

04-043

### **IMPLEMENTATION OF AGILE METHODOLOGIES FOR THE DIGITAL DIAGNOSIS OF FORAGE OATS (AVENA SATIVA) TREATED WITH MYCORRHIZAL FUNGI AND BIOSTIMULANTS**

Rodríguez Calzada, Tania <sup>(1)</sup>; Saavedra Gastélum, Verónica <sup>(1)</sup>; González de Cosío Barrón, Arturo <sup>(1)</sup>; González Almaguer, Carlos Alberto <sup>(1)</sup>; Zubieta Ramírez, Claudia <sup>(1)</sup>

(1) Tecnológico de Monterrey

Incorporating soil-improving microorganisms and biostimulants in the plant is a novel practice with multiple benefits; while it increases the availability of nutrients for the crop and favors carbon sequestration, it positively affects the forage quality. The present study is part of the precision agriculture program, a project carried out at the Experimental Agricultural Field of the Tecnológico de Monterrey (Querétaro, Mexico) as part of the educational innovation initiative. Complementary to the Tec21 educational model, the use of agile methodologies (SCRUM Methodology) was implemented to solve a challenge or case study in the area of agri-food biosystems. The implementation of this tool allowed to evaluate the morphology and composition of a crop of forage oats (*Avena sativa*) using digital systems and traditional analytical methods; The effects of the application of mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*) and commercial biostimulation (BIOZYME® TF, UPL) were evaluated and the results were contrasted with conventional management, based exclusively on the use of mineral fertilizers. The information generated contributes to the development of new academic methodologies that support the transition towards sustainability and innovation in agriculture.

*Keywords:* educational innovation; carbon fixation; precision agriculture; scrum

### **IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍAS ÁGILES PARA EL DIAGNÓSTICO DIGITAL DE AVENA FORRAJERA (AVENA SATIVA) TRATADA CON HONGOS MICORRIZÓGENOS Y BIOESTIMULANTES**

Incorporar microorganismos mejoradores de suelo y bioestimulantes en la planta se presenta como una práctica complementaria a la fertilización convencional; por una parte, aumenta la disponibilidad de nutrientes para el cultivo y favorece el secuestro de carbono, al tiempo que tiene efectos positivos en la calidad de forraje. El presente estudio forma parte del programa de agricultura de precisión, proyecto realizado en el Campo Agropecuario Experimental del Tecnológico de Monterrey (Querétaro, México) como parte de la iniciativa en innovación educativa. Complementario al modelo educativo Tec21, se implementó el uso de metodologías ágiles (Metodología SCRUM) para la resolución de un reto o caso de estudio en el área de biosistemas agroalimentarios. La implementación de esta herramienta permitió evaluar la morfología y composición de un cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*) empleando sistemas digitales y métodos analíticos tradicionales; se evaluaron los efectos de la aplicación de hongos micorrizógenos (*Glomus intraradices*) y bioestimulación comercial (BIOZYME® TF, UPL) y los resultados se contrastaron con el manejo convencional, basado exclusivamente en el uso de fertilizantes minerales. La información generada contribuye al desarrollo nuevas metodologías académicas que fortalezcan la transición hacia la sostenibilidad e innovación en el área agrícola.

*Palabras clave:* innovación educativa; fijación de carbono; agricultura de precisión; scrum

*Agradecimientos:* The authors acknowledge the technical and financial support of the Writing Lab, Institute for the Future of Education, Tecnológico de Monterrey, Mexico, in the production of this work and to Dr. Manuel Mora Gutiérrez, for providing the inoculum



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

El Tecnológico de Monterrey es una institución académica que motiva a los docentes a diseñar innovación educativa, al tiempo que fomenta que sus estudiantes desarrollen competencias transversales que les permitan la resolución de problemas complejos (Castillo-Reyna et al., 2020).

Dentro de las técnicas de vanguardia del Tecnológico de Monterrey, se encuentra el Modelo Tec21, un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la resolución retos, mismos que deben resolverse en breves periodos de tiempo. Estas particularidades hacen que la experiencia de aprendizaje pueda fortalecerse con la aplicación de Metodologías Ágiles, en especial la Metodología SCRUM. De esta manera, la Metodología SCRUM es una herramienta clave para la enseñanza de manejo agronómico basado en datos (Data-Driven Growing).

La implementación de esta herramienta metodológica se empleó para evaluar la calidad morfológica de la planta y contenido de materia seca en un cultivo de avena forrajera (*Avena sativa*), tratada con hongos micorrizógenos (*Glomus intraradices*) y bioestimulación comercial (BIOZYME® TF, UPL), y contrastar los resultados con el manejo convencional basado solamente en el uso de fertilizantes minerales, a través de un diagnóstico digital correlacionado con metodologías tradicionales.

El diagnóstico digital consistió en la captura de imágenes multiespectrales desde vehículos aéreos no tripulados, o drones, y el posterior cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) (Sousa y Small, 2023). Los resultados se validaron con metodologías de diagnóstico en laboratorio. Estos elementos dentro del proyecto generaron una propuesta de aprendizaje colaborativo y multidisciplinario, donde participaron alumnos de Ingeniería en Biosistemas Agroalimentarios y profesores de las áreas de agronomía, biosistemas, estadística e ingeniería industrial.

El proyecto tuvo lugar en las instalaciones del Campo Agropecuario Experimental del Tecnológico de Monterrey (CAETEC), desde la línea de investigación en Agricultura de Precisión (Saavedra-Gastélum, V. et al., 2022), durante el periodo noviembre de 2022 a abril de 2023.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Definición del reto y Metodología SCRUM

El objetivo académico consistió en la implementación de metodologías ágiles en el diagnóstico digital de avena forrajera, de modo que se pudieran desarrollar competencias transversales en análisis y evaluación de biosistemas agrícolas.

Un ciclo de cultivo de avena (*Avena sativa*) dura aproximadamente tres meses desde la siembra hasta la cosecha, por lo que se busca desarrollar herramientas de diagnóstico que permitan una evaluación rápida y oportuna de la calidad de follaje y composición en materia seca, los cuales determinan el momento ideal del corte para asegurar la calidad adecuada para ensilaje y, posteriormente, ser usada en la alimentación de ganado lechero de CAETEC. Bajo este contexto, los alumnos evaluaron la implementación de nuevas técnicas agronómicas en el biosistema, como lo es la inoculación de hongos micorrizógenos (*Glomus intraradices*) y el uso de bioestimulantes comerciales (BIOZYME® TF, UPL), comparado con el manejo convencional basado exclusivamente en la aplicación de fertilizantes; para realizarlo, los alumnos se apoyaron de la interpretación de imágenes multiespectrales colectadas por vehículos aéreos no tripulados (drones, o UAV por sus

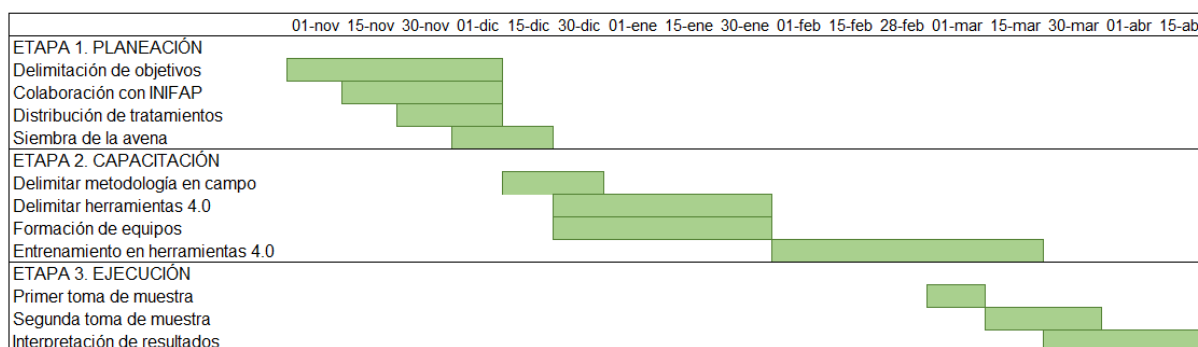
siglas en inglés), así como de la medición de variables morfológicas en puntos muestrales distribuidos en las parcelas demostrativas y la determinación de materia seca del material vegetal en los laboratorios del Centro de Bioingenierías del Tecnológico de Monterrey; de este modo, se logró generar un diagnóstico del estado del cultivo previo a su corte y ensilaje.

Para la gestión del proyecto, se adaptó la metodología reportada por Chávez-Hernández y Patiño-Murillo (2023), basada en *Lean Six Sigma* y metodología *SCRUM*, de manera que se utilizaran herramientas tradicionales y herramienta de la industria 4.0.

- *Product owner*: CAETEC
- *Equipo de desarrollo*: Estudiantes de Ingeniería en Biosistemas Agroalimentarios
- *Scrum masters*: Grupo de WritingLAB y Data Analytics del Tec de Monterrey campus Querétaro.

De esta manera, el proyecto se dividió en tres etapas: 1) Planeación, 2) Capacitación y 3) Ejecución. El seguimiento con los alumnos ocurrió de forma semanal y consistió en el acompañamiento en el uso de software, análisis estadístico e interpretación de resultados. Los siguientes bloques de tiempo iniciaron en noviembre de 2022 y finalizaron el 15 de abril de 2023 (Figura 1):

**Figura 1: Diagrama de Gantt de la ejecución del proyecto.**



## 2.2 Metodología de analítica de datos.

Se siguió la metodología reportada por Google (2023), para el análisis de datos:

- *Ask*: Definir el problema de investigación.
- *Prepare*: Se definieron las fechas de muestreo, los programas (*software*) por utilizar, así como los métodos de colecta de datos en campo y determinaciones en laboratorio.
- *Process*: Se realizaron las tomas de muestra y se creó una base de datos con los resultados de morfología, imágenes multiespectrales y determinaciones en laboratorio.
- *Analyze*: Se realizó el análisis estadístico de los tratamientos y se encontraron tendencias y patrones.
- *Share*: Mediante el empleo de gráficos, se comunicaron los resultados.
- *Act*: Se delimitaron alcances posibles con los hallazgos reportados, asentados en las conclusiones del proyecto.

### 2.3 Material vegetal, hongos micorrizógenos y bioestimulante.

Como modelo vegetal, se seleccionó una variedad que se comporta con robustez en la industria (Villaseñor Mir et al., 2009); en este caso, se eligió avena (*Avena sativa*) de ciclo intermedio variedad Turquesa, en densidad de siembra de 140 kg de semilla por hectárea y fecha de siembra del 05 al 16 de diciembre de 2022.

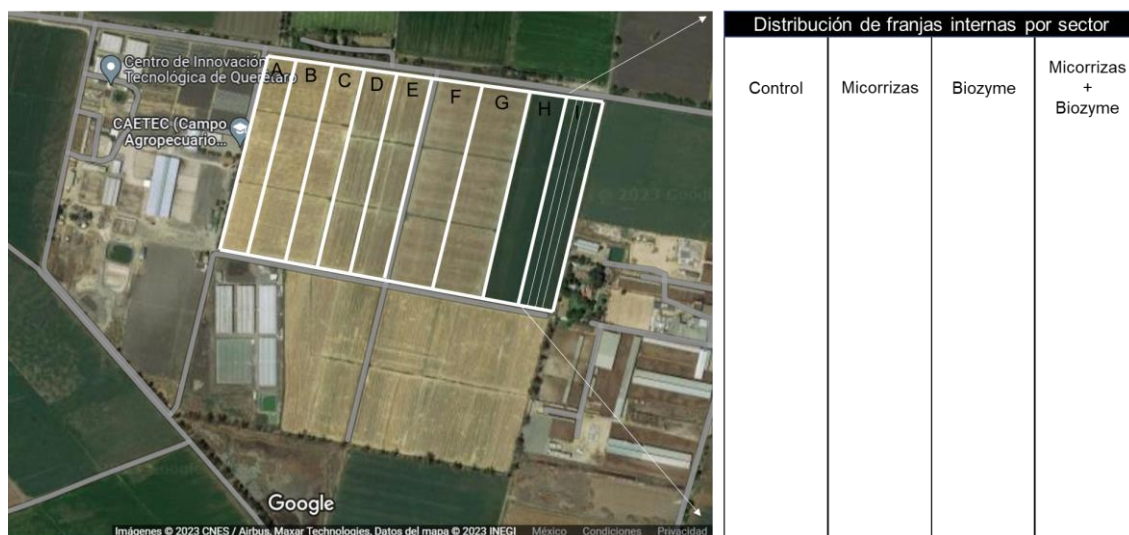
La inoculación de la semilla con los hongos micorrizógenos (*Glomus Intraradices*) se realizó mediante impregnación con adherente, usando revolvedora mecánica de cemento, a una dosis de 3 kg de biofertilizante por cada 120 kg de semilla. La fertilización de arranque consistió en una mezcla física de fertilizante NPK (14-11-14) aplicada al momento de la siembra. Posteriormente, entre los 35 y 45 días después de la siembra, se aplicó sulfato de amonio (84-0-0) con una fertilizadora de cono.

La cepa de hongos micorrizógenos (*Glomus Intraradices*) fue provista por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El bioestimulante empleado fue el producto comercial BIOZYME® TF (UPL), cuya composición consiste en Giberelinas (32.2 mg L<sup>-1</sup>), Ácido indolacético (32.2 mg L<sup>-1</sup>), Zeatina (83.2 mg L<sup>-1</sup>) y microelementos (Magnesio (Mg), 0.14%; Azufre (S), 0.44%; Boro (B), 0.30%; Hierro (Fe), 0.49%; Manganeseo (Mn), 0.12%; Zinc (Zn), 0.37%).

### 2.4 Distribución de tratamientos en las parcelas experimentales.

Para mejorar la segmentación de proyectos académicos, en CAETEC se trabaja por sectores identificados con letras A a la I. Cada sector contó con cuatro franjas internas correspondientes a los tratamientos, denominados de la siguiente manera (Figura 2): solo fertilizante (control), semilla inoculada con hongos micorrizógenos (Micorrizas), planta tratada con bioestimulante (Biozyme) y la interacción de ambos tratamientos (Micorrizas + Biozyme).

Figura 2: Distribución de los tratamientos en las parcelas demostrativas.



### 2.5 Mapas de concentración y productividad del suelo.

De acuerdo con los mapas de composición del suelo de CAETEC, se eligieron 16 puntos muestrales en zonas de productividad intermedia y 50 a 54 ppm de fósforo. Cada una de las zonas de muestreo correspondió a un área de 4.60 m<sup>2</sup> ± 0.020 m<sup>2</sup>.

## 2.6 Técnicas tradicionales de medición de morfología y composición

Durante las mediciones en campo, se evaluó la morfología del cultivo: altura del tallo, diámetro del tallo, número de macollos y número de hojas vivas. En composición de la planta, se estimó el porcentaje de materia seca en hoja y tallo, introduciendo las muestras en estufa de secado a 55°C por al menos 72 h (García et al., 2018).

## 2.7 Imágenes multiespectrales y software

De forma complementaria al muestreo en campo y laboratorio, se realizó la toma de imágenes mediante vuelo de dron P4 Multiespectral DJI, de manera que los estudiantes pudieran conocer técnicas de la industria 4.0. Se obtuvieron las siguientes bandas: azul (450 nm ± 16 nm), verde (560 nm ± 16 nm), rojo (650 nm ± 16 nm), borde rojo (BR, 730 nm ± 16 nm), infrarrojo cercano (NIR, 840 nm ± 26 nm). Se capacitó a los alumnos con el software de uso libre y código abierto QGIS 3.28.1-Firenze para el procesamiento e interpretación de las imágenes multiespectrales.

## 2.8 Índices calculados

En los proyectos agronómicos actuales, la calidad del follaje puede medirse empleando índices de interés agronómico, para lo cual se estimó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), usando las fórmulas mostradas en la ecuación 1 y 2 (McFeeters, 1996), respectivamente:

$$NDVI = \frac{NIR - rojo}{NIR + rojo} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{Verde - NIR}{Verde + NIR} \quad (2)$$

## 2.9 Análisis estadístico

A nivel estadístico, los tratamientos corresponden a un diseño factorial 2<sup>2</sup>. El análisis estadístico se realizó con un nivel de confianza del 95%, considerándose diferencias estadísticamente significativas valores p ≤ 0.05 al comparar las medias de los tratamientos evaluados. El análisis de datos y elaboración de gráficas se realizó con el software Minitab.

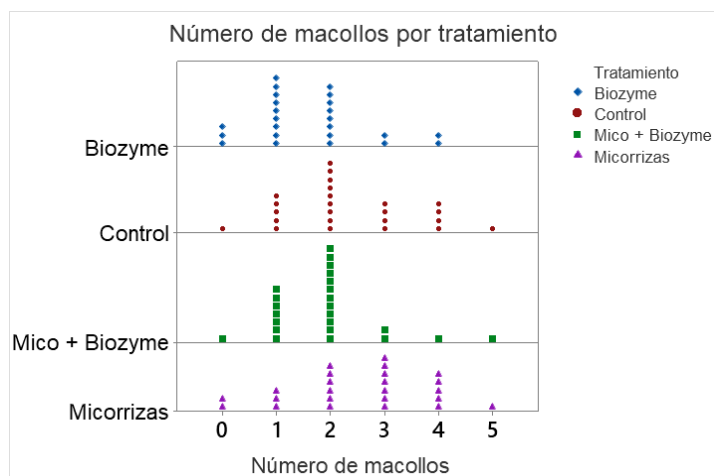
## 3. Discusión de resultados

### 3.1 Interpretación de variables morfológicas

Al momento de llevar a cabo una evaluación agronómica, las plantas suelen expresar su genética como un reflejo de la fertilización y las condiciones ambientales del cultivo (Kolmanič et al., 2022). En el caso de avena, una variable de interés es el número de macollos. Estos pueden influir en la cantidad de biomasa y en el número de espigas por planta, resultando en un índice de productividad (Finnan et al., 2019).

Con base en las mediciones, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el número de macollos; en promedio, las plantas presentaron uno o dos macollos, lo cual es consistente con lo reportado por Gil Gil et. al (2014) para variedad Turquesa (Figura 3).

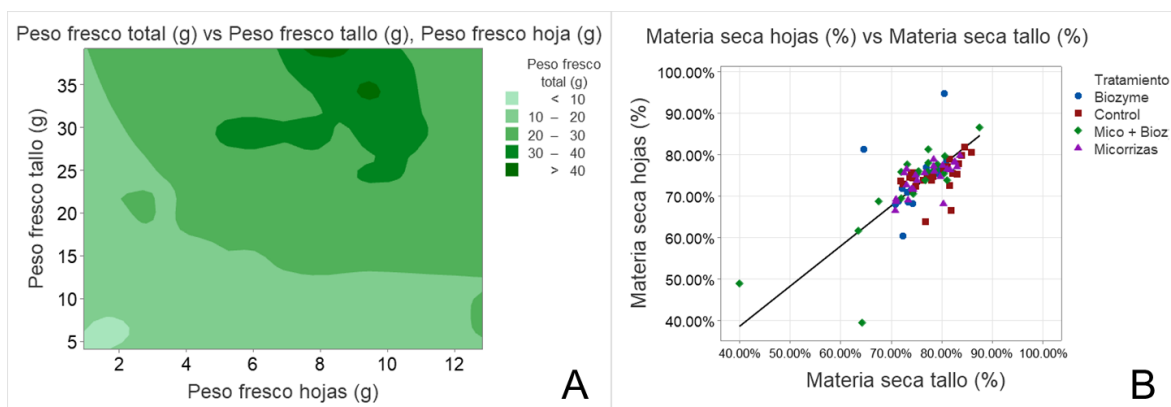
**Figura 3: Cantidad de macollos registrados por tratamiento.**



### 3.2. Peso fresco y materia seca.

En épocas cercanas a la cosecha, es deseable que las plantas de avena posean una altura y peso fresco adecuados de modo que se prevenga el encamado; esta condición es un desplazamiento permanente del cultivo, donde las plantas no pueden mantenerse erguidas. El encamado ocasiona pérdidas en el rendimiento, puesto que la maquinaria agrícola llega a presentar atascamientos en la picadora; para prevenirlo, se monitoreó la proporción entre altura de la planta y cantidad de peso fresco (Mohammadi et al., 2020; Nakhforoosh et al., 2019). Adicional al monitoreo de las variables morfológicas, la fecha de cosecha se define por la cantidad materia seca presente en el forraje, ya que indica la cantidad de azúcares fermentables para ensilaje y con esto, la calidad nutricional adecuada para el ganado (Araiza-Rosales et al., 2021). En los resultados se pudo observar una relación lineal positiva entre el peso fresco en tallo y el peso fresco en hojas (Figura 4-A), siendo también una tendencia lineal en las proporciones de materia seca en estos órganos (Figura 4-B). La cuantificación y el monitoreo oportuno de estas variables permite una estimación más precisa del momento de cosecha, alcanzando mejores rendimientos y asegurando una dieta de mayor calidad (Ma et al., 2022).

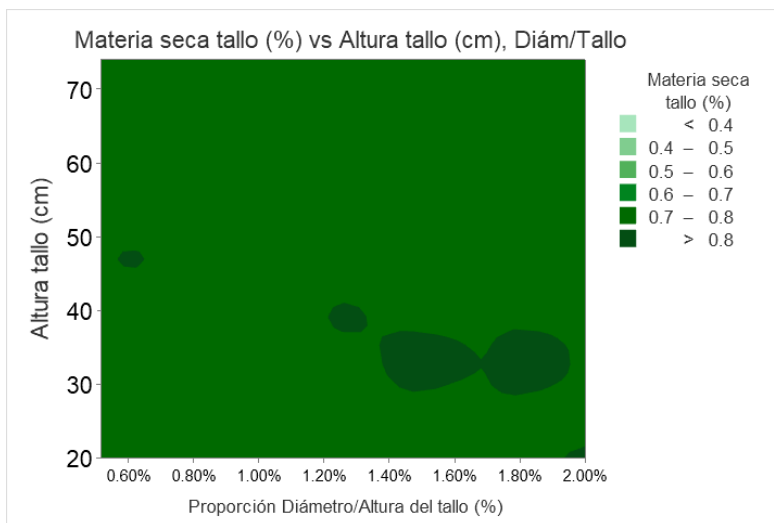
**Figura 4: Proporción de peso fresco y materia seca en plantas de avena.**



### 3.3 Relación entre variables morfológicas y composición.

En el caso particular de la avena forrajera para ensilaje, un valor deseable de materia seca se encuentra aproximadamente de 30%; una vez alcanzado, se define la fecha de corte de la avena (Ma et al., 2022). En el estudio, se logró encontrar una relación entre las variables morfológicas y la composición en materia seca, particularmente la proporción del diámetro con respecto a la altura del tallo. Los datos muestran que se obtiene mayor cantidad de materia seca en tallo cuando el diámetro representa entre el 1.4 al 2.0 % de la altura total, para plantas entre 30 y 40 cm de altura (Figura 5).

**Figura 5: Relación entre la morfología de la planta y la cantidad de materia seca.**

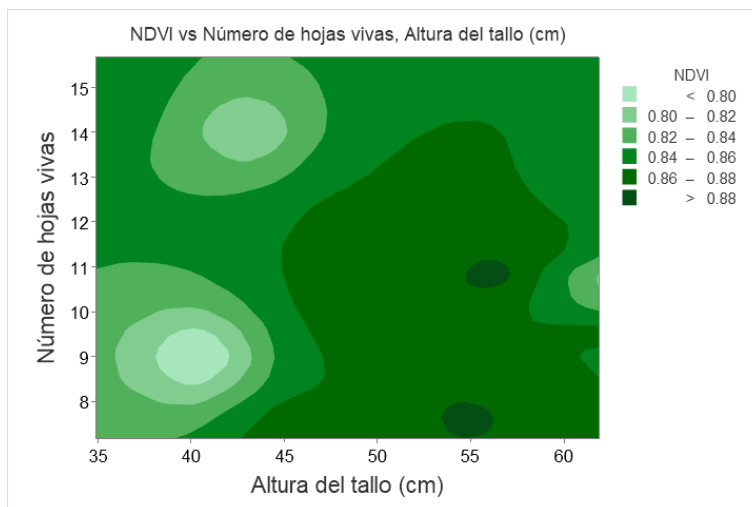


### 3.4 Valor de NDVI y morfología.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) permite estimar la cantidad de vegetación fotosintéticamente activa. Entre más cercano a uno, el follaje realiza una mayor fotosíntesis. Valores cercanos a cero, indican un follaje con daño severo. Este índice relaciona el valor de infrarrojo cercano (NIR), con el parámetro de interés (Wang et al., 2023). En investigaciones recientes, mediante el uso de imágenes multiespectrales colectadas por dron, se ha logrado identificar variedades de avena en campo, así como la generación de modelos para la estimación de biomasa del cultivo (Fu et al., 2023; Sharma et al., 2022).

Durante el proyecto se encontró que las variables morfológicas son susceptibles de interpretarse a través de los índices multiespectrales. Los resultados muestran que, para la misma cantidad de hojas, entre mayor sea la altura de la planta, se presenta mayor NDVI (Figura 6): plantas con menor altura (35 a 45 cm) presentan menores valores de NDVI (0.8 a 0.84), mientras que plantas de mayor altura (45 a 60 cm) presentan valores más altos (0.86 en adelante).

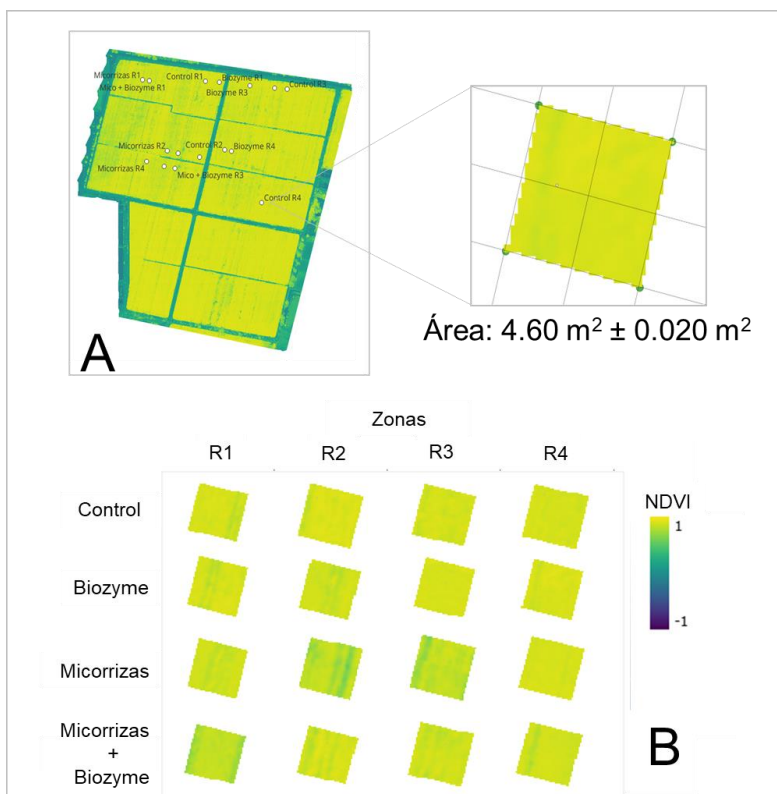
**Figura 6: Relación entre la morfología de la planta y el valor de NDVI.**



### 3.5 Micorrizas, bioestimulante y valores de NDVI y NDWI

El monitoreo de los índices NDVI y NDWI permitió detectar zonas de variación entre los diferentes tratamientos. En el caso específico de las zonas tratadas con hongos micorrizógenos (Micorrizas y Micorrizas + Biozyme) se detectaron valores menores de NDVI con respecto al control. Los tratamientos Control y Biozyme presentaron los valores de NDVI más altos (Figura 7-B).

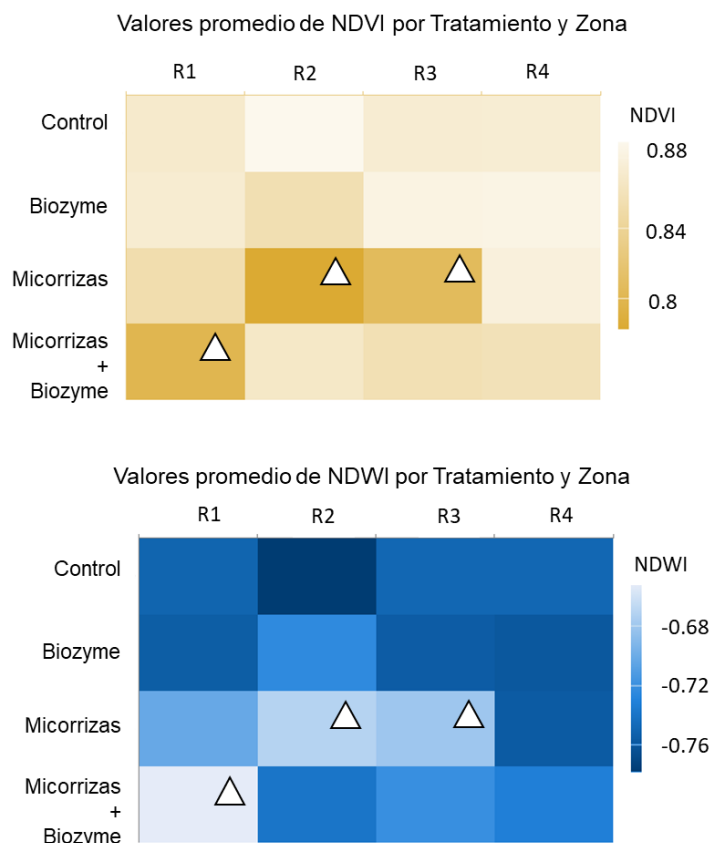
**Figura 7: Polígonos de NDVI asociados a los puntos muestrales.**





Como parte del análisis, los valores obtenidos de NDVI se contrastaron con aquellos del NDWI (Figura 8), con el objetivo de comparar las variaciones en la calidad del follaje con la huella de humedad en la misma zona. Se encontraron valores más bajos de NDWI en los tratamientos con presencia de hongos micorrízicos (Micorrizas y Micorrizas + Biozyme), encontrándose diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control, por lo cual este índice aporta información valiosa del consumo hídrico en interacciones plantas-microorganismos (Van Geel, M. et al., 2019).

**Figura 8: Variaciones en los valores de NDVI y NDWI en los tratamientos.**



Nota: Las figuras de triángulo indican diferencias estadísticamente significativas con respecto al control ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4. Aplicación práctica del proyecto

A nivel técnico, los resultados del proyecto abren una línea de investigación en agricultura de precisión, donde a través de índices multispectrales, pueda evaluarse la morfología y composición de plantas de avena. De esta manera, se pueden llegar a estimaciones de materia seca, calidad del follaje y arquitectura de la planta con análisis de imágenes, reforzando el análisis y evaluación de biosistemas mediante herramientas 4.0.

Se observó que, al trabajar sobre un reto, la metodología SCRUM es una herramienta complementaria al modelo Tec21. De esta manera, los alumnos ponen en práctica los métodos de análisis de datos en ingeniería de biosistemas y llegan a la caracterización morfológica y digital de un cultivo.

## 5. Conclusiones

El trabajo colaborativo fuera del aula de clase es considerado como parte del modelo educativo Tec21. La enseñanza basada en retos, acoplada a la metodología SCRUM y analítica de datos, fortalece el desarrollo de competencias transversales en alumnos de enseñanza superior. El presente ejercicio nos permite apreciar cómo diferentes disciplinas, tales como la estadística, nutrición y fisiología vegetal, detección remota, se entrelazan permitiendo a los profesores evidenciar el valor del conocimiento a través de investigación y validación en campo. Gracias a lo anterior los estudiantes pueden imaginar cambios, así como diseñar nuevos sistemas productivos buscando la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios. A nivel técnico, se permitió generar una metodología de diagnóstico agronómico digital basada en metodologías ágiles, particularmente para cultivos de ciclo corto, como lo es el caso de la avena. Se detectaron diferencias significativas en el índice NDWI en los tratamientos con presencia de micorrizas; de igual manera, se encontró una relación positiva entre la altura de la planta y el valor del índice NDVI, por lo cual ambos índices permiten identificar relaciones entre morfología de la planta e interacción planta-microorganismo, y los valores correspondientes para NDVI y NDWI.

## 6. Referencias

- Araiza-Rosales, E. E., Carrete-Carreón, F. O., Ortiz-Robledo, F., Sánchez-Arroyo, J. F., & Herrera-Torres, E. (2021). Parámetros fermentativos y valor nutricional de ensilados de avena con granos de girasol y maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 545-545.
- Castillo-Reyna, J., García-García, R. M., Ramírez-Medrano, A., Reyes-Millán, M., Benavente-Vázquez, B. R., Chamorro-Urroz, C. D., & Membrillo-Hernández, J. (2020). Teaching and learning microbiology for engineers in a digital world: the case of the FIT courses at the Tecnológico de Monterrey, Mexico. In *The Challenges of the Digital Transformation in Education: Proceedings of the 21st International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2018)*, 1, 914-922.
- Chávez-Hernández, M. y Patiño-Murillo, M. A. (2023). *Desarrollo inicial de software de análisis de imágenes adquiridas por medio de un vehículo aéreo no tripulado para la identificación de plantas de agave azul enfermas a través de colorimetría y la determinación del índice de área foliar*. Tesis de maestría no publicada. Tecnológico de Monterrey.
- Finnan, J., Burke, B., & Spink, J. (2019). The effect of nitrogen timing and rate on radiation interception, grain yield and grain quality in autumn sown oats. *Field crops research*, 231, 130-140.
- Fu, X., Bai, M., Xu, Y., Wang, T., Hui, Z., & Hu, X. (2023). Cultivars identification of oat (*Avena sativa* L.) seed via multispectral imaging analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14.
- García, C. Y. W., Zerón, N. E. L., Cerrilla, M. E. O., Ríos, J. V., Mir, H. E. V., & Garay, A. H. (2018). Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en dos variedades de avena. *Interciencia*, 43(9), 630-636.
- Gil Gil, H., Martínez Rueda, C. G., & Estrada Campuzano, G. (2014). Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 951-964.
- Google (2023). Foundations: Data, Data, Everywhere. Obtenido 16:00, 18 de abril de 2023, de <https://www.coursera.org/professional-certificates/google-data-analytics>
- Kolmanič, A., Sinkovič, L., Nečemer, M., Ogrinc, N., & Meglič, V. (2022). The Effect of Cultivation Practices on Agronomic Performance, Elemental Composition and Isotopic Signature of Spring Oat (*Avena sativa* L.). *Plants*, 11(2), 169.

- Ma, J., Dai, H., Liu, H., & Du, W. (2022). Effects of Cutting Stages and Additives on the Fermentation Quality of Triticale, Rye and Oat Silage in Qinghai-Tibet Plateau. *Agronomy*, 12(12), 3113.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Mohammadi, M., Finnan, J., Sterling, M., & Baker, C. (2020). A calibrated oat lodging model compared with agronomic measurements. *Field Crops Research*, 255, 107784.
- Nakhforoosh, A., Kumar, S., Fetch, T., & Mitchell Fetch, J. (2020). Peduncle breaking resistance: a potential selection criterion to improve lodging tolerance in oat. *Canadian Journal of Plant Science*, 100(6), 707-719.
- Saavedra-Gastélum, V., González-Almaguer, C., Gonzalez de Cosio, A., Zubieta, C. Frías, N. (2022) Design of experiments, design thinking and data science for learning precision agriculture. 26th International Congress on Project Management and Engineering, Terrassa. 2073-2083.
- Sharma, P., Leigh, L., Chang, J., Maimaitijiang, M., & Caffé, M. (2022). Above-ground biomass estimation in oats using UAV remote sensing and machine learning. *Sensors*, 22(2), 601.
- Sousa, D., & Small, C. (2023). Which Vegetation Index? Benchmarking Multispectral Metrics to Hyperspectral Mixture Models in Diverse Cropland. *Remote Sensing*, 15(4), 971.
- Van Geel, M., Yu, K., Peeters, G., van Acker, K., Ramos, M., Serafim, C., Kastendeuch, P., Najjar, G., Ameglio, T., Ngao, J., Saudreau, M., Castro, P., Somers, B., & Honnay, O. (2019). Soil organic matter rather than ectomycorrhizal diversity is related to urban tree health. *PloS one*, 14(11).
- Villaseñor Mir, H. E., Espitia Rangel, E., Huerta Espino, J., Osorio Alcalá, L., & López Hernández, J. (2009). Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agricultura técnica en México*, 35(4), 487-492.

### Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

