kg ha⁻¹ con fertilización sintética de 160-00-00 de N-P-K y Ochoa-Espinoza et al. (2022) produjeron en ciclo O-I 2017/2018 6,081 kg ha⁻¹ y en ciclo O-I 2018/2019 7,433 kg ha⁻¹.

Se denota que los abonos orgánicos foliares tienen la capacidad de mantener rendimientos típicos de la región a pesar del aporte mínimo de macronutrientes. Lo anterior se corrobora con Monjezi-Zadeh et al. (2018). Dichos autores encontraron que la influencia de los micronutrientes (Fe, Zn, Mb, Cu, B y Mn) aumenta el PV, MS y fibra cruda en avena. Para MS tuvieron incremento de 300 g/m². Además, en fibra cruda hubo un aumento del 7%.

Fibra detergente neutro (FDN). Oliveira et al. (2014) mencionan que se tiene una cantidad óptima de calcio en el Supermagro, adjudican que tal elemento aumenta la masa de la pared celular. Influencia directamente la formación de pectato de calcio, el cual es importante para la acumulación de tejido puesto que suele representar el 30% de MS de la pared celular I. Este compuesto es importante en la elongación celular y por

ende acumulación de biomasa. Tiene relación al aumento de la FDN en los resultados de este trabajo en comparación al testigo. Para sumar a lo anterior, Xin et al. (2023) corroboran el comentario predecesor puesto que confirman que no solo influencia en la generación de FDN por la síntesis de pectinas. Puesto que el calcio actúa como activador transcripcional del complejo de síntesis de celulosa, la cual oscila en 30-40% de MS típicamente. Mientras tanto, continuando con la síntesis de FDN un estudio para evaluar la expresión de la proteína WAKL4 encontró que esta es inducida por el Na⁺, K⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, y Zn²⁺. Tales minerales se encuentran contenidos en los abonos aplicados en esta investigación a excepción del níquel. Los autores concluyeron que dicha proteína responde a minerales y así favorece el desarrollo vegetativo. El grupo de proteínas al que pertenece WAKL4 forman parte de la pared celular debido a que se unen a pectinas (Hou et al., 2005).

Un estudio investigo la influencia de la aspersion de Ca, Zn y Fe en FDN y FDA, se encontró que estos minerales disminuyen la cantidad de estos compuestos en sorgo. Los resultados son contrastantes a lo que se reporta en este trabajo estadísticamente hablando, el control presento mayor contenido en ambas fibras. Sin embargo, numéricamente hablando los valores medios son similares con los resultados del Supermagro con 67.8% para Ca 3% + Zn 2% + Fe 1% (Asif et al., 2020).

La FDN de avena Cuauhtémoc en este trabajo fue significativa con la aplicación ambos abonos orgánicos foliares en el ciclo dos, las medias con este abono orgánico foliar fueron: 555.68, 595.05 y 667.99 g/kg MS en Supermagro de 0 a 150 y 300 cm³ L, en Biofish las medias fueron de 555.68, 787.32 y 773.56 de igual orden.

En el ciclo uno no hubo diferencia estadística puesto que el la cantidad elevada de nitrógeno en el suelo no permitió expresar el potencial de los abonos orgánicos foliares, situación previamente reportada en abonos orgánicos al suelo (Trujano-San Luis et al., 2008). Las medias del ciclo uno para Supermagro y Biofish fueron 608.06, 653.39, 588.34 y 608.06, 574.23 y 613.55 en orden 0 cm³ L, 150 cm³ L y 300 cm³ L. Lo anterior se respalda con la nula correlación de Pearson, lo cual sugiere que los valores de FDN para el ciclo uno no influenciaron el rendimiento. Por lo tanto se atribuye al N del suelo que maximizo el rendimiento de todos los tratamientos. Esto se corrobora con un experimento realizado en avena bajo fuente de nutrientes orgánico contra blanco, el cual determino que en el primer ciclo no fue posible encontrar diferencia estadística entre tratamientos puesto que en similitud a este trabajo, el estudio se desarrolló en un suelo descansado con alto contenido de nutrientes. Lo anterior es atribuido según los autores al exceso de nutrientes en el suelo, esto para variables de calidad del forraje como proteína cruda, FDN y FDA (Trujano-San Luis et al., 2008). Debido a que a medida que aumenta la fertilización nitrogenada decrece la FDN y FDA ya que mejora la relación PC – FDA (Kaur y Goyal, 2017).

En relación a lo reportado por otros autores se aprecia que numéricamente los valores producto del T5 presentan mayor concordancia, el estado fisiológico masoso lechoso muestra mayor acumulación de FDN en todo el ciclo vegetativo de la avena, por lo tanto se encuentra en niveles máximos a tal etapa (Ramírez-Ordóñez et al., 2013; Ramírez et al., 2015). Reta-Sanchez et al. (2023) obtuvieron 612.3 g/kg MS FDN, Núñez-Hernández et al. (2010) 58.58% o bien, 585.8 g/kg MS y Ochoa-Espinoza et al. (2022)

542 g/kg en ciclo O-I 2017-2018, en el ciclo 2018-2019 encontraron 620 g/kg. El NRC (2001) establece un valor de 58%, la razón del aumento en los valores aquí reportados para tal variable se atribuye a adición de calcio de forma foliar al cultivo en suelo calcáreo, la baja movilidad del calcio de órganos longevos a de reciente formación permite mantener valores típicos reportados por la dosis de 0 cm³ L. La disposición de Ca en órganos nuevos aumento la síntesis de celulosa en estas y por ende repercutió en la concentración de FDN. En el caso de Biofish, se atribuye la diferencia estadística de forma parcial a la adición de calcio puesto que la relación ideal K/Ca es desconocida en la mayoría de los cultivos en aplicación de productos asimilables por el follaje, sin embargo el ratio de Supermagro presenta mayor similitud (1.4 vs. 2.99) con otro trabajo que reporto 0.64 (Salas-Rivera et al., 2020). Por lo tanto, es posible que la mayor concentración de K en el Biofish halla influenciado de forma importante la síntesis de WAKL4 al poseer tres veces más K en comparación al Supermagro, pues los autores mencionan que a mayor concentración de los minerales se sobre expresa su síntesis (Hou et al., 2005).

Fibra detergente acida (FDA). En esta variable media la síntesis de lignina y celulosa, la relación de los abonos orgánicos foliares y la celulosa ya fue expuesta en la discusión de FDN, así ya no se discutirá en este apartado. Ahora, referente a la síntesis de lignina, Dumas et al. (2008) mencionan que la proteína THESEUS1 la cual interviene en el proceso de lignificación se ve influenciada por la presencia del calcio. Por otra parte, la síntesis de lignina requiere de azufre. Tal elemento forma parte de la molécula 4-coumaroil-CoA la cual es precursora de la lignina. Los valores medios del Supermagro

para FDA a 0 cm³ L, 150 cm³ L y 300 cm³ L fueron de 323.89 g/kg, 365.79 g/kg y 336.24 g/kg en el ciclo uno con tendencia cuadrática, mientras 323.96 g/kg, 375.18 g/kg y 405.48 g/kg respectivamente en el ciclo dos, con tendencia lineal. El valor máximo se atañe a la dosis de 300 cm³ L con una cantidad similar a Núñez-Hernández et al. (2010) con FDA de 38.8%, Reta-Sanchez et al. (2023) con 395.8 g/kg y Ochoa-Espinoza et al. (2022) 340 g/kg en ciclo O–I 2017–2018, en el ciclo 2018–2019 encontraron 437.9 g/kg. El NRC (2001) establece un valor de 36.4% en esta variable para el forraje de la avena. A pesar de la relación del calcio con la FDA, también repercute en su expresión máxima las temperaturas presentadas durante el desarrollo del cultivo puesto que la pared celular funge como barrera ante las adversidades climáticas, principalmente contra la temperatura. En la literatura no se ha reportado algún trabajo en el que se observe la relación de un producto de un total de dos o más sobre la FDA, por lo tanto se decidió emplear el canon coincidencia + diferencia desarrollado por Mill, (1882). Tal canon adjudica que la única coincidencia y la única diferencia entre dos o más objetos de investigación son la causa del efecto, por lo anterior se deduce que el balance K/Ca origino un antagonismo entre ambos minerales. El abono Biofish tuvo un ratio de 2.99 y el Supermagro 1.4. Si bien, se cuenta con antecedentes que relacionan distintas variables en tomate en solución nutritiva con el ratio K/Ca, no se ha reportado qué relación existe con la variable FDA en forrajes por lo cual se toma con cautela. En el trabajo realizado en tomate se concluye como balance óptimo el ratio 0.64 para maximizar el peso en verde, sin embargo este trabajo fue realizado para hidroponía (Salas-Rivera et al., 2020).

Un estudio con aspersión de Ca, Zn y Fe reportó en sorgo que a fertilización de estos elementos menor cantidad de FDA estadísticamente. Los contenidos máximos de FDA

(41.00 %) se observaron en el blanco y los contenidos más bajos de FDA (31.67 %) se registraron cuando se aplicaron en conjunto tales minerales. Ellos atribuyen la reducción de la FDA al Zn, pues argumentan que tiene la facultad de aminorar el contenido de fibras y carbohidratos no estructurales (Asif et al., 2020). Por otra parte, acorde a Dumont (2005), el contenido de FDA aumenta linealmente en relación a la MS.

Hemicelulosa. Esta variable no presentó diferencia estadística en ningún ciclo ni por algún abono orgánico foliar. Los resultados son satisfactorios puesto que este compuesto no se ve influenciado por algún mineral. Los valores típicos oscilaron en rango de 250 g/kg \pm 50 (Ramírez-Ordóñez et al., 2013)

Materia seca digestible. El aumento de la FDA y su relación inversamente proporcional a la digestibilidad implicó una disminución en la digestibilidad (Moore y Undersander, 2002). En este trabajo la digestibilidad decreció de forma lineal conforme aumento la dosis del abono orgánico Supermagro. Paso de 636.63 g/kg, 596.73 g/kg a 573.12 g/kg con la dosis de 0, 150 y 300 ordenadamente. Mientras otros trabajos han reportado digestibilidad superior en la región. Núñez-Hernández et al. (2010) precisaron 68.9%, o bien 689 g/kg. Ochoa-Espinoza et al. (2022) 606 g/kg en ciclo O-I 2017-2018, en el ciclo 2018-2019 encontraron 665.7 g/kg.

Ceniza. En cuanto a la variable de ceniza los resultados no reportaron significancia, los valores rondaron el 10%, o bien 98-110 g/kg. Acorde al NRC (2001), el rango fue similar, ahí se establece un 10% de concentración de ceniza. La dosis de los abonos orgánicos foliares Supermagro y Biofish no influenciaron la concentración.

CONCLUSIONES

La avena variedad Cuauhtémoc con la aplicación del abono orgánico Supermagro presentó tendencia cuadrática en FDA en la siembra tardía (ciclo uno) así como en MSD.

Los abonos orgánicos foliares Supermagro y Biofish aumentaron el rendimiento de la avena variedad Cuauhtémoc en el segundo ciclo. Sin embargo, disminuyen la calidad bromatológica del cultivo al incrementar el contenido de FDN y FDA y por ende desciende la MSD.

LITERATURA CITADA

- Abusaief, H. M. A. A., Alhaddad, A., y Bulsod, N. B. (2021). Study on bio-fish extract and cultivation dates to improve production of flax (*Linum usitatissimum*) in Omar-Mukhtar area, Libya. *Research on Crops*, 22(3), 536-548.
- Adesogan, A. T., Arriola, K. G., Jiang, y., Oyebade, A., Paula, E. M., Pech-Cervantes, A. A., ... y Vyas, D. (2019). Symposium review: Technologies for improving fiber utilization. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5726-5755.
- Adnan, M., Abbas, B., Asif, M., Hayyat, M. S., Raza, A., Khan, B. H., ... y Khalid, M. (2020). Role of micro nutrients bio-fortification in agriculture: A review. *International Journal of Environmental Sciences y Natural Resources*, 24(4), 209-213.
- Alabdalsayid, K. K., y Al-Freeh, L. M. (2021, November). Effect of Phosphate Fertilization and Iron Spraying on Growth Parameter and yield of Oat (*Avena Sativa L.*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 923, No. 1, p. 012086). IOP Publishing.
- Alabdulla, S. A. (2019). Effect of foliar application of humic acid on fodder and grain yield of oat (*Avena sativa L.*). *Research on Crops*, 20(4), 880-885.
- Alcántar-González, G., y Trejo-Téllez, L. I. C. (2009). Nutrición de cultivos (No. Ps4246). Mundi Prensa,.
- Alrubaiee, S. H., Alfatlawy, Z. H., y Jasim, A. H. (2019). Response of two oat varieties to foliar fertilization with potassium and urea fertilizers. *Plant Archives*, 19(1), 334-338.
- Araújo, J. B. S., Carvalho, G. J. D., Guimarães, R. J., Morais, A. R. D., y Cunha, R. L. D. (2008). Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiro.
- Arsic, M., Le Tougaard, S., Persson, D. P., Martens, H. J., Doolette, C. L., Lombi, E., ... & Husted, S. (2020). Bioimaging techniques reveal foliar phosphate uptake pathways and leaf phosphorus status. *Plant Physiology*, 183(4), 1472-1483.
- Ashton, F. M., y Crafts, A. S. (1981). Mode of action of herbicides.
- Asif, M., Abbas, B., Ahsan Aziz, M. A., Safdar, M. E., Ali, A., Raza, A., y Hanif, M. S. (2020). Bio-fortification of calcium, zinc and iron improves yield and quality of forage sorghum (*Sorghum bicolor L.*). *JPAA*, 5(3).
- Aydın, N., Mut, Z., Mut, H., & Ayan, İ. (2010). Effect of autumn and spring sowing dates on hay yield and quality of oat (*Avena sativa L.*) genotypes.

- Beck, V., y Ladwig, B. (2021). Ethical consumerism: veganism. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(1), e689.
- Bethwell, C., Sattler, C., y Stachow, U. (2022). An analytical framework to link governance, agricultural production practices, and the provision of ecosystem services in agricultural landscapes. *Ecosystem Services*, 53, 101402. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101402>
- Bobadilla Meléndez, M., Gámez Vázquez, A. J., Ávila Perches, M. A., García Rodríguez, J. J., Espitia Rangel, E., Moran Vázquez, N., & Covarrubias Prieto, J. (2013). Rendimiento y calidad de semilla de avena en función de la fecha y densidad de siembra. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(7), 973-985.
- Bolton, P., Despres, M., Da Silva, L. A. P., Samama, F., y Svartzman, R. (2020). *The green swan*. BIS Books.
- Bonillo, M. C., Filippini, M. F., y Lipinski, V. (2015). Efectos de abonos orgánicos foliares: té de compost, té de lombricompost y supermagro en la productividad en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). In V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (7 al 9 de octubre de 2015, La Plata, Argentina).
- Bourgeois, I., Clément, J. C., Caillon, N., & Savarino, J. (2019). Foliar uptake of atmospheric nitrate by two dominant subalpine plants: insights from in situ triple-isotope analysis. *New Phytologist*, 223(4), 1784-1794.
- Brett, C. T., y Waldron, K. W. (1996). *Physiology and biochemistry of plant cell walls* (Vol. 2). Springer Science y Business Media. 45.
- Cecchini, T., y Ticli, B. (2016). *El libro de las hierbas medicinales*. Parkstone International. España. 131-132.
- Cintra, R. M. G., Malheiros, J. M., Ferraz, A. P. C. R., y Chardulo, L. A. L. (2018). A review of nutritional characteristics of organic animal foods: eggs, Milk, and meat. *Nutr Food Technol Open Access*, 4(1).
- CNA. (2002). *Compendio básico del agua*. México. Recuperado el 26 de junio del 2023, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259366/_2002_CBA2002.pdf.
- Coll, J. B., Rodrigo, G. N., Garcia, B. S., y Tamés, R. S. (2019). *Fisiología vegetal*. Comercial Grupo ANAyA, SA. Madrid.
- CONAGUA. (2021). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado, Año Agrícola 2020-2021*. Recuperado el 26 de junio del 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-temporal-tecnificado>.

- Chatterjee, C., Pong, F., y Sen, A. (2015). Chemical conversion pathways for carbohydrates. *Green Chemistry*, 17(1), 40-71.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., y Santos Villalobos, S. D. L. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.
- Dangi, S. (2021). Oat as green fodder and its intercropping benefits: A review. *Agricultural Reviews*, 42(1), 66-72.
- Delmer, D. P., y Amor, y. (1995). Cellulose biosynthesis. *The plant cell*, 7(7), 987.
- Dhaliwal, S. S., Sharma, V., y Verma, G. (2021). Agronomic Strategies for Improving Micronutrient Use Efficiency in Crops for Nutritional and Food Security. En: R. Bhatt, R. Swaroop-Meena, A. Hossain (Eds). In *Input Use Efficiency for Food and Environmental Security* (pp. 123-156). Springer, Singapore.
- Dumas, B., Bottin, A., Gaulin, E., y Esquerré-Tugayé, M. T. (2008). Cellulose-binding domains: cellulose associated-defensive sensing partners?. *Trends in plant science*, 13(4), 160-164.
- Dumont, J. C., Anrique, R., & Alomar, D. (2005). Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. *Agricultura Técnica*, 65(4), 388-396.
- Epstein, E., y A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Sinauer Sunderland. United Kingdom. 380
- Espinosa-Negrín, A. M., López-González, L. M., y Casdelo-Gutiérrez, N. L. (2022). Pretratamientos aplicados a biomásas lignocelulósicas: una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación. *Revista Cubana de Química*, 34(1), 87-110.
- FAO. (2019). Cultivos y productos de ganadería. Recuperado el 26 de junio del 2023, en <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., y Brown, P. (2015). Fertilización Foliar: Principios Científicos y Práctica de Campo. Paris, Francia: Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes. 159.
- Fernández, V., y Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36-68.

- FIRA. (2022) Agrocostos. Recuperado el 26 de junio del 2023 de: <https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>
- Franke, W. (1986). The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to. In *Foliar Fertilization: Proceedings of the First International Symposium on Foliar Fertilization*. Springer Science & Business Media. Vol. 22, p. 17.
- Gong, CS., Chen, L.F., Flickinger, M.C., Tsao, G.T. (1981). Conversion of hemicellulose carbohydrates. En: Karl Sch& (Ed). *Bioenergy. Advances in Biochemical Engineering*, vol 20. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-11018-6_4.
- González, J. D., Mosquera, J. D., y Trujillo, A. T. (2015). Efectos e impactos ambientales en la producción y aplicación del abono supermagro en el cultivo de sandía. *Ingeniería y Región*, 13, 103-111.
- Gris, E. (1843). Mémoir relatif à l'action des composés solubles ferrugineux sur la végétation. *Compt. Rend. Acad. Sci.*
- Gurmani, Z. A., Khan, S., Khan, A., Farid, A., Khan, S., y Hameed, M. U. (2021). Optimization of Biostimulants Application for Phenology and Quality of Oats. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 64.
- Hoffman, P. C. (2005). Ash content of forages. *Focus on forage*, 7(1), 1-2.
- Hou, X., Tong, H., Selby, J., DeWitt, J., Peng, X., & He, Z. H. (2005). Involvement of a cell wall-associated kinase, WAKL4, in Arabidopsis mineral responses. *Plant physiology*, 139(4), 1704-1716.
- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256424/B_sico-Avena.pdf.
- Ikram, M., y Rehman, A. P. D. H. U. (2020). Oats in a global importance, production and improvement trends. *Cereal grain*, 119.
- INIFAP (2023). IRRINET. Programación de riegos. Recuperado el 26 de junio del 2023, en <http://riego.inifap.gob.mx/mobile/>.
- INIFAP. (2009). Paquete tecnológico para el cultivo avena para grano. Recuperado el 26 de junio del 2023, de <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Paquetes2012/58.pdf>.
- INIFAP. (2012). La avena en México. Folleto Técnico No. 22. Recuperado el 26 de junio del 2023, de <http://www.inifapcirne.gob.mx/Revistas/Archivos/FICHAS%20TECNOLOGICAS%202012.pdf>.

- Iqbal, M., Abdul, H., Muzammil, H., Imtiaz, H., Tanveer, A., Saira, I., y Anser, A. (2019). Uma Meta-Análise sobre o Impacto da Adubação Foliar com Micronutrientes na Produtividade e Geração de Receitas de Culturas Forrageiras. *Planta Daninha*, 37. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100046>.
- Jankowski, K. J., Sokólski, M., Dubis, B., Krzebietke, S., Żarczyński, P., Hulanicki, P., & Hulanicki, P. S. (2016). Yield and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) seeds in response to foliar application of boron. *Agricultural and Food Science*, 25(3), 164-176.
- Kaur, G., & Goyal, M. (2017). Effect of growth stages and fertility levels on growth, yield and quality of fodder oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, 9(3), 1287-1296.
- Kelling, K. A., y Fixen, P. E. (1992). Soil and nutrient requirements for oat production. *Oat science and technology*, 33, 165-190.
- Kumar, D., Singh, M., yadav, M. R., Makarana, G., Kushwaha, M. A. N. I. S. H., Dutta, S., ... y Rajesh, B. (2022). Growth and yield performance of fodder oats (*Avena sativa*) grown under different nutrient management practices. *Indian J. Agric. Sci*, 92, 267-272.
- Kutasy, E., Buday-Bódi, E., Virág, I. C., Forgács, F., Melash, A. A., Zsombik, L., ... y Csajbók, J. (2022). Mitigating the Negative Effect of Drought Stress in Oat (*Avena sativa* L.) with Silicon and Sulphur Foliar Fertilization. *Plants*, 11(1), 30.
- Kuzyakov, y., y Zamanian, K. (2019). Reviews and syntheses: Agropedogenesis—humankind as the sixth soil-forming factor and attractors of agricultural soil degradation. *Biogeosciences*, 16(24), 4783-4803.
- Lee, M. A. (2018). A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. *Journal of plant research*, 131, 641-654.
- Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., y Li, T. (2019). Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. *Advances in water resources*, 127, 209-224.
- Llewellyn, D. (2018). Does global agriculture need another green revolution. *Engineering*, 4(4), 449-451.
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., y Terrazas, T. (2021). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y bosques*, 27(2).
- Machado, R., & Mendoza, F. (1987). Efecto del momento de siembra y de cosecha en la producción de forraje de *Avena sativa*. *Pastos y Forrajes*, 10(3).

- Madrid, E., Chandler, J. W., y Coupland, G. (2021). Gene regulatory networks controlled by FLOWERING LOCUS C that confer variation in seasonal flowering and life history. *Journal of Experimental Botany*, 72(1), 4-14
- Martínez, A. F. (2005). *Manual de pastos y forraje altoandinos. Soluciones Prácticas*. Lima, Peru. 53.
- Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., Turrall, H., y Burke, J. (2017). Water pollution from agriculture: a global review. Executive summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 35.
- Mazaro, S. M., Mangnabosco, M. C., Citadin, I., Paulus, D., y de Gouvea, A. (2013). Produção e qualidade de morangueiro sob diferentes concentrações de calda bordalesa, sulfocálcica e biofertilizante supermagro. *Semina: Ciências Agrárias*, 1(34), 3285-3294.
- Mertens, D. R., y Grant, R. J. (2020). Digestibility and intake. *Forages: the science of grassland agriculture*, 2, 609-631.
- Mill, J. S. (1881). *A system of logic, ratiocinative and inductive: Being a connected view of the principles of evidence and the methods of scientific investigation*. Harper & Brothers. New York. 1182
- Monjezi-Zadeh, M., Roshanfekar, H., Hassibi, P., y Sorkhi, B. (2018). Evaluation effect of macro and micro nutritional elements on quantitative and qualitative characteristics of oat crop (*Avena sativa* L.). *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(1), 33-46.
- Moore, J. E., y Undersander, D. J. (2002, January). Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. In *Proceedings 13th annual Florida ruminant nutrition symposium* (Vol. 32, pp. 16-29).
- Morandi, B. L., Manfrini, P., Losciale, M., Zibordi, y Corelli-Grappadelli, L. (2010). The positive effect of skin transpiration in peach fruit growth. *Journal of Plant Physiology*. 167, 1033-1037.
- Mutai, P. A. (2020). The potential use of rabbit urine as a bio fertilizer foliar feed in crop production. *Africa Environmental Review Journal*, 4(1), 138-147.
- NRC. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- Niu, G. W. (2021). Availability of soil base cations and micronutrients along soil profile after 13-year nitrogen and water addition in a semi-arid grassland. *Biogeochemistry*, 152(2), 223-236.

- Núñez Hernández, G., Payán García, J. A., Pena Ramos, A., González Castañeda, F., Ruiz Barrera, O., & Arzola Alvarez, C. (2010). Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(2), 85-98.
- Ochoa-Espinoza, X. M., Reta-Sánchez, D. G., Cano-Ríos, P., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, E., García-Martínez, J. E., ... & Quiroga-Garza, H. M. (2022). Rendimiento y valor nutritivo de cereales y cártamo forrajero en la Comarca Lagunera. *Biotechnia*, 24(2), 142-148.
- Ochoa-Noriega, C. A., Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., y Mesa-Vázquez, E. (2021). Overview of Research on Sustainable Agriculture in Developing Countries. The Case of Mexico. *Sustainability*, 13(15), 8563.
- Oliveira, J. R. D., Gomes, R. L., Araújo, A. S., Marini, F. S., Lopes, J. B., y Araújo, R. M. (2014). Estado nutricional e produção da pimenteira com uso de biofertilizantes líquidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 1241-1246.
- ONU. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations: New York, NY, USA.
- Orozco-Meléndez, L. R., Hernández-Rodríguez, O. A., Cruz-Alvarez, O., Cano-Medrano, R., Jacobo-Cuellar, J. L., Parra-Quezada, R. A., ... y Ojeda-Barrios, D. L. (2021). Foliar application of some growth bioregulators and their effect on the yield and nut quality in pecan. *Journal of Elementology*, 26(2).
- Panfilova, A., Gamayunova, V., y Smirnova, I. (2020). Influence of fertilizing with modern complex organic-mineral fertilizers to grain yield and quality of winter wheat in the southern steppe of Ukraine. *Journal of Agricultural Science*. 31 (2), 196-201.
- Parodi, L. R. (1939). Gramíneas bonarienses.
- Patil, B., y Chetan, H. T. (2018). Foliar fertilization of nutrients. *Marumegh*, 3(1), 49-53.
- Pérez, G. (2020). Avena: utilización de productos foliares en verdeos de avena, en un año con condiciones ambientales desfavorables. *AER Bolívar, INTA*. 65-68.
- Polko, J. K., y Kieber, J. J. (2019). The regulation of cellulose biosynthesis in plants. *The Plant Cell*, 31(2), 282-296.
- Quintero-Herrera, S., Zwolinski, P., Evrard, D., Cano-Gómez, J. J., Botello-Álvarez, J. E., y Rivas-García, P. (2022). The role of livestock feed fertilization as an improvement of sustainability in the dairy sector. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 448-458.

- Rahil, M., y Qanadillo, A. (2015). Effects of fertilization patterns using mineral and organic fertilizers on growth and yield of cucumber under greenhouse. *International Journal of Plant & Soil Science*, 6(4): 244-253
- Ramírez, S., Domínguez, D., Salmerón, J. J., Villalobos, G., & Ortega, J. A. (2015). Contreo en surco y etapa de madurez sobre la producción y calidad del forraje de variedades de avena. *Archivos de zootecnia*, 64(247), 237-244.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G., y Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(4), 395-403.
- Rebuffo, M. (1998). Avena: manejo del cultivo para producción de forraje. INIA Hoja de Divulgación; 66. Uruguay. 6.
- Reta Sánchez, D. G., Sánchez Duarte, J. I., Ochoa Martínez, E., González Cifuentes, A. I., Reyes González, A., & Rodríguez Hernández, K. (2023). Rendimiento y valor nutricional de brásicas forrajeras en comparación con forrajes tradicionales. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 14(1), 237-247.
- Reyes, P. (1980). Diseño de experimentos aplicados: agronomía, biología, química, industrias, ciencias sociales, ciencias de la salud.
- Roa, J. M. (2016). Supermagro: El abono orgánico del futuro. *Revista Innovación Agrícola*, 24-27.
- Rodrigues, A. C., Cavalcante, L. F., Oliveira, A. P. D., Sousa, J. T. D., y Mesquita, F. O. (2009). Produção e nutrição mineral do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizante supermagro e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, 117-124.
- Rodríguez-Hernández, K., Ochoa-Martínez, E., Sánchez-Duarte, J. I., Núñez-Hernández, G., y González-Avalos, R. (2018). Proceso de crianza de becerras y vaquillas de reemplazo en establos especializados de tamaño mediano de la región Lagunera, México. *Ciencia e Innovación*, 1(2), 335-348.
- Rodríguez-Suárez, L., Falcón-Acosta, M. D., y Ordoñez-Sánchez, y. C. (2020). Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores de calcio y nitrógeno. *Cultivos Tropicales*, 41(2).
- Ropartz, D., Ralet, MC. (2020). Pectin Structure. In: Kontogiorgos, V. (eds) *Pectin: Technological and Physiological Properties*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_2
- SADER. (2022). Resumen Económico. Recuperado el 26 de junio de 2023, en <https://www.elsiglodetorreón.com.mx/suplementos/?v=res/2022/2/&des>.

- SAGARPA. (2017). Avena forrajera mexicana. Recuperado el 26 de junio de 2023, en
- Salas-Rivera, R., Valdez-Aguilar, L. A., Alvarado-Camarillo, D., Rascón-Alvarado, E., Peña-Ramos, F. M., & González-Fuentes, J. A. (2020). Balance potasio: calcio, relación con el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa en tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 301-311.
- Sánchez Gutiérrez, R. A., Gutiérrez Bañuelos, H. , Serna Pérez, A., Gutiérrez Luna, R., & Espinoza Canales, A. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 5(2), 131-142.
- Santos, A. T., y Manjarrez, D. A. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 247-255.
- Scozzafava, G., Gerini, F., Boncinelli, F., Contini, C., Marone, E., y Casini, L. (2020). Organic milk preference: is it a matter of information?. *Appetite*, 144, 104477.
- Scheller, H. V., y Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual review of plant biology*, 61, 263-289.
- SIACON. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2022). Recuperado el 26 de junio de 2023, en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Sosa-Montes, E., Mendoza Pedroza, S. I., Alejos de la Fuente, J. I., Villarreal González, J. A., Velasco Estrada, D. B., & Rodríguez Rosales, E. (2020). Rendimiento de forraje de avena variedad Chihuahua. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(SPE24), 255-264.
- Sparks, J. P. (2009). Ecological ramifications of the direct foliar uptake of nitrogen. *Oecologia*, 159(1), 1-13.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Roma, Italia. Food & Agriculture Organization. 168.
- Sudding, F., Asri, M., y Rauf, A. W. (2021, February). Application of liquid organic and inorganic fertilizer on growth and production of hybrid maize. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 648, No. 1, p. 012140). IOP Publishing.
- Sun, Q., Li, J., Wang, C., Chen, A., you, y., yang, S., ... y Li, y. (2022). Research progress on distribution, sources, identification, toxicity, and biodegradation of microplastics in the ocean, freshwater, and soil environment. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 16(1), 1-14.

- Tenhaken, R., y Thulke, O. (1996). Cloning of an enzyme that synthesizes a key nucleotide-sugar precursor of hemicellulose biosynthesis from soybean: UDP-glucose dehydrogenase. *Plant Physiology*, 112(3), 1127-1134.
- Thorsøe, M. H., Andersen, M. S., Brady, M. V., Graversgaard, M., Kilis, E., Pedersen, A. B., ... y Valve, H. (2022). Promise and performance of agricultural nutrient management policy: Lessons from the Baltic Sea. *Ambio*, 51(1), 36-50.
- Trujano San Luis, D., González Palma, A., Jaimes Jaimes, J., Cueto Wong, J. A., & Hernández Salgado, J. R. (2008). EVALUACION DE FERTILIZANTES SOBRE LA AVENA FORRAJERA. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, VII(1),73-82.[fecha de Consulta 20 de Julio de 2023]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545066010>
- van Noordwijk, M., Pham, T. T., Leimona, B., Duguma, L. A., Baral, H., Khasanah, N., ... y Minang, P. A. (2022). Carbon footprints, informed consumer decisions and shifts towards responsible agriculture, forestry, and other land uses? *Carbon Footprints*, 1(1), 4.
- Van Soest, P. J. (1967). Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *Journal of animal Science*, 26(1), 119-128.
- Van Soest, P. J. (2018). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press.122.
- Vanholme, R., Morreel, K., Ralph, J., y Boerjan, W. (2008). Lignin engineering. *Current opinion in plant biology*, 11(3), 278-285.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., y Vassileva, C. G. (2013). An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel*, 105, 40-76.
- Vasundhara, D., y Chhabra, V. (2021). Foliar nutrition in cereals: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 10(8): 1247-1254
- Villaseñor-Mir, H. E., Huerta-Espin, J., Rodríguez-García, M. F., Santa-Rosa, R. H., Espitia-Rangel, E., y Martínez-Cruz, E. (2021). Mejoramiento genético de avena en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (25), 21-25.
- Weinrich, S., Schäfer, F., Bochmann, G., Liebetrau, J., (2018). Value of batch tests for biogas potential analysis; method comparison and challenges of substrate and efficiency evaluation of biogas plants. Murphy, J.D. (Ed.) *IEA Bioenergy Task 37*, 2018: 10
- Weiss, W. P., y Hall, M. B. (2020). Laboratory methods for evaluating forage quality. *Forages: the science of grassland agriculture*, 2, 659-672.

- Wojciechowska-Solis, J., y Barska, A. (2021). Exploring the preferences of consumers' organic products in aspects of sustainable consumption: The case of the Polish consumer. *Agriculture*, 11(2), 138.
- Wójcik, P. (2004). Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 202-204, 212-213.
- Xin, X., Wei, D., Lei, L., Zheng, H., Wallace, I. S., Li, S., y Gu, y. (2023). Calcium-dependent protein kinase32 regulates cellulose biosynthesis through post-translational modification of cellulose synthase. *bioRxiv*, 2023-02. <https://doi.org/10.1101/2023.02.01.526621>
- Yakovchenko, M. A., Izmulkina, E. A., Stenina, N. A., y Ivina, O. A. (2021). Soil-agrochemical analysis of the fertile soil layer from the Erunakovskiy field of the Taldinskiy coal mine. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1749, No. 1), 01204.