



Utilización de georreferenciación para analizar el efecto de la fertilización nitrogenada en la producción de cebada

Use of georeferencing to analyze the effect of nitrogen fertilization on barley production

 <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n3.2025.206-219>

Recibido: 10-02-2025

Aceptado: 11-06-2025

Publicado: 25-09-2025

Jairo Benjamín Lema Paredes^{1*}

 <https://orcid.org/0009-0008-7650-5167>

Luis Fernando Verdezoto del Salto²

 <https://orcid.org/0000-0002-8068-331X>

Leticia Janneth Rosero Reina³

 <https://orcid.org/0009-0005-8371-0052>

1. Universidad Politécnica Estatal del Carchi; Tulcán, Ecuador
2. Universidad Estatal de Bolívar; Campus Académico "Alpachaca"; Guaranda, Ecuador.
3. Universidad Politécnica Estatal del Carchi; Tulcán, Ecuador.

Volumen: 9

Número: 3

Año: 2025

Paginación: 206-219

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/985>

***Correspondencia autor:** jaile96@hotmail.com



RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de la cebada, var. INIAP Cañicapa 2003 a la fertilización nitrogenada (FN) con uso de georreferenciación. La investigación se realizó en Chimborazo, entre junio y noviembre del 2024. La siembra se realizó al voleo con una densidad de 110 kg ha⁻¹. Se usó un diseño de malla de parcelas de acuerdo con la variabilidad del campo. Las parcelas fueron distribuidas en función a los puntos georreferenciados con el GPS, en cuatro réplicas (bloques), con seis parcelas por réplica. Los tratamientos fueron aplicados según la variabilidad espacial del contenido de N inicial (%), la FN se aplicó a los 45 días el 50% y a los 60 días el restante. La cosecha se hizo de forma manual formando gavillas de cada tratamiento para después separar el grano, la producción de grano se reportó al 13% de humedad, y la respuesta a la FN se evaluó con el programa SAS9.3. Muestras de grano de las parcelas que recibieron FN fueron analizadas para evaluar el contenido nutricional. La FN afectó al contenido de proteína en el grano y a la producción con un promedio de 3.1 t ha⁻¹ con FN vs 2.4 t ha⁻¹ que se obtuvo sin FN (p = 0.04).

Palabras clave: Cebada, Fertilización nitrogenada, Georreferenciación, Variabilidad espacial, GPS.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the response of barley, var. INIAP Cañicapa 2003, to nitrogen fertilization (NF) using georeferenced data. The research was conducted in Chimborazo, between June and November 2024. Sowing was performed by broadcasting at a seeding rate of 110 kg ha⁻¹. A grid-based experimental design was implemented, accounting for field variability. Plots were arranged based on georeferenced points obtained via GPS, with four replicates (blocks), each containing six plots. Treatments were assigned according to the spatial variability of the initial nitrogen content (%). Nitrogen fertilization was applied in two stages: 50% at 45 days after sowing and the remaining 50% at 60 days. Harvesting was done manually by forming sheaves for each treatment, from which grain was later separated. Grain yield was reported at 13% moisture content. The response to NF was analyzed using the SAS 9.3 statistical software. Grain samples from fertilized plots were analyzed to assess nutritional content. NF significantly affected grain protein content and yield, with an average of 3.1 t ha⁻¹ under NF compared to 2.4 t ha⁻¹ without NF (p = 0.04).

Keywords: Barley (*Hordeum vulgare* L.), Nitrogen fertilization, Georeferencing, Spatial variability, GPS.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare L.*) a nivel global se sitúa en el cuarto puesto en términos de volumen de producción, superado únicamente por el maíz (*Zea mays L.*) con 1.100 millones de toneladas al año, el trigo (*Triticum aestivum L.*) con 734 millones de toneladas al año, y el arroz (*Oryza sativa L.*) con 495 millones de toneladas al año y la cebada (*Hordeum vulgare L.*) con 145 millones de toneladas al año (McCormick, 2020). La cebada es un cultivo predominante en la zona interandina y desempeña un papel fundamental en la alimentación de los pequeños agricultores en Ecuador, donde cerca del 70% cultivan en parcelas de menos de una hectárea (INIAP, 2023). Este cereal se adapta a zonas templadas con temperaturas que oscilan entre los 6 y los 20 °C, así como en altitudes que van desde los 1800 hasta los 3000 metros sobre el nivel del mar (Basantes, 2015).

Ecuador, ocupa el tercer lugar en términos de cultivo, siguiendo al maíz y al arroz principalmente en provincias como Chimborazo, Pichincha, Carchi, Bolívar, Tungurahua y Cotopaxi (INIAP, 2022). A pesar de ser este un cultivo predominante en la serranía ecuatoriana la productividad es muy baja de hecho el rendimiento promedio a nivel nacional es inferior a 1,5 toneladas por hectárea, considerablemente por debajo de la media regional que supera las 3 toneladas por hectárea (INIAP, 2022). Algunos factores que limitan el desarrollo de este cultivo incluyen la baja tecnificación en su producción y una inadecuada fertilización nitrogenada (Besteiro & Descalzo, 2021). Precisamente el N es uno de los factores más importantes para producir cultivos después de la disponibilidad de agua, luz y temperatura óptima (López et al., 2022).

El N es el nutriente más limitante porque se requiere en grandes cantidades para el crecimiento y desarrollo de la planta. Según Celaya & Castellanos (2011), la eficiencia en la absorción de N depende de factores

como la humedad del suelo, temperatura y presencia de otros nutrientes. La inversión que se realiza para fertilizar un cultivo con el objetivo de incrementar la productividad y calidad, hacen que el manejo eficiente de los nutrientes aplicados con los fertilizantes sea vital para alcanzar una adecuada rentabilidad, en especial en el cultivo de gramíneas (Olšovská, 2024). En las zonas rurales, sin embargo, no se han determinado de forma apropiada las dosis óptimas del fertilizante (Pantoja, 2014).

De ahí que surjan nuevas tendencias tecnológicas que permitan mejorar la FN en el cultivo de cebada como es la Agricultura de Precisión (AP) ya que esta permite manejar la variabilidad espacial del suelo y de los cultivos de cebada dentro de un área específica. Esta variabilidad se da por procesos naturales, o es el resultado del manejo agrícola. Para Radočaj et al (2021) la AP consiste en la aplicación de tecnologías de la información y principios agronómicos al manejo de la variabilidad espacial asociada con todos los aspectos de la producción agrícola. Dentro de la AP se incluye la utilización de georreferenciación, una de las herramientas más importantes para identificar y delimitar las distintas áreas que forman parte del sistema productivo, determinadas por topografía y características edáficas (Tóth, 2018). Cada una de estas áreas, por sus características homogéneas de suelo y producción, constituye una zona de manejo (Pugh et al., 2021). Al utilizar georreferenciación, por ejemplo, en la aplicación de fertilizantes de acuerdo con el requerimiento por zona, se puede optimizar la eficiencia en su aplicación, maximizar el beneficio económico, y minimizar la contaminación del ambiente (Sánchez et al., 2024; Castellanos & Morales, 2016).

En Ecuador hay limitada información sobre la respuesta de la cebada a la aplicación óptima de fertilizantes, en especial la fertilización con N (FN). En tal virtud este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada (FN)

con la utilización de georreferenciación en la producción de cebada, var. INIAP Cañicapa 2003, en Chimborazo, Ecuador.

Materiales y métodos

Área de estudio

Esta investigación se desarrolló, en la parroquia Yaruquies, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. El sitio experimental se encuentra a 2750 msnm, a una Longitud: 78°39'33" O y una Latitud: 1°39'58" S. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2023) indica que esta zona se caracteriza por tener un clima de tipo templado frío, con una temperatura media de 14 °C y una precipitación anual de 560 mm. El periodo de lluvia por lo general es entre los meses de octubre y mayo, aunque los cambios climáticos pueden hacer que este periodo cambie año a año.

Métodos específicos del manejo del cultivo en la investigación

Preparación del suelo

Previo a la siembra se realizó las labores de preparación del suelo a partir de abril de 2024. Para ello se inició con el control de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) mediante la aplicación de glifosato (3 L ha⁻¹) para tener un campo libre de malezas. A mediados de mayo (20 días después) se realizó un pase de arada de discos y un cruce de rastra, ya que se trataba de un campo en buenas condiciones.

Localización de puntos georreferenciados

Se marcó las parcelas con GPS para tener los puntos georreferenciados con exactitud, y así poder realizar la toma de datos del cultivo. Posteriormente se generó mapas para la variabilidad del N en el suelo, y de producción. Para ello se utilizó la información geo-referenciada de las parcelas obtenida con el GPS, y los mapas se elaboraron con el programa Zigma Plot11.0

Siembra

Esta actividad se realizó el 1 de junio de 2024 al voleo con una densidad de 110 kg de semilla, var. INIAP Cañicapa 2003. Se utilizó semilla del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) Coordinación Zonal Zona 3, misma que había sido tratada con Vitavax (200 g de Carboxin + 200 g de Captan)

Labores del cultivo

La fertilización se realizó a 45 días después de la siembra y correspondió al 50% y el restante 50% se aplicó a los 60 días y se lo hizo de acuerdo con la aplicación y distribución de los tratamientos. En el caso del riego se realizó un riego por aspersión a inicios de junio y finales de julio de 2024 debido a la poca precipitación que se observó luego de la siembra. Finalmente, la cosecha se hizo de forma manual, cuando las espigas estaban secas para evitar pérdidas por desgrane y con una humedad promedio en el grano de 17%.

Diseño experimental

Se estableció el experimento de FN con base en la variabilidad del contenido de N en el suelo y la altura de la cebada a los 44 días después de la siembra, para lo cual se siguió un diseño de malla de parcelas de acuerdo con la variabilidad del campo (Gerhards et al., 2011). Se utilizó un diseño experimental de precisión según el cual las parcelas se distribuyeron en cuatro réplicas (bloques), con seis parcelas por réplica, pero con distinto número de parcelas recibiendo los tratamientos (niveles de FN) en las hileras. Al final el campo quedó dividido en 24 parcelas o unidades experimentales de 6 × 10 m (60 m²).

Factor y tratamientos

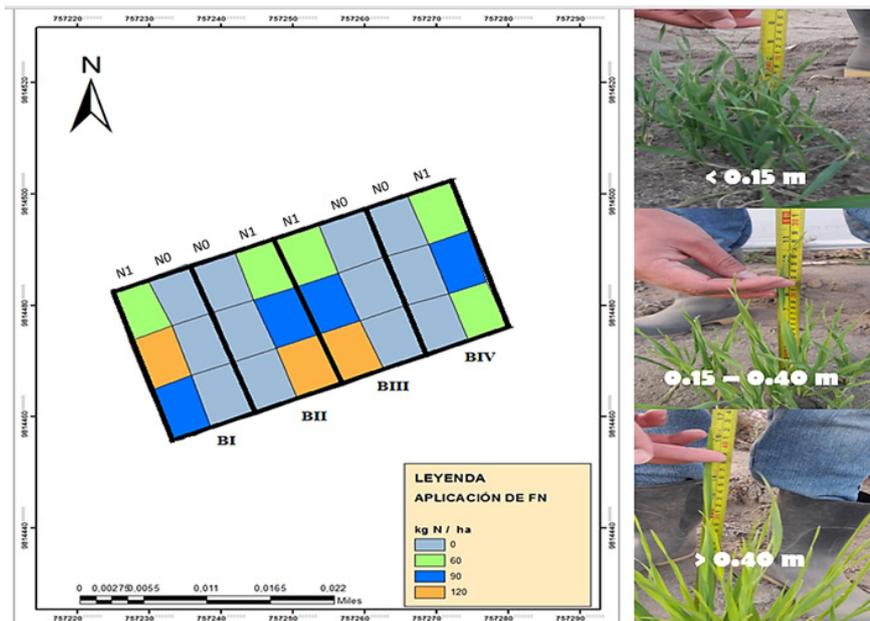
Dentro de cada repetición una columna recibió los tratamientos de FN (N1) y la otra columna no recibió FN (N0). Cuando la unidad experimental presentó una altura < 0.15 m recibió 120 kg N ha⁻¹, si la altura inicial fue

de 0.15 - 0.40 m recibió 90 kg N ha⁻¹, y si la altura fue > 0.40 m recibió 60 kg N ha⁻¹. Para el testigo (0 kg N ha⁻¹) se utilizó la co-

lumna adyacente a N1 (N0). La FN se dividió en dos aplicaciones, 50% a los 45 días y el restante 50% a los 60 días (Figura 1).

Figura 1.

Aplicación de tratamientos de fertilización nitrogenada (0, 60, 30 y 120 kg N ha⁻¹) a los 45 días, según la altura inicial de la planta en las áreas georreferenciadas del área experimental. Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador



Características de la unidad experimental

Tabla 1.

Características de la unidad experimental.

Número total	24
Área de cada parcela	60 m ² (6 × 10 m)
Distancia entre parcelas	0.50 m
Distancia entre bloques	1.00 m
Área de las 24 parcelas	1440m ²
Área de la investigación	1700m ²

VARIABLES EVALUADAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Producción de grano

Para esta variable se recolectó de forma manual y aleatoria tres submuestras de 1 m² en cada parcela (3 m² en total). Para ello, se cortó la cebada a nivel del suelo y las submuestras se juntarán en una sola

muestra. Las muestras recolectadas se secaron a temperatura ambiente por 10 días. Luego, el peso del grano de cada parcela se transformó a t ha⁻¹.

Contenido de proteína en el grano

Se recolectó 25 g de grano de todas las parcelas y la muestra total se envió al labo-

ratorio de AGROCALIDAD para evaluar la concentración de N mediante la metodología de Kjeldahl.

Correlaciones

Para las correlaciones, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson con el procedimiento PROC CORR de SAS9.3 entre el nivel de producción y el contenido de proteína en el grano de la cebada, var. INIAP Cañicapa 2003.

Modelo estadístico

El efecto de la FN en la producción de acuerdo con la variabilidad de la altura de planta se analizó incluyendo covariables como altura y el contenido inicial de N en el suelo, mismas que se consideraron variables fijas. Los efectos de cada nivel de FN aplicado (0, 60, 90 y 120 kg N ha⁻¹), dentro de diferentes alturas iniciales y dentro de la hilera tratada en un mismo bloque, se consideraron como variables aleatorias del modelo. El modelo estadístico general para esta investigación fue:

$$y_{ijk} = \mu + \beta_{ijk}(\omega_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad [1]$$

Donde y es la producción de grano en t ha⁻¹, i es el bloque, j es el indicador de la columna de tratamientos, k es el indicador de la altura inicial de planta, μ es el intercepto (promedio de producción de grano en t ha⁻¹), β es el efecto del tratamiento: (no aplicación = N0 y aplicación = N1), ω_{ij} es el efecto anidado de la altura inicial de planta dentro de las columnas sin FN en cada bloque; y ε es el efecto residual de la investigación, incluyendo los efectos aleatorios de las alturas iniciales de planta.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software SAS9.3 (SAS Institute, 2009). Las diferencias entre tratamientos se determinaron con la opción DIFF del procedimiento PROC MIXED, y fueron consideradas significativas con un $p \leq 0.10$, según el procedimiento "Fisher Protected Least Significant Differen-

ce (FLSD)". El análisis de las variables se hizo utilizando un modelo lineal mixto y se añadieron efectos de las unidades de aleatorización (parcela con su respectivo tratamiento a una determinada altura inicial).

Resultados y discusión

Variabilidad del N total en el suelo y de la altura inicial de planta a los 44 días después de siembra

Con respecto a la variabilidad de N total en el suelo, en el análisis inicial se observó que los contenidos de N fueron altos, lo que se debe al alto contenido de MO, pero no hubo diferencias considerables a través del campo (baja variabilidad), con los valores menores en la parte centro-oriental del campo y los mayores en la parte centro-occidental (Figura 2, izquierda). Con respecto a la disponibilidad de N, se sabe que en suelos de climas templado-frío la descomposición de la MO es lenta, lo que limita la disponibilidad de este nutriente y puede ocasionar deficiencias al cultivo (Garófalo, 2012). Esto resulta en la aplicación de FN en este tipo de suelos para mantener o mejorar las producciones (López, 2014).

En lo referente a la altura de planta a los 44 días, esta varió de forma considerable en el campo con alturas menores a 0.15 m (en especial en el lado sur del campo) y mayores a 0.40 m (en especial en el lado norte del campo) (Figura 2, derecha). Esta variación pudo deberse no solo a la variabilidad del contenido de N en el campo, sino también a factores agroclimáticos como la distribución de la humedad en el suelo como consecuencia del relieve y su consecuente efecto en la temperatura del sistema suelo-raíz (Córdova et al., 2020). Según Lagunes et al. (2023), la altura de un cultivo puede ser afectada por la cantidad de N inorgánico en el suelo, pero la disponibilidad del N depende la mineralización de la MO, la cual se descompone entre el 2 - 3% cada año en climas templado-fríos (García & Daverede, 2008). Sin embargo, en algunos cereales como la cebada, la altura suele ser

más una característica genética del cultivo, con menor efecto del ambiente y el manejo (Madić, et al., 2016). El porcentaje de ger-

minación fue del 80% que se encuentra en los parámetros establecidos para esta variedad (INIAP, 2011).

Figura 2.

Variabilidad espacial del contenido de N total (%) en el suelo (izquierda) y altura de la planta de la cebada (m), var. INIAP Cañicapa 2003 (derecha), a los 44 días después de la siembra. Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

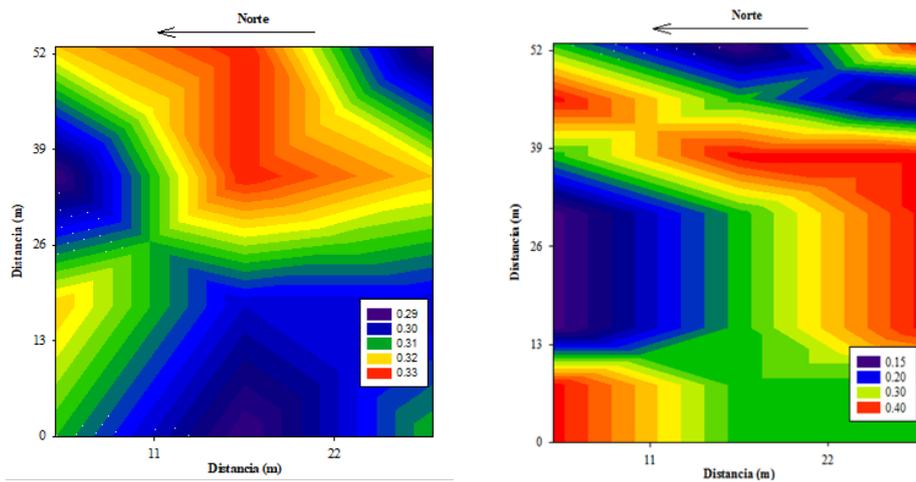
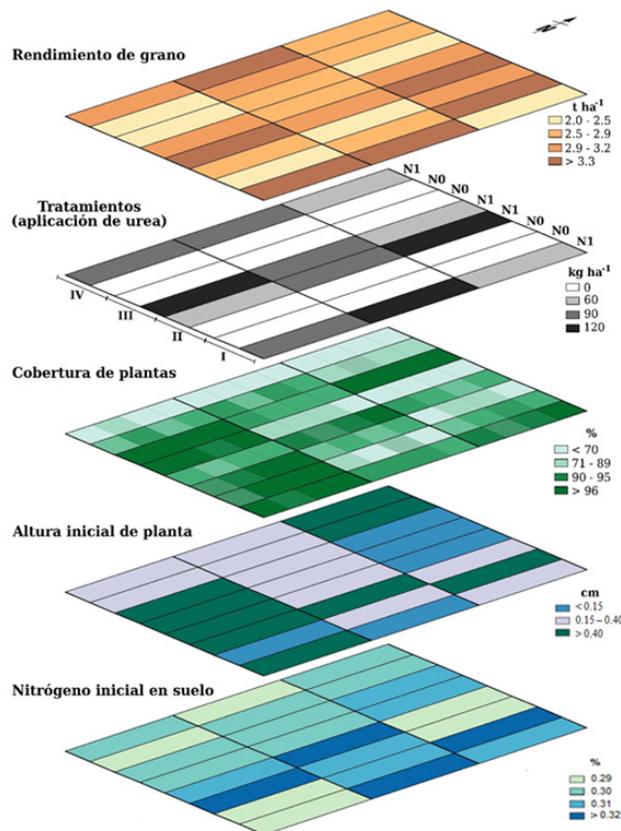


Figura 3.

Capas de información georreferenciadas: rendimiento, tratamientos, cobertura de plantas, altura inicial y N inicial (%) en el suelo. Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.



Producción de grano

En esta investigación se obtuvo un promedio de producción de grano de 3.2 t ha⁻¹, con producciones menores a 2.5 t ha⁻¹ y mayores a 4.0 t ha⁻¹, pero sin una clara distribución en el campo (Figura 4). De acuerdo con ESPAC (2022) producciones mayores a 3.0 t ha⁻¹ no son comunes en Ecuador porque muchos agricultores –en especial en la región Sierra– siembran a bajas cantidades densidades, no aplican riego, y pocas veces usan semilla certificada. Esta producción es superior al promedio nacional de Ecuador de 1,5 t ha⁻¹ (INIAP, 2022). Resultados superiores fueron repostados por Quiroz (2010) quien logro obtener 11.0 t ha⁻¹ con la aplicación de riego. INIAP (2011) indica que la var. INIAP Cañicapa 2003, bajo condiciones de parcelas experimentales puede producir hasta 5.0 t ha⁻¹. Esto comprueba que la baja tecnificación del cultivo en Ecuador ocasiona bajas producciones, mientras que en países desarrollados se obtienen producciones mayores a 5.0 t ha⁻¹ incluso con bajos niveles de fertilización.

Hubo diferencias entre los tratamientos con respecto a la producción de grano ($p = 0.04$) (Figura 5). Aunque se esperaban mayores diferencias, en promedio los tratamientos sin FN produjeron 21% (0.7 t ha⁻¹)

menos de grano que los tratamientos con FN (2.4 vs 3.1 t ha⁻¹, respectivamente). El volumen de producción de grano obedece a factores climáticos y de manejo, como la FN, más que a factores genéticos; es por ello que durante la maduración y con una correcta fertilización la planta transloca el 27% de reservas hacia el grano (Wang et al., 2014). En los tratamientos con FN, los resultados de esta investigación indican que la aplicación diferenciada de N con base en la altura inicial de la planta fue efectiva y esto se refleja en una homogeneidad de producción al final del ciclo del cultivo (Pérez et al, 2016). Por el contrario, cuando no hay FN, las diferencias en altura inicial luego se reflejan en una producción heterogénea al final del ciclo del cultivo.

Al parecer, y con base en los resultados de esta investigación, aplicar la FN diferenciada con base en la altura inicial del cultivo si es un proceso efectivo para lograr producciones óptimas, por lo que los agricultores deberían aplicar más N en las áreas con menor altura inicial de planta y menos N en las áreas con mayor altura. Además, esto permitiría incrementar la eficiencia en el uso de N por parte del cultivo y mejorar el cuidado del ambiente en sistemas agrícolas.

Figura 4.

Capas de información georreferenciadas: rendimiento, tratamientos, cobertura de plantas, altura inicial y N inicial (%) en el suelo. Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

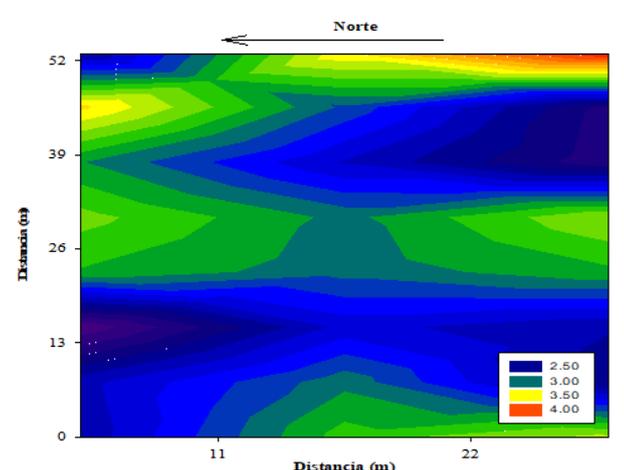
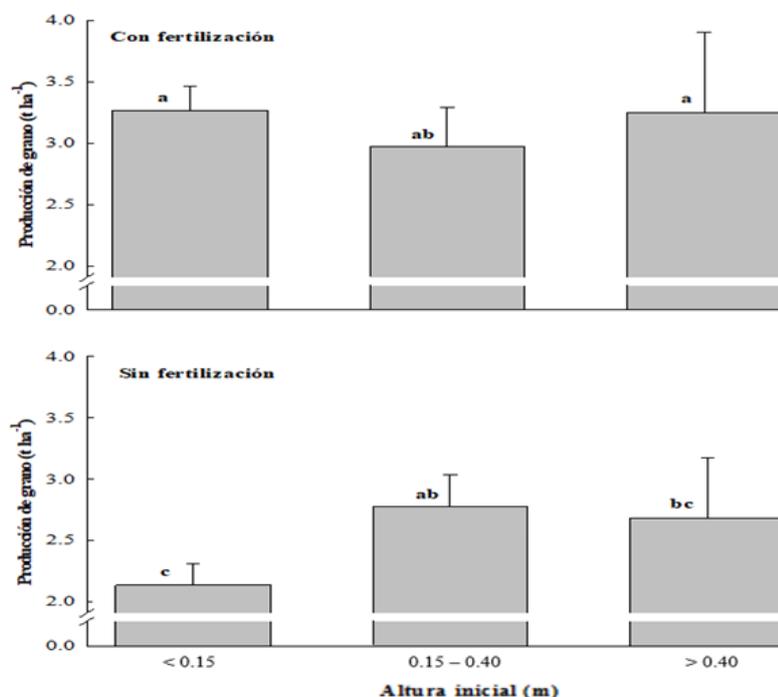


Figura 5.

Análisis estadístico de la producción de grano ($t\ ha^{-1}$) para los seis tratamientos ($p = 0.04$). Las líneas verticales indican la desviación estándar y las barras con las mismas para los tratamientos con y sin fertilización no son diferentes ($p \leq 0.10$). Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador



Contenido de proteína en el grano

Con respecto al contenido de proteína en el grano se observó un promedio de 12%, con valores predominantes entre 11 (en especial en el lado occidental del campo) y 13% (en especial en la parte central y oriental del campo) (Figura 6). Rangos normales de proteína en el grano de cebada oscilan entre 8 - 16% (Cruz et al., 2019); pero la industria cervecera por lo general prefiere variedades de cebada con menos del 14% de proteína para asegurar la producción de espuma (INIAP, 2011), lo que, si se obtuvo en esta investigación, y que es similar a lo que obtuvieron Gil et al. (2016), quienes reportaron valores de 6.8 - 13.4% con FN de 100 - 160 kg N ha⁻¹. En las variedades de cebada Andinas, la deficiencia de N puede resultar en niveles de proteína menores al 11%, lo que se refleja en poca producción y granos de baja calidad (Apráez, et al., 2017).

Al igual que el nivel de producción, hubo diferencias entre los tratamientos con respecto al contenido de proteína en el grano ($p = 0.07$) (Figura 7), lo que comprueba que esta variable también responde más a factores climáticos y de manejo como la FN, que a factores genéticos (Tilly et al., 2015). En promedio los tratamientos sin FN produjeron grano con 0.6% menos de proteína que los tratamientos con FN (11.5 vs 12.1%, respectivamente). En los tratamientos con FN, los resultados de esta investigación indican que la aplicación diferenciada de N con base en la altura inicial de la planta no solo fue efectiva con respecto al nivel de producción, sino que también garantizó una buena calidad de grano (Landriscini et al., 2020). Por el contrario, cuando no hay FN, en especial en las parcelas con altura inicial baja y media, el grano pierde calidad y esto se refleja en un menor contenido proteico.

De acuerdo con Ferraris et al (2009), altos niveles de FN no necesariamente resultan en mayores producciones, pero si pueden incrementar el contenido proteico. Entonces, la industria cervecera ecuatoriana de-

bería considerar la aplicación diferenciada de N para garantizar una buena calidad del grano –sin elevados niveles de proteína– utilizado en la producción de cerveza.

Figura 6.

Variabilidad espacial del contenido de proteína en el grano (%) de la cebada, var. INIAP Cañicapa 2003

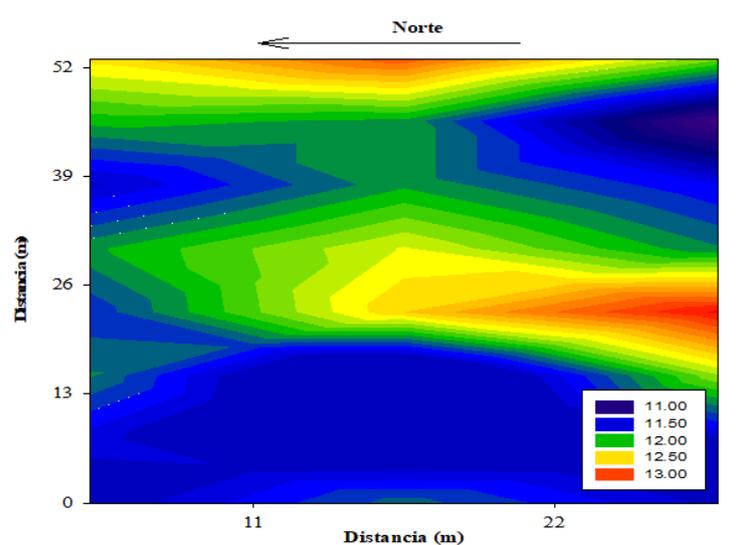
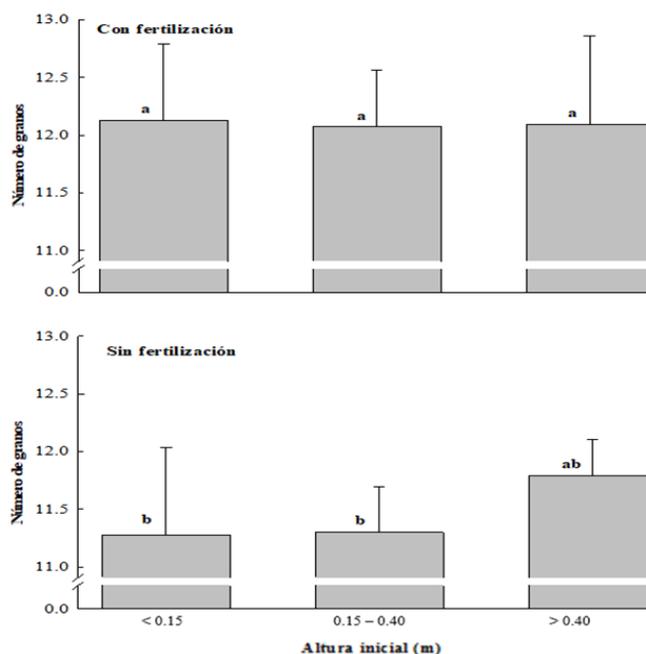


Figura 7.

Análisis estadístico del contenido de proteína en el grano (%) para los seis tratamientos ($p = 0.07$). Las líneas verticales indican la desviación estándar y las barras con las mismas letras para los tratamientos con y sin fertilización no son diferentes ($p \leq 0.10$). Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.



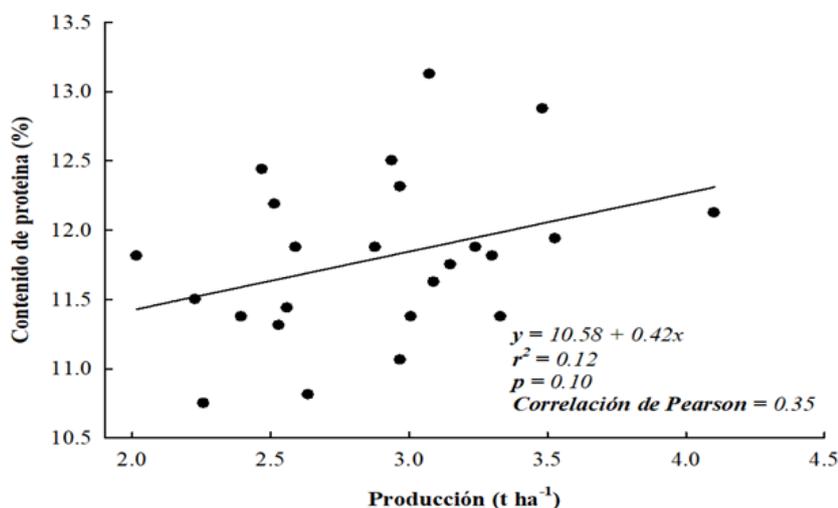
Relación entre la producción y el contenido de proteína en el grano

Al correlacionar el nivel de producción con el contenido de proteína en el grano se encontró una relación positiva de tipo lineal ($p = 0.10$; $r^2 = 0.12$; coeficiente de Pearson = 0.35) (Figura 8). Los resultados indican que cuando la mineralización de la MO y la disponibilidad de N en el suelo es baja, la FN tiende a incrementar la producción de grano y su valor nutricional (Cedeño et al., 2018), y se absorbe en promedio 19 kg N t⁻¹ de grano producido y con un promedio de 12% de contenido proteico. Esto concuerda con los resultados de Magliano et al (2014), quienes encontraron mayores contenidos de proteína al aumentar la FN (8.4, 9.5 y 10.6% con 0, 100 y 160 kg N ha⁻¹). La relación es

baja en esta investigación quizá porque la cantidad de datos (24 en total) no es alta como para obtener una respuesta más significativa, y también por la variabilidad en la producción a través del campo (Alqudah et al., 2016). Sin embargo, relaciones similares se han reportado en cebada y trigo en suelos deficientes en cuanto a la disponibilidad natural de N (Cunalata, 2022). Pero esta respuesta contradice lo expuesto por Plaza, et al. (2021), quien mencionan que altos niveles de producción crean un efecto de dilución en el grano que resulta en menor contenido de N y por ende de proteína. Pero cuando el nivel de producción es muy alto o bajo se debe ajustar la fertilización a los requerimientos de la industria para modificar el contenido proteico del grano.

Figura 8.

Relación entre la producción de grano y su contenido de proteína en la cebada, var. INIAP Cañicapa 2003. Yaruquies, Riobamba, Chimborazo, Ecuador



Conclusiones

En los tratamientos con FN, el uso de georeferenciación permitió mejorar la eficiencia en el uso del fertilizante, por tanto, cuando la cebada tiene un crecimiento inicial óptimo se requiere solo 60 kg N ha⁻¹, extrayendo en promedio 19 kg N t⁻¹ de grano producido, y un contenido proteico del 12%. Con respecto a la producción de grano en promedio los tratamientos sin FN produjeron

21% (0.7 t ha⁻¹) menos de grano que los tratamientos con FN (3.1 t ha⁻¹), respectivamente. Y la relación entre la producción y el contenido de proteína en el grano fue una relación positiva de tipo lineal ($p = 0.10$; $r^2 = 0.12$; coeficiente de Pearson = 0.35).

Bibliografía

- Alqudah, A., Koppulo, R., Wolde, G., Graner, A. & Schnurbusch, T. (2016). The Genetic Architecture of Barley Plant Stature. *Frontiers in Genetics*. Volumen 7 No 117. pp. 1-15. ISSN: 1664-8021. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2016.00117/full>
- Apráez, E., Calderón, D. & Guerrero, L. (2017). Valoración nutricional y productiva de diferentes granos de cereales germinados. *Agro Sur*. Volumen 45 No 2. pp. 11-19. ISSN: 0719-4196. Disponible en: <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v45n2/art02.pdf>
- Basantes, Emilio. (2015). Manejo de cultivos andinos del Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Besteiro, S. & Descalzo, A. (2021). Contenidos de nitrógeno y fósforo del suelo ante un cambio de cobertura y condición topográfica. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Volumen 47 No 2. pp. 285-292. ISSN: 1669-2314. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/864/86469002015/html/>
- Castellanos, Rosa María & Morales Pérez, Milagros. (2016). Análisis crítico sobre la conceptualización de la agricultura de precisión. *Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba*. Volumen 1 No 2. pp. 34-43. ISSN: 1027-2887. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000400013
- Cedeño, J., Cedeño, G., Alcívar, J., Cargua, J., Cedeño, F., Cedeño, G. & Constante, G. (2018). Incremento del rendimiento y calidad nutricional del arroz con fertilización NPK complementada con micronutrientes. *Scientia Agropecuaria*. Volumen 19 No 4. pp. 503-509. ISSN: 2077-9917. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n4/a05v9n4.pdf>
- Celaya, Hernán & Castellanos, Alejandro. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*. Volumen 29 No 3. pp. 343-356. ISSN: 0187-5779. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n3/2395-8030-tl-29-03-00343.pdf>
- Córdova, C., Magna, C., Barrera, J. & Zagal E. (2020). Dependencia espacial del potencial de nitrógeno disponible del suelo en dos sitios contrastantes. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. Volumen 36 No 1. pp. 14-25. ISSN: 0719-3890. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v36n1/0719-3890-chjaasc-00102.pdf>
- Cunalata Cando, J.A. (2022). Evaluación de la mejor dosis de fertilización Nitrogenada en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) variedad cañicapac en la comunidad Puculpala. [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Repositorio digital ESPOCH. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/am/123456789/17216/1/13T00998.pdf>
- Cruz Y., Cadena, E. & Arango, J. (2019). Procesamiento de la Cascarilla de Cebada Cervecera por Vía Enzimática para la Obtención de Azúcares Fermentables. *Información tecnológica*. Volumen 30 No 4. pp. 41-50. ISSN: 0718-0764. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n4/0718-0764-infotec-30-04-00041.pdf>
- ESPA. (2022). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. INEC. Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZTEyY2NiZDItYjIzYi00ZGQ1LTlkNGEtNDE1OGViM2Q1N2VlIiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWMtNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTEyMi9&pageName=ReportSection>
- Ferraris, Gustavo. (2009). Fertilización nitrogenada de trigo y otros cereales de invierno. Criterios de manejo para incrementar su eficiencia. Disponible en: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/f8b97d9fdafd5f510325790300536221/\\$FILE/Ferraris%20-Fertilizaci%C3%B3n%20Trigo%202009.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/f8b97d9fdafd5f510325790300536221/$FILE/Ferraris%20-Fertilizaci%C3%B3n%20Trigo%202009.pdf)
- García, Fernando & Daverede, Inés. (2008). Diagnóstico pararecomendação deadubação nitrogenada em culturas de interesse agrônomico. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228748019_DIAGNOSTICO_PARA_RECOMENDACION_DE_FERTILIZACION_NITROGENADA_EN_CULTIVOS_DE_INTERES_AGRONOMICO
- Garófalo Sosa, J.A. (2012). Extracción de nutrientes en el cultivo de cebada. [Tesis de posgrado]. Universidad Central del Ecuador. Repositorio digital UCE. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/89560fe5-06a2-40dd-9d3c-4cfd82082366/content>
- Gerhards, H., Cutjahr, C., Weis, M. & Piepho, H. (2011). Using precision farming technology to quantify yield effects attributed to weed competition and herbicide application. *Weed Research*. Volumen 52 No 1. pp. 5-15. ISSN: 1027-2887. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260741166_Using_precision_farming_technology_to_quantify_yield_effects_due_to_weed_competition_and_herbicide_application

- Gil, A., Miravalles, M., Moreyra, F. & Conti, V. (2016). Calidad industrial de la cebada cervecera: impacto de la fecha de siembra. Disponible en: https://repositorio.inta.gov.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/4604/INTA_CRBsAsSur_EEABordenave_Moreyra_F_Calidad_industrial_de_la_cebada_cervecera.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INAMHI. (2023). Boletín de predicción climática septiembre 2023 - noviembre 2023. Disponible en: https://www.inamhi.gob.ec/pronostico/cwrf/2023/Boletin_CWRF.pdf
- INIAP. (2011). Manejo Integrado de los cultivos Trigo y Cebada. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2719/1/iniaps-cpm183.PDF>
- INIAP. (2020). La cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5587/2/Manual%20116%20La%20cebada.pdf>
- INIAP. (2022). Actividades de Investigación en cereales 2021. MAG. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5977/1/INFORME%20ANUAL%20CEBADA%202021%20digital%20baja%20resoluci%C3%B3n.pdf>
- INIAP. (2023). Manual para la producción sostenible de cebada en la Sierra ecuatoriana. MAG. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/6015>
- Landriscini, M., Martínez, J., Cerdá, C., Carrasco, S., Moreyra, F. & Galantini, J. (2020). Fertilización nitrogenada en diferentes variedades de cebada en el partido de bahía blanca. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/190353/CONICET_Digital_Nro.28f56b14-caa8-4bb9-9240-645b18da5e8d_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Lagunes, E., Villanueva, C., Lagunes, E., Zamora, E., Ávila, N. & Villanueva, E. (2022). La densidad de siembra en el crecimiento de la verdolaga Revista mexicana de ciencias agrícolas. Volumen 12 No 2. pp. 317-329. ISSN: 2007-0934. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342021000200317
- López, Luis. (2014). Abonado de los cereales de invierno: Trigo y cebada. Universidad de Córdoba. Disponible en: https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/8935222/CEREAL_HIVERN_2010_guia_cultus_Capitol_16.pdf/4e8527a2-cc1f-4900-85ce-e3da9459249b
- López-Pacheco, A. A., Escárcega-Bobadilla, M. V., Mondragón-Camarillo, L., Hayano-Kanashiro, C., Varela-Romero, A., Vilchez-Vargas, R., & Calderón, K. (2022). Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Salfen de níquel y zinc. Biotecnia. Volumen 22 No 3. pp. 29-39. ISSN: 1665-1456. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/biotecnia/v22n3/1665-1456-biotecnia-22-03-29.pdf>
- Madić, M., Knežević, D., Paunović, A. & Đurović, D. (2016). Plant height and internode length as components of lodging resistance in barley. Acta Agriculturae Serbica. Volumen 21 No 42. pp. 99-106. ISSN: 2560-3140. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312262412_Plant_height_and_internode_length_as_components_of_lodging_resistance_in_barley/fulltext/587d761c08ae9a860ff1022c/Plant-height-and-internode-length-as-components-of-lodging-resistance-in-barley.pdf
- Magliano, P., Prystupa, P. & Boem, G. (2014). Contenido proteico en granos de distinto tamaño en cebada cervecera. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2014/06/14.pdf>
- McCormick. (2020). Todos los datos sobre la producción de los cereales. Disponible en: <https://www.mccormick.it/es/todos-los-datos-sobre-la-produccion-de-los-cereales/>
- Oišovská, K., Sytar, O. & Kováčik, P. (2024). Optimizing Nitrogen Application for Enhanced Barley Resilience: A Comprehensive Study on Drought Stress and Nitrogen Supply for Sustainable Agriculture. Sustainability. Volumen 16 No 5. pp. 1-14. ISSN: 1664-8021. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/2016>
- Pantoja, José Luis. (2014). Efecto de los cultivos de cobertura en la nutrición de cultivos y la dosis de fertilización. 2do Simposio de Fisiología Vegetal. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/1469/1794>
- Pérez, J., Zamora, M., Mejía, J., Hernández, A. & Solano, S. (2016). Estabilidad del rendimiento de grano en cebada maltera en el bajío, México. Chilean journal of agricultural & animal sciences. Volumen 32 No 1. pp. 12-19. ISSN: 0719-3890. Disponible en: https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v32n1/art_02.pdf

- Plaza, D., Lampurlanés, J., Fernández, F. & Cantero, C. (2021). Nitrogen fertilization strategies for improved Mediterranean rainfed wheat and barley performance and water and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*. Volumen 124. pp. 1-12. ISSN: 1161-0301. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030121000101>
- Pugh, N., Thorp, K., González, E., Eldin, D. & Duke, W. (2021). Comparison of image georeferencing strategies for agricultural applications of small unoccupied aircraft systems. *The Plant Phenome Journal*. Volumen 4 No 1. pp. 1-19. ISSN: 2578-2703. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355158506_Comparison_of_image_georeferencing_strategies_for_agricultural_applications_of_small_unoccupied_aircraft_systems
- Quiroz Mercado, J. (2010). Rendimiento y producción de biomasa de trigo, cebada y triticale bajo riego y secano durante el llenado de grano en el sur de Chile. [Tesis de posgrado]. Universidad Austral de Chile. Repositorio digital UACH. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/egq.8r/doc/egq.8r.pdf>
- Radočaj, D., Jurišić, M. & Gašparović, M. (2022). The Role of Remote Sensing Data and Methods in a Modern Approach to Fertilization in Precision Agriculture. *Remote Sensing*. Volumen 14 No 3. pp. 1-22. ISSN: 2072-4292. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/3/778>
- Sánchez, L., Martínez, F., Torres, S., Lascano, A. & Terán, G. (2024). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*. Volumen 8 No 1. pp. 5-12. ISSN: 2707-2215. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/9547/14138>
- Tilly, Nora (2015). Fusion of Plant Height and Vegetation Indices for the Estimation of Barley Biomass. *Remote Sensing*. Volumen 7 No 9. pp. 11449-11480. ISSN: 2072-4292. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/9/11449>
- Tóth, Katalin. (2018). Georeferenced Agricultural Data for Statistical Reuse. *Geosciences*. Volumen 8 No 5. pp. 1-19. ISSN: 2076-3263. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3263/8/5/188>
- Wang, J., Yang, J., Jia, Q., Zhu, J., Shang, Y., Hua, W. & Zhou, M. (2014). A New QTL for Plant Height in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Showing No Negative Effects on Grain Yield. *PLoS One*. Volumen 9 No 2. ISSN: 1932-6203. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3938599/>

Cómo citar: Lema Paredes, J. B., Verdezoto del Salto, L. F., & Rosero Reina, L. J. (2025). Utilización de georreferenciación para analizar el efecto de la fertilización nitrogenada en la producción de cebada. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(3). <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n3.2025.206-219>