

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE AGROPECUARIA



### EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD ABI VOYAGER Y 3 LÍNEAS MEJORADAS DE CEBADA MALTERA (*Hordeum vulgare* L.) ESPEJO – CARCHI

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

#### AUTOR:

Quelal Quelal Manuel Bayardo

#### DIRECTORA:

Ing. Chalampunte Flores Doris Salomé, PhD.

Ibarra, julio, 2024.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE AGROPECUARIA

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE EL  
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD ABI VOYAGER Y  
3 LÍNEAS MEJORADAS DE CEBADA MALTERA (*Hordeum vulgare* L.)  
ESPEJO – CARCHI.**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

APROBADO:

Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores, PhD.




---

**DIRECTORA**

FIRMA

Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

**ASESORA**



---

FIRMA



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO    |  |
|----------------------|--|
| Cédula de identidad: | 0402040901   |
| Apellidos y nombres: | Quelal Quelal Manuel Bayardo                                   |
| Dirección:           | Espejo - Carchi  |
| Email:               | <a href="mailto:mbquelalq@utn.edu.ec">mbquelalq@utn.edu.ec</a> |
| Teléfono fijo:       | 0995051560   |

| DATOS DE LA OBRA            |   |
|-----------------------------|---|
| Título:                     | EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD ABI VOYAGER Y 3 LÍNEAS MEJORADAS DE CEBADA MALTERA ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) ESPEJO – CARCHI. |
| Autor:                      | Quelal Quelal Manuel Bayardo  |
| Fecha:                      | 22 de julio del 2024  |
| Solo para trabajos de grado |   |
| Programa                    | <input checked="" type="checkbox"/> Pregrado <input type="checkbox"/> Posgrado  |
| Título por el que opta      | Ingeniero Agropecuario  |
| Directora                   | Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores, PhD   |

### 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin los derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 22 del mes de julio del 2024

EL AUTOR


  
.....

Quelal Quelal Manuel Bayardo

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Quelal Quelal Manuel Bayardo, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 22 días del mes de julio de 2024

  
Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores, PhD  
DIRECTORA DE TESIS

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

Ibarra, 22 de julio del 2024

Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores, PhD.  
DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

..........

Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores, PhD.  
C.C.: 1002610531

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA-UTN

**Fecha:** Ibarra, 22 del mes de julio del 2024

**Quelal Quelal Manuel Bayardo:** "EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD ABI VOYAGER Y 3 LÍNEAS MEJORADAS DE CEBADA MALTERA (*Hordeum vulgare* L.) ESPEJO – CARCHI." / Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, 22 días del mes de julio del 2024, con 107 páginas.

**DIRECTORA:** Ing. Doris Salome Chalampunte Flores, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto de la fertilización química sobre el comportamiento agronómico de la variedad ABI Voyager y 3 líneas mejoradas de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) Espejo – Carchi.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Determinar la productividad de los materiales de cebada maltera bajo diferentes esquemas de fertilización.
- Comparar los parámetros de calidad de grano de los materiales de cebada maltera evaluados.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

..........

Ing. Doris Salomé Chalampunte Flores, PhD.

**Directora de Trabajo de Grado**

..........

Quelal Quelal Manuel Bayardo

**Autor**

## **AGRADECIMIENTO**

*Al Padre eterno por haberme dado la determinación de llegar al culmino de este objetivo, a pesar de los obstáculos que se presentaron a lo largo de la profesión. Mil gracias a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo. También expreso mi gratitud a mis hermanos, quienes supieron estar cuando más los necesitaba. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. A toda mi familia, amigos y demás personas que de una u otra forma, colaboraron y participaron en la realización de esta investigación.*

*De manera especial, agradezco a la empresa Cervecería Nacional por su apoyo crucial en esta investigación. Su compromiso con el desarrollo y la financiación nos permitió obtener resultados significativos y avanzar en el conocimiento del campo. Su colaboración, que incluyó recursos, equipos y asesoramiento técnico, mejoró enormemente la calidad del trabajo. De manera especial quiero extender mi agradecimiento al ingeniero Xavier Mera por su apoyo constante y dedicación durante todo el desarrollo de la presente investigación.*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, hermanos, familiares y amigos que estuvieron firmes con su apoyo incondicional. También a todas esas personas que se esfuerzan día a día para cumplir sus sueños en este plano.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE CONTENIDOS.....   | IX   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | XIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | XIV  |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | XVI  |
| RESUMEN.....  | 17   |
| SUMMARY.....  | 18   |
| CAPITULO I.....   | 19   |
| INTRODUCCIÓN.....   | 19   |
| 1.1. Antecedentes.....  | 19   |
| 1.2. Problema .....   | 20   |
| 1.3. Justificación .....  | 21   |
| 1.4. Objetivos.....   | 22   |
| 1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....  | 22   |
| 1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....                                   | 22   |
| 1.5. Hipótesis .....  | 23   |
| 1.5.1. <i>Hipótesis alternativa</i> .....                                   | 23   |
| 1.5.2. <i>Hipótesis nula</i> .....  | 23   |
| CAPÍTULO II.....  | 24   |
| MARCO TEÓRICO .....   | 24   |
| 2.1. Generalidades del cultivo de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) ..... | 24   |
| 2.2. Clasificación taxonómica.....  | 24   |
| 2.3. Descripción botánica del cultivo.....                                  | 25   |
| 2.3.1. <i>Raíz</i> .....  | 25   |
| 2.3.2. <i>Tallo</i> .....   | 26   |
| 2.3.3. <i>Hojas</i> .....   | 26   |
| 2.3.4. <i>Inflorescencia</i> .....  | 26   |
| 2.3.5. <i>Grano</i> .....   | 26   |
| 2.4. Etapas fenológicas .....   | 27   |
| 2.4.1. <i>Germinación</i> .....   | 27   |
| 2.4.2. <i>Macollamiento</i> .....   | 27   |
| 2.4.3. <i>Encañado</i> .....  | 27   |
| 2.4.4. <i>Formación del grano</i> .....                                     | 28   |
| 2.5. Requerimientos edafoclimáticos .....                                   | 28   |
| 2.5.1. <i>Suelo</i> .....   | 29   |
| 2.5.2. <i>Temperatura</i> .....   | 29   |
| 2.5.3. <i>Requerimientos hídricos</i> .....                                 | 29   |

|                          |   |    |
|--------------------------|---|----|
| 2.6.                     | Manejo del cultivo .....                                      | 30 |
| 2.6.1.                   | <i>Reconocimiento del área</i> .....                          | 30 |
| 2.6.2.                   | <i>Preparación del suelo</i> .....                            | 30 |
| 2.6.3.                   | <i>Siembra</i> .....  | 31 |
| 2.6.4.                   | <i>Semilla (grano)</i> .....                                  | 31 |
| 2.6.5.                   | <i>Cantidad de semilla</i> .....                              | 32 |
| 2.6.6.                   | <i>Fertilización</i> .....                                    | 32 |
| 2.6.7.                   | <i>Control de malezas</i> .....                               | 33 |
| 2.6.8.                   | <i>Cosecha</i> .....  | 33 |
| 2.6.9.                   | <i>Almacenamiento</i> .....                                   | 33 |
| 2.7.                     | Plagas y enfermedades.....                                    | 34 |
| 2.8.                     | Variedad y líneas en estudio .....                            | 34 |
| 2.9.                     | Marco legal .....   | 35 |
| CAPÍTULO III .....       |   | 37 |
| MARCO METODOLÓGICO ..... |   | 37 |
| 3.1.                     | Caracterización del área de estudio.....                      | 37 |
| 3.2.                     | Características de la parroquia La Libertad .....             | 38 |
| 3.3.                     | Materiales, equipos, insumo y herramientas.....               | 38 |
| 3.4.                     | Métodos.....  | 39 |
| 3.5.                     | Factores en estudio.....                                      | 39 |
| 3.5.1.                   | <i>Factor A: Variedad y líneas de cebada maltera</i> .....    | 39 |
| 3.5.2.                   | <i>Factor B: Esquemas de fertilización</i> .....              | 39 |
| 3.6.                     | Diseño experimental .....                                     | 40 |
| 3.6.1.                   | <i>Características del experimento</i> .....                  | 40 |
| 3.6.2.                   | <i>Características de la unidad experimental</i> .....        | 40 |
| 3.7.                     | Análisis estadístico.....                                     | 41 |
| 3.8.                     | Variables evaluadas .....                                     | 41 |
| 3.8.1.                   | <i>Días a la emergencia</i> .....                             | 41 |
| 3.8.2.                   | <i>Días al macollamiento</i> .....                            | 42 |
| 3.8.3.                   | <i>Días al encañado</i> .....                                 | 43 |
| 3.8.4.                   | <i>Días al embuchamiento</i> .....                            | 43 |
| 3.8.5.                   | <i>Días al espigado</i> .....                                 | 44 |
| 3.8.6.                   | <i>Días a la madurez fisiológica</i> .....                    | 45 |
| 3.8.7.                   | <i>Altura de planta</i> .....                                 | 45 |
| 3.8.8.                   | <i>Número de plantas establecidas por m<sup>2</sup></i> ..... | 46 |
| 3.8.9.                   | <i>Longitud de la espiga</i> .....                            | 46 |
| 3.8.10.                  | <i>Número de granos por espiga</i> .....                      | 47 |

|                              |  |    |
|------------------------------|--|----|
| 3.8.11.                      | <i>Severidad de enfermedades</i> .....                     | 48 |
| 3.8.12.                      | <i>Peso de mil granos</i> .....                            | 48 |
| 3.8.13.                      | <i>Peso hectolítrico</i> .....                             | 49 |
| 3.8.14.                      | <i>Porcentaje de calibre óptimo</i> .....                  | 50 |
| 3.8.15.                      | <i>Rendimiento</i> .....                                   | 50 |
| 3.8.16.                      | <i>Costo de producción</i> .....                           | 51 |
| 3.8.17.                      | <i>Relación Beneficio/Costo</i> .....                      | 51 |
| 3.9.                         | <b>Manejo específico del experimento</b> .....             | 52 |
| 3.9.1.                       | <i>Selección del predio</i> .....                          | 52 |
| 3.9.2.                       | <i>Análisis de suelo</i> .....                             | 52 |
| 3.9.3.                       | <i>Preparación del suelo</i> .....                         | 53 |
| 3.9.4.                       | <i>Delimitación del área experimental</i> .....            | 54 |
| 3.9.5.                       | <i>Fertilización del suelo</i> .....                       | 55 |
| 3.9.6.                       | <i>Desinfección de semilla</i> .....                       | 56 |
| 3.9.7.                       | <i>Siembra</i> .....                                       | 57 |
| 3.9.8.                       | <i>Riego</i> .....   | 58 |
| 3.9.9.                       | <i>Monitoreo de enfermedades</i> .....                     | 58 |
| 3.9.10.                      | <i>Labores culturales</i> .....                            | 58 |
| 3.9.11.                      | <i>Cosecha</i> .....                                       | 59 |
| 3.9.12.                      | <i>Trillado</i> .....                                      | 59 |
| CAPÍTULO IV .....            |  | 61 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... |  | 61 |
| 4.1.                         | Climograma de la zona del ensayo .....                     | 61 |
| 4.2.                         | Número de plantas establecidas por m <sup>2</sup> .....    | 61 |
| 4.3.                         | Días al macollamiento.....                                 | 62 |
| 4.4.                         | Días al encañado .....                                     | 64 |
| 4.5.                         | Días al embuchamiento.....                                 | 66 |
| 4.6.                         | Días al espigado .....                                     | 67 |
| 4.7.                         | Días a la madurez fisiológica.....                         | 69 |
| 4.8.                         | Altura de planta.....                                      | 70 |
| 4.9.                         | Longitud de la espiga.....                                 | 72 |
| 4.10.                        | Número de granos por espiga.....                           | 73 |
| 4.11.                        | Porcentaje de calibre de grano ideal ( $\geq 2.5$ mm)..... | 74 |
| 4.12.                        | Peso hectolítrico .....                                    | 76 |
| 4.13.                        | Peso de mil granos.....                                    | 78 |
| 4.14.                        | Rendimiento .....  | 80 |
| 4.15.                        | Severidad de roya ( <i>Puccinia hordei</i> ).....          | 82 |

|   |    |
|---|----|
| 4.16. Análisis Económico.....                     | 83 |
| 4.16.1. Costos de producción y relación B/C ..... | 83 |
| CAPÍTULO V.....                                   | 86 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....              | 86 |
| 5.1. Conclusiones.....                            | 86 |
| 5.2. Recomendaciones .....                        | 87 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                | 88 |
| ANEXOS.....                                       | 93 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Clasificación taxonómica de cebada .....   | 25 |
| Tabla 2 Requerimientos de nutrientes de la cebada .....  | 32 |
| Tabla 3 Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizadas en la investigación ....                      | 38 |
| Tabla 4 Tratamientos aplicados en la presente investigación.....   | 39 |
| Tabla 5 Características de las unidades experimentales .....   | 41 |
| Tabla 6 Análisis de varianza para la variable del número de plantas establecidas por m <sup>2</sup><br>..... | 62 |
| Tabla 7 Numero de plantas establecidas en base a las líneas y los esquemas de fertilización<br>.....         | 62 |
| Tabla 8 ADEVA para la variable días al macollamiento .....   | 63 |
| Tabla 9 ADEVA de la variable días al encañado .....  | 64 |
| Tabla 10 Días al encañado para las líneas evaluadas y los esquemas de fertilización ...                      | 65 |
| Tabla 11 ADEVA de la variable días al embuchamiento.....   | 66 |
| Tabla 12 Análisis de varianza para la variable días al espigado .....  | 68 |
| Tabla 13 ADEVA para días a la madurez fisiológica .....  | 69 |
| Tabla 14 ADEVA para la altura de planta del presente estudio .....   | 70 |
| Tabla 15 ADEVA para longitud de espiga.....  | 72 |
| Tabla 16 ADEVA para la variable de número de granos por espiga .....   | 73 |
| Tabla 17 Analisis de varianza para la variable porcentaje de grano ideal.....                                | 75 |
| Tabla 18 ADEVA de la variable peso hectolítrico .....  | 77 |
| Tabla 19 ADEVA para peso de mil granos .....   | 78 |
| Tabla 20 ADEVA para la variable rendimiento .....  | 80 |
| Tabla 21 Análisis del costo de producción de los diferentes tratamientos .....                               | 84 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.....                         | 37 |
| Figura 2 Diseño en bloques completos al azar aplicado en el ensayo.....          | 40 |
| Figura 3 Plantas en fase de emergencia.....                                      | 42 |
| Figura 4 Cultivo de cebada en etapa de macollamiento.....                        | 42 |
| Figura 5 Cultivo en fase de encañado.....  | 43 |
| Figura 6 Cultivo de cebada en fase de embuchamiento.....                         | 44 |
| Figura 7 Cultivo de cebada en época de espigado.....                             | 44 |
| Figura 8 Cultivo de cebada en etapa de madurez fisiológica.....                  | 45 |
| Figura 9 Evaluación de la variable altura de planta.....                         | 46 |
| Figura 10 Conteo de plantas establecidas en los cuadrantes señalizados.....      | 46 |
| Figura 11 Evaluación del tamaño de la espiga.....                                | 47 |
| Figura 12 Conteo del número de granos por espiga de las UE.....                  | 47 |
| Figura 13 Severidad de Roya para evaluación en cebada.....                       | 48 |
| Figura 14 Evaluación del peso de mil granos.....                                 | 49 |
| Figura 15 Evaluación de peso hectolítrico de las muestras.....                   | 50 |
| Figura 16 Evaluación de calibre de grano sobre zaranda.....                      | 50 |
| Figura 17 Predio seleccionado para establecimiento del experimento.....          | 52 |
| Figura 18 Toma de la muestra de suelo para posterior envío.....                  | 53 |
| Figura 19 Preparación del área del ensayo.....                                   | 54 |
| Figura 20 Delimitación del área experimental y parcelas.....                     | 55 |
| Figura 21 Siembra.....   | 57 |
| Figura 22 Cosecha del cultivo de cebada.....                                     | 59 |
| Figura 23 Proceso de trillado por cada unidad experimental.....                  | 60 |
| Figura 24 Climograma en la zona de La Libertad.....                              | 61 |
| Figura 25 Días al macollamiento en función de las líneas utilizadas.....         | 63 |
| Figura 26 Días al macollamiento en función de los esquemas de fertilización..... | 64 |
| Figura 27 Días al embuchamiento en función de las líneas utilizadas.....         | 66 |
| Figura 28 Días al embuchamiento en función de los esquemas de fertilización..... | 67 |
| Figura 29 Días al espigado para los tratamientos estudiados.....                 | 68 |
| Figura 30 Días a la madurez fisiológica en base a las líneas estudiadas.....     | 70 |
| Figura 31 Altura de planta para los tratamientos estudiados.....                 | 71 |
| Figura 32 Longitud de la espiga para los tratamientos estudiados.....            | 72 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 33 Numero de granos por espiga para los tratamientos estudiados. ....      | 74 |
| Figura 34 Porcentaje de calibre óptimo para los tratamientos estudiados.....      | 76 |
| Figura 35 Peso hectolítrico para los tratamientos estudiados.....                 | 78 |
| Figura 36 Peso de mil granos en función de las líneas utilizadas.....             | 79 |
| Figura 37 Peso de mil granos en función de los esquemas de fertilización .....    | 80 |
| Figura 38 Rendimiento obtenido en los tratamientos estudiados .....               | 81 |
| Figura 39 Severidad de Roya a través de las diferentes fechas de evaluación ..... | 83 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 1 Toma de muestra para el análisis de suelo posterior.....               | 93  |
| Anexo 2 Área de suelo preparada previa a la siembra .....                      | 94  |
| Anexo 3 Delimitación de unidades experimentales .....                          | 94  |
| Anexo 4 Preparación de dosis para fertilización inicial .....                  | 95  |
| Anexo 5 Delimitación de subáreas dentro de la parcela.....                     | 95  |
| Anexo 6 Cultivo en etapa de emergencia .....                                   | 96  |
| Anexo 7 Recolección de precipitación con ayuda de pluviómetro .....            | 97  |
| Anexo 8 Cultivo de cebada en etapa de macollamiento.....                       | 98  |
| Anexo 9 Cebada en etapa de embuchamiento .....                                 | 98  |
| Anexo 10 Evaluación de severidad de enfermedades .....                         | 99  |
| Anexo 11 Rotulado del área de ensayo .....                                     | 100 |
| Anexo 12 Primeras espigas del cultivo de cebada.....                           | 100 |
| Anexo 13 Visita de campo correspondiente a la segunda reunion científica ..... | 101 |
| Anexo 14 Control fungico .....   | 101 |
| Anexo 15 Evaluación de variables agronomicas.....                              | 102 |
| Anexo 16 Evaluación de Altura de planta .....                                  | 102 |
| Anexo 17 Visita por parte de ingenieros .....                                  | 103 |
| Anexo 18 Cosecha manual de cebada .....  | 104 |
| Anexo 19 Trillado.....   | 105 |
| Anexo 20 Análisis de suelo de la zona de La Libertad.....                      | 107 |



# EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LA VARIEDAD ABI VOYAGER Y 3 LÍNEAS MEJORADAS DE CEBADA MALTERA (*Hordeum vulgare* L.) ESPEJO – CARCHI.

Quelal Quelal Manuel Bayardo  
Universidad Técnica del Norte  
[mbquelalq@utn.edu.ec](mailto:mbquelalq@utn.edu.ec)

## RESUMEN

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es adaptable a diversos entornos, siendo crucial en áreas con limitaciones ambientales. Su mejoramiento genético busca aumentar su rendimiento por su importancia económica. Sin embargo, la producción nacional es baja, con 24 000 toneladas anuales y una productividad de 0.60 toneladas por hectárea, esto obliga al país a importar cerca de 40 000 toneladas al año, gastando más de 10 millones de dólares. Mejorar la fertilización es vital para incrementar la producción, asegurar altos rendimientos, calidad maltera óptima, y reducir costos, manteniendo un contenido proteico entre el 10 y 12% en variedades cerveceras. De este modo el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fertilización química sobre el comportamiento agronómico de la variedad ABI Voyager y 3 líneas mejoradas de cebada maltera en Espejo – Carchi; se implementó un diseño de Bloques Completos al Azar y se establecieron 20 tratamientos que combinaron cuatro materiales de cebada y cinco esquemas de fertilización, en donde se obtuvo que todas las líneas de cebada mostraron alta adaptación, aunque con variaciones en el tiempo de macollamiento; sin embargo todas alcanzaron la madurez fisiológica entre los 167 y 169 días. En términos de calidad, la línea 21K16-0812 bajo el esquema 3 reflejó los mejores resultados en peso hectolítrico con 63.33 kg hl<sup>-1</sup>, peso de mil granos 4.15 g y porcentaje de calibre óptimo (98%), además, el rendimiento superó las 10 t ha<sup>-1</sup>. Estos resultados, permitieron determinar que la línea 21K16-0812 presentó buenos resultados bajo los esquemas de fertilización 2, 3 y 4 ya que mostraron óptimo desarrollo, calidad y rentabilidad para la zona estudiada.

**Palabras Clave:** Cereales, nutrición vegetal, granos, fertilizantes, industria cervecera.

**EFFECT OF CHEMICAL FERTILIZATION ON THE  
AGRONOMIC BEHAVIOR OF THE VARIETY ABI VOYAGER  
AND 3 IMPROVED LINES OF MALTING BARLEY (*Hordeum  
vulgare* L.) ESPEJO – CARCHI.**

Quelal Quelal Manuel Bayardo  
Técnica del Norte University  
[mbquelalq@utn.edu.ec](mailto:mbquelalq@utn.edu.ec)

**SUMMARY**

The cultivation of barley (*Hordeum vulgare* L.) is adaptable to diverse environments, being crucial in areas with environmental limitations. Its genetic improvement seeks to increase its performance due to its economic importance. However, national production is low, with 24 000 tons per year and a productivity of 0.60 tons per hectare, this forces the country to import nearly 40 000 tons per year, spending more than 10 million dollars. Improving fertilization is vital to increase production, ensure high yields, optimal malting quality, and reduce costs, maintaining a protein content between 10 and 12% in brewing varieties. Thus, the objective of this research was to evaluate the effect of chemical fertilization on the agronomic performance of the ABI Voyager variety and 3 improved lines of malting barley in Espejo – Carchi; A Random Complete Block design was implemented and 20 treatments were established that combined four barley materials and five fertilization schemes, where it was obtained that all barley lines appeared highly adapted, although with variations in tillering time; However, all of them reached physiological maturity between 167 and 169 days. In terms of quality, line 21K16-0812 under scheme 3 reflected the best results in hectoliter weight with 63.33 kg hl<sup>-1</sup>, thousand grain weight 4.15 g and optimal size percentage (98%), in addition, the yield exceeded 10 t ha<sup>-1</sup>. These results allowed us to determine that the 21K16-0812 line presented good results under fertilization schemes 2, 3 and 4 since they showed optimal development, quality and profitability for the studied area.

**Keywords:** Cereals, plant nutrition, grains, fertilizers, brewing industry.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.), ha demostrado una capacidad excepcional para adaptarse a una amplia gama de entornos. Esta versatilidad es particularmente valiosa en regiones donde las condiciones ambientales limitan la viabilidad de otros cultivos, proporcionando así una solución agrícola esencial para comunidades con recursos limitados. Además, el aumento del rendimiento de la cebada se ha convertido en un objetivo primordial en los programas de mejora genética de cereales, lo que resalta su relevancia económica y agronómica (Hernández, 2009).

En el contexto global, la cebada desempeña un papel crucial en la cadena alimentaria, tanto para el consumo humano como animal. Su importancia ha crecido significativamente en las últimas décadas, consolidándose como el quinto cultivo más extendido a nivel mundial. Esta expansión se refleja en su contribución del 8% al total de la producción mundial de cereales durante el período 2018-2019, con una producción que supera los 141 millones de toneladas. Los principales productores incluyen a la Unión Europea, Rusia, Canadá, Australia, Ucrania, Turquía, Kazajistán y, notablemente, Argentina, que ha emergido como un actor significativo en este mercado (Cajamarca y Montenegro, 2015).

En el caso específico de Ecuador, las zonas aptas para el cultivo de cebada se encuentran entre los 2400 y 3300 metros sobre el nivel del mar (Gilchrist et al., 2005). Por lo que la fertilización emerge como un factor determinante en la optimización de la producción de cebada. Las plantas absorben grandes cantidades de seis macronutrientes esenciales: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). De estos, N, P y K son considerados primarios debido a su capacidad de proporcionar la nutrición que las plantas necesitan para un crecimiento óptimo. En contraste, Ca, Mg y S, se clasifican como secundarios, generalmente presentes en cantidades suficientes en la mayoría de los suelos. Estos nutrientes se absorben en formas químicas específicas, siendo algunos cationes (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe) y otros aniones (P, S, B, Mo, Cl), lo cual facilita su asimilación por las plantas (Garófalo, 2012).

Dentro de estos nutrientes, el nitrógeno juega un papel crucial en el cultivo de cebada, impulsando la acumulación de biomasa, la formación de clorofila y manteniendo el

equilibrio nutricional de la planta. Además, potencia la absorción y asimilación de otros nutrientes esenciales como el potasio. Investigaciones han demostrado que una aplicación adecuada de nitrógeno puede incrementar la calidad del grano y elevar la producción en hasta un 45% (Lema et al., 2016).

El contenido proteico en el grano de cebada es un indicador crucial de su calidad, especialmente en las variedades destinadas a la producción de cerveza. Idealmente, este contenido debe situarse entre el 10 y el 12%. Por tanto, en las variedades orientadas a la maltería, la fertilización asume un papel crítico. El incremento del nitrógeno no solo eleva el contenido proteico, sino que también el fósforo potencia la concentración de carbohidratos, aceites, grasas y proteínas. Adicionalmente, el potasio juega un rol esencial en el llenado de grano. La interacción y balance adecuado de estos elementos son fundamentales para garantizar altos rendimientos y una calidad maltera superior (Albán et al., 2018).

En este contexto, la fertilización se convierte en una estrategia clave para alcanzar el potencial productivo de la cebada. Se recomienda una aplicación media de 80 kg/ha de N, 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y 40 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Siguiendo estas pautas, los rendimientos pueden ascender hasta 3 toneladas por hectárea. La extracción de nutrientes por cada tonelada de grano producido implica 26 kg de N, 9 kg de P y 21 kg de K, lo que subraya la importancia de una fertilización equilibrada y eficiente (Ponce et al., 2009).

La región del Bajío en México, reconocida como una de las principales zonas productoras de cebada maltera del país, ilustra la aplicación exitosa de estas prácticas. Aquí, se han implementado las denominadas 4R del International Plant Nutrition Institute (IPNI), que enfatizan la importancia de seleccionar la fuente correcta de nutrientes, determinar la dosis adecuada, el momento óptimo y el lugar idóneo de aplicación. Estas recomendaciones son cruciales para maximizar la eficiencia en el uso de los insumos y mejorar la sostenibilidad del cultivo de cebada (Rodríguez et al., 2021).

## **1.2. Problema**

La cebada, un cereal de primordial importancia en la región sierra de Ecuador, desempeña un papel trascendental tanto en la alimentación humana y animal como en la producción de malta para la industria cervecera. A pesar de su relevancia en el ámbito agrícola, la producción nacional de cebada es relativamente limitada, alcanzando apenas las 24000 toneladas anuales, con una productividad media de 0.60 toneladas por hectárea (Instituto

Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022). Esta situación ha llevado al país a importar hasta 40000 toneladas al año, incurriendo en gastos superiores a los 10 millones de dólares estadounidenses, para satisfacer las necesidades de la industria cervecera (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2021).

### **1.3. Justificación**

En Ecuador, la fertilización de la cebada enfrenta importantes desafíos. Muchos agricultores no utilizan fertilizantes, mientras que otros los aplican sin un manejo adecuado del suelo y del cultivo, resultando en una fertilización excesiva. Esta práctica reduce la eficiencia en el uso de los fertilizantes y aumenta los riesgos de contaminación ambiental (Lema et al., 2016).

Para mejorar y aumentar la producción de cebada, es imperativo otorgar especial atención a la fertilización. Este componente es clave no solo para asegurar rendimientos elevados y una calidad maltera óptima, sino también para reducir los costos de producción. En las variedades destinadas a la elaboración de cerveza, es esencial mantener un contenido proteico entre el 10 y el 12% (Merino y Luzuriaga, 1966).

En la actualidad, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la producción de cebada en la provincia de Carchi es ineficiente debido a prácticas inadecuadas que no logran una producción significativa. Esta situación limita la capacidad de satisfacer la demanda nacional. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias de fertilización más efectivas y sostenibles que no solo mejoren los rendimientos, sino que también contribuyan a la sostenibilidad ambiental y económica del sector agrícola ecuatoriano.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Evaluar el efecto de la fertilización química sobre el comportamiento agronómico de la variedad ABI Voyager y 3 líneas mejoradas de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.), Espejo – Carchi.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Determinar la productividad de los materiales de cebada maltera bajo diferentes esquemas de fertilización.
- Comparar los parámetros de calidad de grano de los materiales de cebada maltera evaluados.
- Analizar los resultados económicos de los tratamientos en estudio.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis alternativa***

Al menos uno de los esquemas de fertilización química evaluados muestra un impacto estadísticamente significativo en el rendimiento del cultivo de cebada maltera. Esto implica que la modificación en las prácticas de fertilización puede resultar en variaciones significativas en la producción, tanto en cantidad como en calidad, del cultivo de cebada maltera.

### ***1.5.2. Hipótesis nula***

La aplicación de diferentes esquemas de fertilización química no tiene un efecto estadísticamente significativo en el rendimiento del cultivo de cebada maltera. Es decir, las variaciones en los patrones de fertilización no se traducen en cambios significativos en términos de cantidad y calidad de la producción de cebada maltera.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Generalidades del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.)**

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) se destaca como el segundo cereal más predominante en la región interandina, solo superado por el maíz en términos de distribución geográfica. Su importancia se refleja en su diversidad de usos: aproximadamente un 40% de su producción se destina a la alimentación humana. Un porcentaje equivalente se emplea en la industria, principalmente en la elaboración de malta y cerveza. El 20% restante se utiliza como forraje, evidenciando la versatilidad de este cultivo. La cebada ocupa un lugar central en la economía agrícola, con 12 844 unidades de explotación agrícola registradas, sin incluir a los pequeños productores que cultivan superficies más reducidas de este cereal (Ponce et al., 2022).

En la última década, la cebada se ha consolidado como el quinto producto agrícola más cultivado a nivel mundial. Su historia se remonta a los albores de la agricultura, siendo uno de los primeros cereales domesticados por el ser humano. Investigaciones arqueológicas y genéticas sugieren que la cebada tiene dos centros de origen primarios: el sudeste de Asia y el norte de África. Estos hallazgos indican su adaptación a una amplia gama de condiciones climáticas y geográficas, lo que ha contribuido a su expansión y adaptación a lo largo de diversas culturas y épocas (León et al., 2018).

La importancia de la cebada en el contexto de la región interandina no se limita a su contribución nutricional y económica. Su capacidad para adaptarse a distintas condiciones ambientales, especialmente en terrenos de altitud elevada, la convierte en un recurso agrícola indispensable para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible en estas zonas. Además, su rol en la industria cervecera y maltera, así como en la alimentación animal, subraya su versatilidad y relevancia en múltiples sectores de la economía agrícola.

#### **2.2. Clasificación taxonómica**

La clasificación taxonómica de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) proporciona una descripción científica detallada de este cultivo, esencial para comprender su evolución, diversidad genética y relaciones filogenéticas con otras especies dentro de la familia Poaceae. Este marco taxonómico facilita la identificación precisa de las distintas



variedades de cebada, permitiendo un análisis más profundo de sus adaptaciones específicas al entorno, resistencia a enfermedades y potencial agronómico (Cajamarca y Montenegro, 2015). La clasificación taxonómica del cultivo de cebada se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica del cultivo de cebada*

| <b>Característica</b> | <b>Descripción</b>             |
|-----------------------|--------------------------------|
| Reino                 | Plantae                        |
| División              | Magnoliophyta                  |
| Clase                 | Liliopsida                     |
| Orden                 | Poales                         |
| Familia               | Poaceae                        |
| Género                | <i>Hordeum</i>                 |
| Especie               | <i>H. vulgare</i>              |
| Nombre común          | Cebada, Cebada Maltera         |
| Nombre científico     | <i>Hordeum vulgare</i> Linneo. |

Fuente: Cajamarca y Montenegro (2015).

### **2.3. Descripción botánica del cultivo**

El estudio botánico de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) revela una morfología distintiva y adaptativa, crucial para su desarrollo, productividad y aplicabilidad. Este cultivo presenta características morfológicas específicas, incluyendo un sistema radicular extensivo y eficiente, un tallo erecto y robusto, hojas lineales, y una inflorescencia en forma de espiga. Estos rasgos botánicos no solo son fundamentales para su identificación taxonómica y clasificación dentro del reino vegetal, sino que también proporcionan conocimientos valiosos sobre su ciclo biológico, mecanismos de adaptación al medio y técnicas óptimas de cultivo (Osca, 2013).

#### **2.3.1. Raíz**

Su estructura radicular se caracteriza por un sistema fasciculado, compuesto tanto por raíces primarias como secundarias. Durante las fases iniciales de desarrollo, las raíces primarias emergen a partir de la elongación de la radícula; no obstante, estas declinan y eventualmente desaparecen conforme la planta alcanza la madurez. En esta etapa avanzada, el crecimiento radicular se concentra en la formación de raíces secundarias, las cuales se originan en la base del tallo y se extienden mediante una serie de ramificaciones complejas (Ponce et al., 2019).

### **2.3.2. Tallo**

El tallo de la cebada se caracteriza por presentar una estructura compuesta de nudos sólidos y entrenudos huecos, con una cantidad general de siete a ocho entrenudos que se alargan progresivamente hacia la parte superior del tallo. La planta también desarrolla un tallo principal y varios macollos, cuyo número varía según la planta. Cada macollo tiene la capacidad de producir una espiga. El proceso de macollamiento en la cebada, que es la formación de estos tallos secundarios, está fuertemente influenciado por factores ambientales y prácticas culturales. La comprensión de estas estructuras es esencial para la optimización de las prácticas agrícolas, afectando directamente el rendimiento y la calidad del cultivo (Garófalo et al., 2021).

### **2.3.3. Hojas**

Las hojas de este cultivo suelen ser glabras, es decir, sin pelos, aunque en ocasiones pueden ser ligeramente pubescentes. Anatómicamente, la hoja de cebada se compone de una vaina que envuelve el tallo, una lámina foliar responsable de la fotosíntesis, dos aurículas que ayudan a fijar la hoja al tallo, y una lígula, una estructura membranosa en el punto donde la vaina se une con la lámina. Estas características no solo son esenciales para la identificación botánica de la cebada, sino que también tienen implicaciones en su eficiencia fotosintética y adaptabilidad (Albán et al., 2018).

### **2.3.4. Inflorescencia**

La inflorescencia de la cebada se desarrolla en forma de espiga con aristas largas las cuales se forma a partir de un conjunto de flores agrupadas en un eje central llamado raquis, que contiene nudos y entrenudos. Cada nudo del raquis sostiene tres espiguillas, que son las unidades morfológicas fundamentales de la espiga y se disponen alternadamente a ambos lados del raquis. Las espiguillas están compuestas por dos glumas y varias flores, cuyo número varía según el genotipo. La fertilidad de las espiguillas determina la configuración de la espiga: si todas las espiguillas en un nudo son fértiles, se forma una espiga de seis hileras; si solo las centrales son fértiles, resulta en una espiga de dos hileras. Este patrón de formación de la espiga es crucial para la polinización, protección y cosecha del grano en la cebada (Velazco et al., 2020).

### **2.3.5. Grano**

La cebada se distingue por sus cariósides ovaladas y acanaladas, con extremos redondeados. Generalmente, estos están envueltos por la palea y la lemma, aunque

algunas variedades presentan granos desnudos. Además, la cebada exhibe una notable variabilidad en su color, que puede incluir tonos de blanco, amarillo, azul, negro, entre otros. Esta diversidad cromática no solo es estéticamente relevante, sino que también refleja diferencias en la composición química y genética, cruciales para su valor nutricional y aplicaciones industriales. Comprender estas características es importante para la mejora genética y el procesamiento del cultivo (Garófalo et al., 2021).

## **2.4. Etapas fenológicas**

### **2.4.1. Germinación**

La germinación de la cebada se produce entre 5 y 10 días, dependiendo de la temperatura y la humedad del suelo. La temperatura mínima requerida para la germinación es de 1 a 2 grados centígrados. Una vez que la semilla absorbe suficiente humedad, emerge la raíz primaria (radícula), que crece hacia abajo y proporciona anclaje, absorción de agua y nutrientes, y a veces desarrolla ramificaciones laterales. El sistema radicular seminal, formado por las raíces que emergen a nivel de la semilla, se ramifica y permanece activo durante la temporada de crecimiento. Después de la emergencia de la radícula, el primer brote principal de hojas sale del coleóptilo, que actúa como protección al penetrar el suelo. Por esta razón, la profundidad de siembra no debe exceder la longitud que puede alcanzar el coleóptilo, generalmente no más de 7.5 (Ruiz, 2017).

### **2.4.2. Macollamiento**

Durante la fase de macollamiento, los subnudos del eje principal de la cebada producen brotes secundarios llamados macollos, que comienzan a emerger cuando las plantas presentan tres hojas. A medida que los macollos crecen, desarrollan su propio sistema de raíces, volviéndose independientes de la planta madre. La producción de macollos en la cebada es similar a la del trigo, con un promedio de dos a tres macollos por planta. Sin embargo, la muerte de los macollos más pequeños al iniciarse la floración en el tallo principal, junto con la competencia por luz entre los macollos en diferentes etapas de desarrollo, resulta en un promedio de solo un macollo productivo por planta (Torres y Lazcano, 2013).

### **2.4.3. Encañado**

Inicia cuando aparece el primer nudo, determinándose antes de su presencia sobre la superficie del suelo. En ese momento se puede visualizar la futura espiga, encontrándose justo sobre dicho nudo, con un tamaño de aproximadamente 5 mm. De ahí en adelante

se produce un rápido crecimiento de los tallos, los cuales van estructurándose con base en la formación de nuevos nudos y entrenudos, por otro lado, la espiga también comienza a crecer rápidamente. Al terminar la etapa de encañado, la espiga se hace prominente dentro de la vaina de la hoja bandera, etapa conocida como embuche o embuchamiento (Castañeda et al., 2009).

#### **2.4.4. Formación del grano**

En el primer período de desarrollo del grano, se denomina etapa “lechosa”, dura unos 10 días. Aunque los granos no engordan demasiado durante esta fase, es importante ya que determina el número de células que posteriormente se utilizará para el almacenamiento de almidón. Se caracterizan por una consistencia semisólida blanca llamada “pasta blanda” los granos que almacenan almidón y crecen rápidamente. Este periodo también dura unos 10 días después de la etapa lechosa. Por último, al acercarse la madurez el grano comienza a perder agua rápidamente, llegando a tener una consistencia más sólida, denominada “pasta dura o masa”; aquí es cuando el núcleo también pierde su color verde (Lema et al., 2016)..

#### **2.5. Requerimientos edafoclimáticos**

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Ecuador demuestra una notable capacidad de adaptación a diversos factores edafoclimáticos, lo que permite su desarrollo en una amplia gama de condiciones ambientales. Este cereal se cultiva con éxito en rangos altitudinales que oscilan entre los 2500 y 3500 metros sobre el nivel del mar, un rango que abarca diversas zonas climáticas y características de suelo (Ponce et al., 2019).

Desde el punto de vista climático, la cebada se adapta bien a las condiciones de temperaturas moderadas a frescas típicas de las altitudes mencionadas. Estas temperaturas son ideales para el desarrollo del grano, ya que temperaturas demasiado altas pueden afectar adversamente el rendimiento y la calidad del mismo. Además, la cebada requiere de una distribución adecuada de precipitaciones durante su ciclo de crecimiento, siendo tolerante a condiciones de humedad variable. Sin embargo, una humedad excesiva o sequías prolongadas pueden tener efectos negativos en el desarrollo del cultivo (Merino y Luzuriaga, 1966).

En cuanto a los requerimientos del suelo, la cebada se desarrolla óptimamente en suelos con buen drenaje y texturas que van desde franco-arenosas hasta franco-arcillosas. Prefiere suelos con un pH ligeramente ácido a neutro, aunque muestra una notable

tolerancia a una amplia gama de condiciones de pH. La fertilidad del suelo es también un factor crucial, ya que la cebada requiere un equilibrio adecuado de nutrientes, incluyendo nitrógeno, fósforo y potasio, para alcanzar su potencial de rendimiento óptimo (Garrido, 2017).

### **2.5.1. Suelo**

La cebada requiere suelos fértiles y produce bien con un buen sistema de riego en suelos poco profundos y pedregosos; no se desarrolla bien en terrenos demasiados arcillosos, tolera bien suelos salinos; por otro lado, los suelos compactos dificultan la germinación y las primeras fases de crecimientos de la planta, se adaptarse a diferentes tipos de suelos, por lo general se desarrolla muy bien en suelos ligeros con textura franco-arenosa, requiere un pH mínimo de 5.8 y un óptimo de 6.0, con porcentajes de saturación de aluminio menores al 2%. En cuanto a la textura se prefieren suelos francos (limoso, arcilloso y arenoso), profundos y de buen drenaje drenados con buena fertilidad. Aunque los suelos de textura media favorecen un buen desarrollo radicular (Orrala, 2020).

### **2.5.2. Temperatura**

Su mejor desempeño se da en climas frescos y secos, para alcanzar su madurez fisiológica necesita menos unidades de calor, por ello puede ser cultivada en altas latitudes y altitudes; tolera muy bien las bajas temperaturas ya que puede llegar a soportar hasta 10 °C, al inicio de la etapa de germinación necesita una temperatura de 6 °C, en el florecimiento 16 °C y para entrar en la etapa de maduración 20 °C, pero puede llegar a soportar bajas y altas temperaturas (Almache, 2020).

### **2.5.3. Requerimientos hídricos**

El cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) se caracteriza por su eficiencia en el uso del agua, requiriendo generalmente entre 600 y 800 milímetros de lluvia para su desarrollo óptimo. Esta característica la convierte en un cultivo adecuado para regiones con disponibilidad hídrica moderada. Su sistema radicular profundo y adaptaciones fisiológicas, como el cierre estomático y la reducción del área foliar, le permiten tolerar condiciones de estrés hídrico. La distribución y temporalidad de las lluvias son cruciales, especialmente durante las fases críticas de crecimiento del cultivo. Su capacidad para prosperar con cantidades moderadas de agua la hace valiosa en áreas con recursos hídricos limitados o propensas a sequías, aunque requiere un manejo agronómico cuidadoso para optimizar el uso del agua y asegurar la sostenibilidad del cultivo (Gilchrist et al., 2005).

## 2.6. Manejo del cultivo

### 2.6.1. Reconocimiento del área

De acuerdo con Calvo (2020), para la implementación exitosa del cultivo de cebada (*H. vulgare* L.), es imperativo seleccionar una parcela de tierra de alta calidad, teniendo en cuenta criterios específicos que optimicen las condiciones de crecimiento y minimicen el riesgo de enfermedades y problemas agronómicos. Los aspectos esenciales para considerar son los siguientes:

- **Rotación de cultivos:** Es crucial que el lote destinado al cultivo de cebada no haya sido utilizado para el cultivo de ningún cereal en la temporada o ciclo agrícola anterior. Esta práctica de rotación de cultivos es fundamental para prevenir la acumulación de patógenos específicos de los cereales y para reducir la fatiga del suelo, mejorando así la salud y la fertilidad del mismo (Cajamarca y Montenegro, 2015).
- **Historial de uso del lote:** El lote seleccionado no debe haber sido utilizado para la trilla de cebada u otros cereales en el ciclo anterior. El incumplimiento de esta recomendación puede incrementar el riesgo de contaminación y propagación de enfermedades que podrían afectar negativamente al cultivo subsiguiente (Ponce et al., 2019).
- **Topografía del Terreno:** Se recomienda que el lote presente una pendiente moderada, preferentemente no mayor al 5%. Una pendiente excesiva puede conducir a problemas de erosión del suelo y dificultades en el manejo del agua, mientras que una pendiente leve facilita tanto el drenaje como las prácticas agrícolas (Cajamarca y Montenegro, 2015).
- **Cultivos precedentes:** Es altamente recomendable que el cultivo precedente en el lote haya sido de papa, haba, chocho u otra leguminosa. Estos cultivos pueden mejorar la estructura y la calidad del suelo, especialmente en términos de contenido de nitrógeno, debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, lo cual es beneficioso para el cultivo subsiguiente de cebada (Ponce et al., 2019).

### 2.6.2. Preparación del suelo

La preparación del suelo para el cultivo de la cebada es un proceso que requiere atención meticulosa y planificación anticipada. Es esencial comenzar con la labranza del suelo, ya sea a través de métodos mecánicos o manuales, con un mínimo de dos meses de antelación a la siembra. Este intervalo previo a la siembra es crucial para permitir que la vegetación

no deseada, incluyendo las malas hierbas, y otros residuos orgánicos presentes en el suelo se descompongan adecuadamente. Esta descomposición contribuye significativamente a la incorporación de materia orgánica en el suelo, lo que a su vez mejora su estructura, aumenta su contenido de nutrientes y mejora su capacidad de retención de agua y aireación (Coronel y Jiménez, 2011).

Tras el arado inicial, el uso de una rastra de discos es altamente recomendable. Esta herramienta agrícola es eficaz para romper y desintegrar terrones de tierra grandes, lo que resulta en una cama de siembra más uniforme y suelta. Un suelo bien preparado de esta manera es esencial para una buena germinación de las semillas de cebada y un desarrollo óptimo de las plántulas. Además, un lecho de siembra adecuadamente preparado facilita operaciones agrícolas posteriores, como la siembra precisa, la aplicación eficiente de fertilizantes y el control efectivo de malezas (Ponce et al., 2022).

### **2.6.3. Siembra**

En Ecuador, el cultivo exitoso de la cebada depende en gran medida de las condiciones de temperatura del suelo y de la época de siembra. Para la germinación, se requiere que la temperatura del suelo sea de al menos 4 °C, siendo el rango óptimo entre 12 y 24 °C. La época óptima de siembra varía según la localidad y el año, pero generalmente se alinea con el inicio de la temporada lluviosa o invernal de cada región (León et al., 2018).

Esto permite que el proceso de crecimiento de la cebada aproveche las precipitaciones naturales. Además, se prefiere que la cosecha coincida con la estación seca para evitar problemas de humedad y enfermedades, y facilitar la recolección y almacenamiento del grano. Por lo tanto, una planificación cuidadosa de la siembra según las condiciones climáticas locales es esencial para asegurar un cultivo de cebada exitoso en Ecuador (Garófalo et al., 2021).

### **2.6.4. Semilla (grano)**

La semilla debe ser de buena calidad, para así asegurar un buen porcentaje de germinación de plantas de cebada. Una característica muy importante de la semilla de calidad es su pureza, no debe estar mezclada con otras variedades y/o malezas, para prevenir el ataque de carbón y otros hongos, se debe desinfectar con Carboxin + Captan en dosis de una cucharada sopera no colmada, por cada cinco libras de semilla; realizar la desinfección por lo menos con una semana de anterioridad antes de la siembra (Coronel y Jiménez, 2011).

### 2.6.5. Cantidad de semilla

La cantidad de semilla tiene una variación de acuerdo con el método de siembra. Si este es al voleo (manual) la cantidad de semilla es de 135 kg/ha. Si la siembra se la realiza con máquina la cantidad disminuye a 110 kg/ha. Con esta cantidad de semilla se espera obtener 300 granos a la siembra por metro cuadrado, con el objetivo de obtener sobre las 700 espigas por metro cuadrado a la cosecha (Albán et al., 2018).

### 2.6.6. Fertilización

Al empezar la fase vegetativa la planta de cebada requiere una elevada absorción de nutrientes, es por esto que, el ritmo de absorción en esta fase es alto, esto disminuye de a poco hasta llegar a anularse. El período vegetativo y reproductivo en la cebada cervecera, detallado en la Tabla 2, es corto, por ello demanda de abastecimiento permanente de elementos que estén disponibles para el cultivo (Castillo, 2020).

**Tabla 2**

*Requerimientos de nutrientes de la cebada.*

| Cultivo | Nitrógeno (N) kg/ha | Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) kg/ha | Potasio (K <sub>2</sub> O) kg/ha | Azufre (S) kg/ha |
|---------|---------------------|--|----------------------------------|------------------|
| Cebada  | 60                  | 60   | 30                               | 20               |

Fuente: Falconi et al. (2010)

Las dosis para fertilizar deben ser basadas en un análisis de suelo; pero en caso de no disponer de este, la fertilización se basa en la extracción de nutrientes que el cultivo de cebada toma del suelo (Falconi et al., 2010). Según la extracción de nutrientes por tonelada de grano de cebada producida, lo recomendado para reponer esa deficiencia nutricional es de 26 kg de N, 9 kg de P, 21 kg de K y 3 kg de Mg.

En cuanto a la fertilización orgánica (abonado) es una muy buena opción para no emplear fertilizantes químicos. La fertilización orgánica aumenta la fertilidad y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se recomienda incorporar de 2.0 a 3.0 toneladas por hectárea de abono orgánico (majada bien descompuesta, compost, gallinaza entre otros). La incorporación se realiza al momento de la arada (Falconi et al., 2010; Ponce et al., 2009).



### **2.6.7. Control de malezas**

La preparación del área de siembra bien realizada reduce la presencia de malezas o malas hierbas en el cultivo. En cuanto se establece el cultivo para controlar las malezas existen dos opciones: El control manual (deshierba o desnabe) y el químico. En el control manual se eliminan las malezas más grandes, aunque se debe tener cuidado de no maltratar el cultivo. Esta labor se realiza después del macollamiento (45-60 días después de la siembra), una vez que las plantas se encuentran bien ancladas al suelo. Por otro lado, en control químico se aplica un herbicida específico para controlar malezas de hoja ancha. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha empleado metsulfurón-metil obteniendo buenos resultados al ser aplicado al inicio del macollamiento, 30 a 40 días después de la siembra (Falconi et al., 2010).

### **2.6.8. Cosecha**

Se la realiza al momento que planta haya alcanzado su madurez completa, la forma más utilizada en la sierra ecuatoriana es manualmente con la utilización de una hoz, para cortar las espigas y formar gavillas, estas son agrupadas para formar parvas, para luego proceder a la trilla. Tener muy en cuenta las épocas secas para realizar esta labor, para que el grano no absorba humedad y pueda mantenerse en buenas condiciones cuando sea almacenado (Caluguillin, 2023).

### **2.6.9. Almacenamiento**

La conservación adecuada de las semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un aspecto crucial en la gestión postcosecha, que requiere atención especial para garantizar su viabilidad y calidad. Para el almacenamiento efectivo de la semilla, es esencial mantenerla en un ambiente que cumpla con ciertos criterios específicos. Primero, el lugar de almacenamiento debe ser completamente seco y estar exento de roedores, para prevenir la pérdida de semillas y evitar la contaminación o daño físico (Castañeda et al., 2009). Además, una buena ventilación en el área de almacenamiento es indispensable. Esta condición ayuda a mantener un equilibrio ambiental adecuado, evitando la acumulación de humedad que podría favorecer el crecimiento de hongos y otros patógenos, así como la germinación prematura de las semillas. En términos de condiciones óptimas de almacenamiento, las semillas de cebada deben tener un contenido de humedad menor al 13%. Un contenido de humedad más elevado podría incrementar el riesgo de deterioro biológico y químico. Por otro lado, la temperatura del ambiente de almacenamiento debe mantenerse entre 18 °C y 38 °C. Dentro de este rango, la temperatura ideal es de

aproximadamente 18 °C. Esta temperatura más baja ayuda a reducir la actividad metabólica de las semillas y a minimizar el riesgo de daños causados por insectos y enfermedades (Orcellet et al., 2015).

## **2.7. Plagas y enfermedades**

Las plagas que con mayor frecuencia atacan al cultivo de cebada son las siguientes: gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith), saltarin (*Elasmopalpus lignosellus* Zeller), también se encuentra en la lista gusanos minadores y varios tipos de artrópodos (Chicaiza, 2014).

El rendimiento de grano de cebada a nivel mundial se ve disminuido por factores abióticos y bióticos. Entre los factores bióticos destacan la incidencia de enfermedades como las royas causadas por hongos del género *Puccinia* (roya de la hoja, roya amarilla y la roya del tallo), estas son las enfermedades de cebada de gran importancia a nivel mundial. La roya amarilla (RA) causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, es una enfermedad de gran importancia en regiones productoras de cebada en el mundo y una de las más destructivas en Europa y América (Rodríguez et al., 2021).

Las enfermedades de la cebada son de origen fúngico. Las variedades de granos que se destinan a la industria cervecera son muy sensibles a sus efectos. Entre las principales patologías podemos resaltar:

- Oídio (*Erysiphe graminis*, *Blumeria graminis*)
- Rincosporiosis (*Rhynchosporium secalis*)
- Helminthosporiosis (*Helminthosporium sativum*, *Helminthosporium teres*)

Entre las enfermedades ya mencionadas resaltan la helminthosporiosis rayada y la reticular, causadas por *Helminthosporium sativum* y *Helminthosporium teres* respectivamente. En los dos casos se transmite por medio de la semilla, pero en el segundo también se transmite por los rastrojos y restos de la cosecha (Gilchrist et al., 2005).

## **2.8. Variedad y líneas en estudio**

ABI Voyager, es una variedad que tiene origen en Canadá, con la reciente introducción a México, la cual cuenta con dos hileras en la espiga y es de gran calidad maltera, tiene características favorables para la industria cervecera, su ciclo productivo es más largo que las variedades de 6 hileras, el cual también es afectado por la aplicación de fungicidas, que retrasan la senescencia en las hoja y es un poco más corto cuando no se aplica estos,

en cuanto a la altura, sobrepasan a las variedades de 6 hileras, aunque si es susceptible a la roya amarilla (RA) (Rodríguez et al., 2021).

Variedades de cebada generadas por el INIAP se han desarrollado utilizando métodos convencionales de mejoramiento genético. El uso de herramientas de investigación participativa ha permitido la generación de variedades mejoradas, facilitando la adopción de estas. La introducción de germoplasma es una técnica bastante utilizada en zonas donde la cebada no es endémica, la cual consiste en introducir material genético foráneo, permitiendo el flujo de nuevo germoplasma, aumentando la variabilidad y la introducción de nuevos genes a la región, por lo general se utiliza para mejorar caracteres de altura de planta, resistencia, calidad y producción. Anualmente, se evalúan más de 1000 introducciones, con el fin de seleccionar germoplasma con características deseables y que se adapten a nuestras condiciones (Ponce et al., 2021).

## **2.9. Marco legal**

La Constitución de la República del Ecuador, promulgada en 2008, establece marcos legales y principios fundamentales que reflejan el compromiso del Estado con la soberanía alimentaria, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en la producción. En su artículo 281, dentro del capítulo 3, se enfatiza que la soberanía alimentaria es un objetivo estratégico y una obligación estatal. Este mandato busca garantizar que individuos, comunidades, pueblos y nacionalidades logren la autosuficiencia de alimentos de manera sostenida, enfocándose en productos que sean saludables y culturalmente adecuados (Asamblea Nacional, 2008).

Además, el artículo 13 de la Constitución reconoce y establece el derecho de las personas y colectividades al acceso seguro y continuo a alimentos que sean sanos, suficientes y nutritivos. Este artículo subraya la importancia de la producción local de alimentos y la necesidad de que estos sean acordes con las diversas identidades y tradiciones culturales de las poblaciones ecuatorianas. Por otro lado, el artículo 320 articula que cualquier forma de producción en el país debe adherirse a principios y normas que incluyan calidad, sostenibilidad, productividad sistémica, valoración del trabajo humano, así como eficiencia económica y social. Este enfoque integral resalta la importancia de una producción responsable y sostenible, que no solo atienda las necesidades actuales, sino que también preserve los recursos y el bienestar de las generaciones futuras. Estos artículos de la Constitución ecuatoriana reflejan un enfoque holístico y progresista hacia la seguridad alimentaria y la producción agrícola, poniendo un énfasis especial en la

sostenibilidad, la cultura, y el bienestar social y económico. Este marco legal es fundamental para orientar las políticas y prácticas agrícolas del país, asegurando que se alineen con los principios de sostenibilidad y seguridad alimentaria, y que contribuyan al desarrollo socioeconómico y a la preservación de la diversidad cultural y ambiental de Ecuador (Asamblea Nacional, 2008).

Finalmente, las Autoridades Agrarias Nacionales y la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENECYT, 2020) ofrecen apoyo con recursos para el desarrollo de proyectos que fomenten la evaluación de recursos fitogenéticos y semillas. Esta investigación se posiciona, así como un elemento clave en el impulso del desarrollo agroindustrial y la economía circular, contribuyendo al fortalecimiento de la matriz productiva a nivel local y nacional.

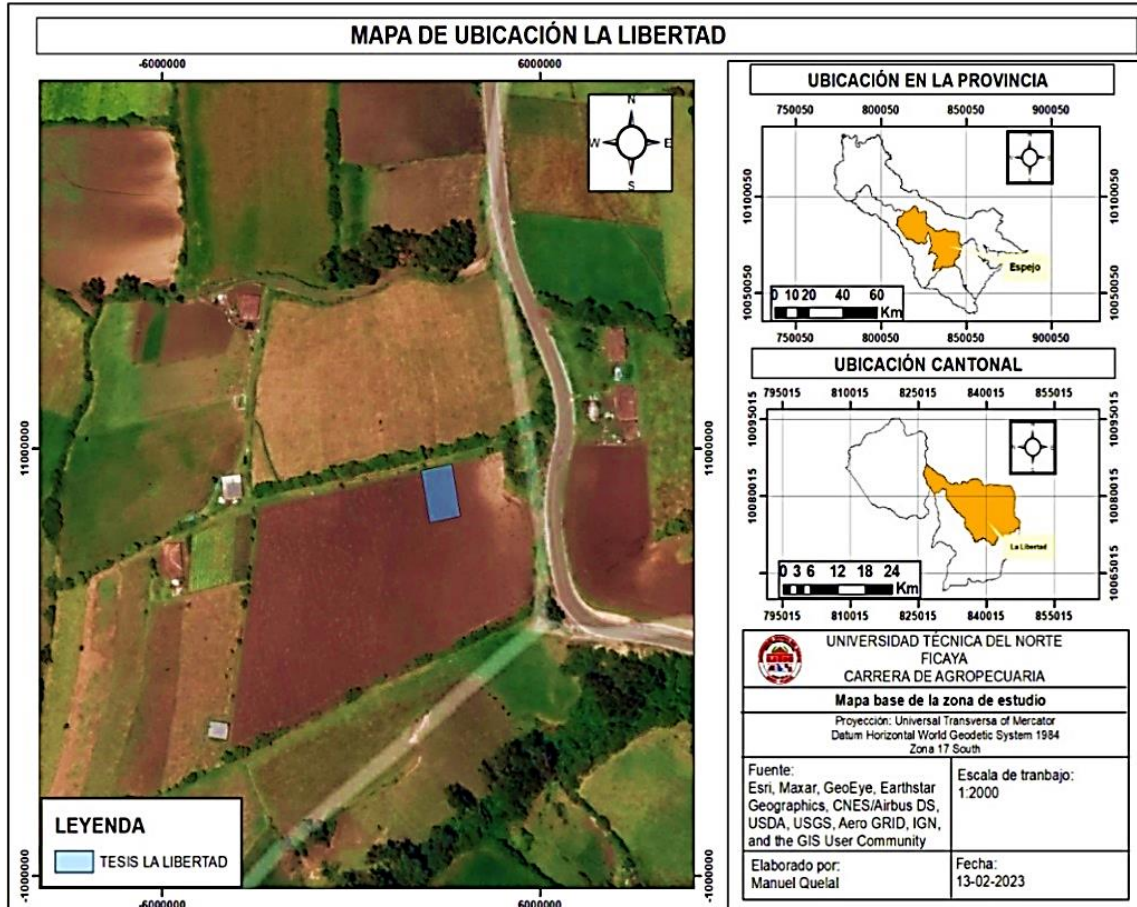
# CAPÍTULO III

## MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Caracterización del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Barrio Santa Teresita, ubicado dentro de la parroquia La Libertad, perteneciente al cantón Espejo, en la provincia del Carchi (Figura 1). Esta área fue seleccionada por sus características distintivas, que la hacían particularmente representativa para los objetivos de la investigación. La parroquia La Libertad se encuentra en la región andina de Ecuador, caracterizada por su diversidad climática y topográfica, elementos cruciales que influyen los patrones de uso del suelo y las prácticas agrícolas locales. El cantón Espejo, conocido por su actividad agrícola significativa, proporcionó un contexto adecuado para el estudio de las dinámicas agrícolas y su impacto en la comunidad local. La elección de esta localidad permitió obtener datos y perspectivas detalladas, enriqueciendo la comprensión de las prácticas agrícolas en la región, con especial atención en el cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare* L.).

**Figura 1**  
*Ubicación geográfica de la zona de estudio*



### 3.2. Características de la parroquia La Libertad

De acuerdo con datos proporcionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural (2024), la parroquia de La Libertad se sitúa a una altitud que varía entre 3080 y 2980 metros sobre el nivel del mar. Esta área experimenta un régimen de precipitaciones anuales que fluctúan entre 750 y 1250 milímetros, observándose un patrón descendente desde el sur hacia el norte de la parroquia, siendo el centro de la misma la zona más húmeda. Respecto a la temperatura, la parroquia La Libertad registra variaciones térmicas significativas en función de la altitud.

En las zonas de relieve más elevado, la temperatura media se sitúa en torno a los 4 grados centígrados, mientras que, en las áreas de menor altitud, las temperaturas pueden alcanzar los 10 grados centígrados. Estas condiciones climáticas son indicativas de un clima andino, caracterizado por temperaturas frescas y una variabilidad climática marcada por la altitud. En términos de ubicación geográfica, las coordenadas de la parroquia se extienden desde los 77° 52 39" hasta 78° 04 13" de longitud Oeste y desde 00° 38 10" hasta 00° 45 46 de latitud Norte. Estos parámetros geográficos delimitan un área con características topográficas y climáticas particulares, adecuadas para ciertos tipos de cultivos y prácticas agrícolas.

En cuanto a la composición del suelo, en la parroquia La Libertad predominan los suelos francos y arenosos. Esta clase de suelo, por su textura y capacidad de drenaje, es favorable para diversas actividades agrícolas, incluyendo el cultivo de especies como la cebada, que requieren condiciones específicas de suelo para un desarrollo óptimo. La comprensión de estas características edafológicas es esencial para la planificación agrícola y la gestión sostenible de los recursos naturales en la región.

### 3.3. Materiales, equipos, insumo y herramientas

La Tabla 3 detalla los materiales, equipos, insumos y herramientas empleados en la realización de la investigación.

**Tabla 3**

*Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizadas en la investigación*

| <b>Materiales</b> | <b>Equipos</b>     | <b>Insumos</b>                 | <b>Herramientas</b> |
|-------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| Estacas           | Computadora        | Variedad de cebada ABI Voyager | Azadón              |
| Cinta métrica     | Calculadora        | Tres líneas de cebada maltera  | Pala                |
| Piola             | Cámara fotográfica | Fertilizantes                  | Rastrillo           |
| Letreros          | Celular            | Herbicida                      | Tractor             |
| Fundas            |                    | Fungicida                      | Trilladora          |
| Registros         |                    |                                |                     |

### 3.4. Métodos

El enfoque metodológico de este estudio se basó en el programa de siembra por contrato de la Cervecería Nacional, conforme a su protocolo de 2023. Dicho protocolo proporciona instrucciones detalladas y estructuradas para la plantación, cuidado y recolección de la cebada, mejorando los procedimientos agrícolas para cumplir con los criterios de calidad demandados por el sector cervecero.

### 3.5. Factores en estudio

Los factores en estudio en esta investigación fueron las variedades ABI Voyager y tres nuevas líneas de cebada maltera, como también la dosis de fertilización química, las cuales fueron proporcionadas por parte de Cervecería Nacional.

#### 3.5.1. Factor A: Variedad y líneas de cebada maltera

- **Variedad:** ABI Voyager
- **Línea 1:** (21K16-0671)
- **Línea 2:** (21K16-0710)
- **Línea 3:** (21K16-0812)

#### 3.5.2. Factor B: Esquemas de fertilización

- **Testigo absoluto:** Sin aplicación de fertilizantes
- **Esquema 1:** 15 kg/ha (N); 40 kg/ha (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 30 kg/ha (K<sub>2</sub>O).
- **Esquema 2:** 30 kg/ha (N); 40 kg/ha (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 30 kg/ha (K<sub>2</sub>O); 2.20 kg/ha (CaO); 6.70 kg/ha (MgO); 2.85 kg/ha (S); 0.08 g/ha (Zn); 0.11 g/ha (B).
- **Esquema 3:** 60 kg/ha (N); 40 kg/ha (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 30 kg/ha (K<sub>2</sub>O); 3.85 kg/ha (CaO); 7.63 kg/ha (MgO); 8.73 kg/ha (S); 0.08 g/ha (Zn); 0.11 g/ha (B).
- **Esquema 4:** 90 kg/ha (N); 40 kg/ha (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 30 kg/ha (K<sub>2</sub>O); 19.25 kg/ha (CaO); 18.13 kg/ha (MgO); 8.73 kg/ha (S); 0.08 g/ha (Zn); 0.11 g/ha (B).

A continuación, se detallan los tratamientos utilizados en la presente investigación (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Tratamientos aplicados en la presente investigación*

| Tratamiento | Línea       | Esquema de fertilización |
|-------------|-------------|--------------------------|
| T1          | ABI Voyager | T                        |
| T2          | ABI Voyager | 1                        |
| T3          | ABI Voyager | 2                        |
| T4          | ABI Voyager | 3                        |
| T5          | ABI Voyager | 4                        |
| T6          | 21K16-0671  | T                        |
| T7          | 21K16-0671  | 1                        |
| T8          | 21K16-0671  | 2                        |
| T9          | 21K16-0671  | 3                        |

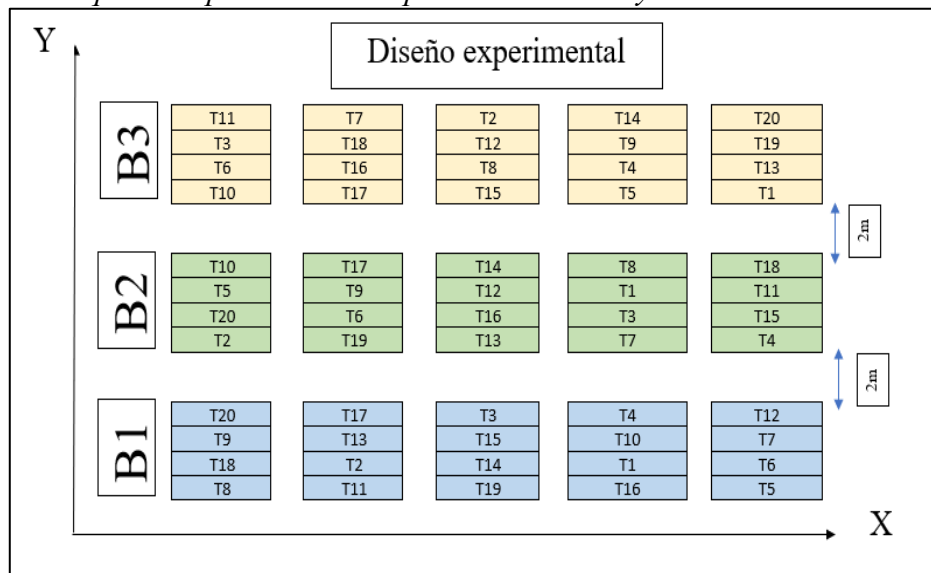
|     |            |   |
|-----|------------|---|
| T10 | 21K16-0671 | 4 |
| T11 | 21K16-0710 | T |
| T12 | 21K16-0710 | 1 |
| T13 | 21K16-0710 | 2 |
| T14 | 21K16-0710 | 3 |
| T15 | 21K16-0710 | 4 |
| T16 | 21K16-0812 | T |
| T17 | 21K16-0812 | 1 |
| T18 | 21K16-0812 | 2 |
| T19 | 21K16-0812 | 3 |
| T20 | 21K16-0812 | 4 |

### 3.6. Diseño experimental

Se implementó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres bloques La distancia entre bloques fue de 2m; en cada bloque se ubicaron 20 parcelas de 4 m<sup>2</sup> mientras que la distancia entre cada parcela fue de 1m. (Figura 2).

**Figura 2**

*Diseño en bloques completos al azar aplicado en el ensayo*



#### 3.6.1. Características del experimento

El presente ensayo presenta un diseño en bloques completos al azar, presentando 3 Bloques, mismos que incluyen la interacción entre los 5 esquemas de fertilización y los 4 materiales genéticos estudiados. El total de las unidades experimentales fue de 60, presentando un área total del ensayo de 1056 m<sup>2</sup>.

#### 3.6.2. Características de la unidad experimental

Las características de la unidad experimental que se encuentran establecidas para la evaluación de la variedad ABI Voyager y las líneas mejoradas de cebada maltera se presentan en la Tabla 5.



**Tabla 5**  
*Características de las unidades experimentales*

| <b>Detalle</b>   | <b>Descripción</b>  |
|--|---------------------|
| Área total de la parcela:                                      | 4 m <sup>2</sup>    |
| Largo de la parcela:   | 4 m                 |
| Ancho de la parcela:   | 1 m                 |
| Área total de la parcela neta                                  | 1.40 m <sup>2</sup> |
| Área total de cada cuadrante ubicado dentro de la parcela neta | 0.25 m <sup>2</sup> |
| Área de cada bloque:   | 234 m <sup>2</sup>  |
| Distancia entre unidad experimental:                           | 1 m                 |
| Número de cuadrantes   | 2                   |
| Distancia entre unidad experimental:                           | 1 m                 |

### **3.7. Análisis estadístico**

Se realizaron análisis estadísticos mediante análisis de varianza, utilizando modelos lineales generales y mixtos. Cuando se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se aplicaron pruebas de medias LSD de Fisher ( $\alpha = 0.05$ ).

### **3.8. Variables evaluadas**

En el estudio realizado, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de diversas variables agronómicas y de calidad industrial en el cultivo de cebada. Dentro de las variables agronómicas analizadas se incluyeron: el número de días transcurridos hasta la germinación, la duración hasta el espigamiento, el período hasta alcanzar la madurez fisiológica, la altura promedio de las plantas, el número de plantas efectivamente establecidas, la cantidad de macollos por planta, el patrón de crecimiento de las plantas, la longitud promedio de las espigas, la cantidad de granos por espiga, el porcentaje de volcamiento del cultivo, el número de espigas efectivas, el peso de mil granos, el rendimiento total, el calibre del grano, y el peso hectolítrico. Estos parámetros fueron medidos y registrados, proporcionando una visión integral del comportamiento y las características del cultivo, bajo las condiciones experimentales establecidas.

#### **3.8.1. Días a la emergencia**

El registro de la variable se efectuó contabilizando los días transcurridos desde el momento de la siembra hasta que se observó que más del 70% de las plántulas habían emergido en toda la parcela (Figura 3).

**Figura 3**  
*Plantas en fase de emergencia*



### **3.8.2. Días al macollamiento**

Se procedió a medir el lapso de tiempo transcurrido desde la siembra hasta el momento en el que se observó un aproximado de 80% de las plantas en cada unidad experimental con macollamiento, caracterizado por el desarrollo de nuevos tallos. La decisión de establecer el umbral en el 80% se realizó con el objetivo de capturar de manera efectiva el comportamiento promedio de la población de cebada, minimizando así el impacto de variabilidades individuales que pudieran comprometer la generalización de los resultados (Figura 4).

**Figura 4**  
*Cultivo de cebada en etapa de macollamiento*



### 3.8.3. *Días al encañado*

La variable denominada "días hasta el encañado" se registró como el periodo transcurrido hasta que el 50% de las plantas en cada unidad experimental alcanzaron la fase en la cual presentaban uno o dos nudos visibles. Fue durante este específico estadio de desarrollo que se hizo evidente la aparición de la hoja bandera, un indicador crítico de progresión en el ciclo de crecimiento vegetal (Figura 5).

#### **Figura 5**

*Cultivo en fase de encañado*



### 3.8.4. *Días al embuchamiento*

La variable se registró en los días posteriores a la emergencia de las plantas, marcando el punto en que el 50% de las parcelas experimentales mostraron un engrosamiento notable en el tallo principal. Este cambio morfológico señaló la fase de formación y desarrollo interno de la espiga, un indicador clave del avance en el ciclo de crecimiento vegetativo. Este método de observación permitió identificar de manera precisa el inicio de un proceso crítico dentro del desarrollo fenológico de las plantas (Figura 6).

## **Figura 6**

*Cultivo de cebada en fase de embuchamiento*



### **3.8.5. Días al espigado**

La variable se determinó inmediatamente después de la aparición de las aristas, momento en el cual se observó que el 50% de las plantas en cada unidad experimental presentaba espigas visibles. Se contabilizó el número específico de días que habían transcurrido desde la emergencia hasta este punto, para cada unidad experimental de manera individual (Figura 7).

## **Figura 7**

*Cultivo de cebada en época de espigado*



### ***3.8.6. Días a la madurez fisiológica***

Se llevó a cabo un monitoreo continuo de los surcos centrales en cada unidad experimental, aplicándose de manera rigurosa a todas las repeticiones. El registro de datos se efectuó precisamente cuando se observó que el endospermo de al menos el 80% de los granos presentes en las espigas había perdido completamente su coloración verdosa (Figura 8).

### **Figura 8**

*Cultivo de cebada en etapa de madurez fisiológica*



### ***3.8.7. Altura de planta***

La variable se enfocó en calcular la altura desde el suelo hasta el extremo superior de la espiga con ayuda de un flexómetro, omitiendo deliberadamente las aristas o barbas para evitar variaciones en la medición. A los 149 días posteriores a la siembra, se escogieron aleatoriamente diez plantas de cada unidad experimental para realizar un muestreo representativo. Las alturas obtenidas se anotaron en centímetros (cm), asegurando una uniformidad en el registro de datos (Figura 9)

## **Figura 9**

*Evaluación de la variable altura de planta*



### **3.8.8. Número de plantas establecidas por m<sup>2</sup>**

Para cuantificar el número de plantas que lograron establecerse exitosamente, se inició marcando claramente las unidades experimentales. Posteriormente, al cabo de 12 días desde la siembra, se procedió a contar manualmente las plántulas que evidenciaban un enraizamiento adecuado y signos de desarrollo temprano, lo cual indicaba un establecimiento exitoso en el medio. Este conteo manual permitió una evaluación precisa de la proporción de plántulas que superaron con éxito la fase crítica de germinación y enraizamiento (Figura 10).

## **Figura 10**

*Conteo de plantas establecidas en los cuadrantes señalizados*



### **3.8.9. Longitud de la espiga**

Este método se centró en la evaluación de la altura de las espigas, consistiendo en medir la longitud desde la base hasta el punto más alto de la espiga. Para ello, se seleccionaron aleatoriamente 10 espigas en cada unidad experimental, una vez transcurridos 149 días

desde la siembra. Las dimensiones de cada espiga fueron cuidadosamente registradas en centímetros (cm), proporcionando datos precisos para el análisis del crecimiento vegetativo (Figura 11).

**Figura 11**

*Evaluación del tamaño de la espiga*



**3.8.10. Número de granos por espiga**

Esta metodología se registró a los 149 días posteriores a la siembra, momento en que el grano había alcanzado su completo desarrollo, se procedió a la selección aleatoria de 10 espigas por unidad experimental para realizar el conteo de granos en cada una. Esta acción permitió obtener un registro detallado de la producción de granos por espiga, proporcionando un indicador clave de la fecundidad y el potencial productivo de las plantas bajo las condiciones experimentales establecidas (Figura 12).

**Figura 12**

*Conteo del número de granos por espiga de las UE*

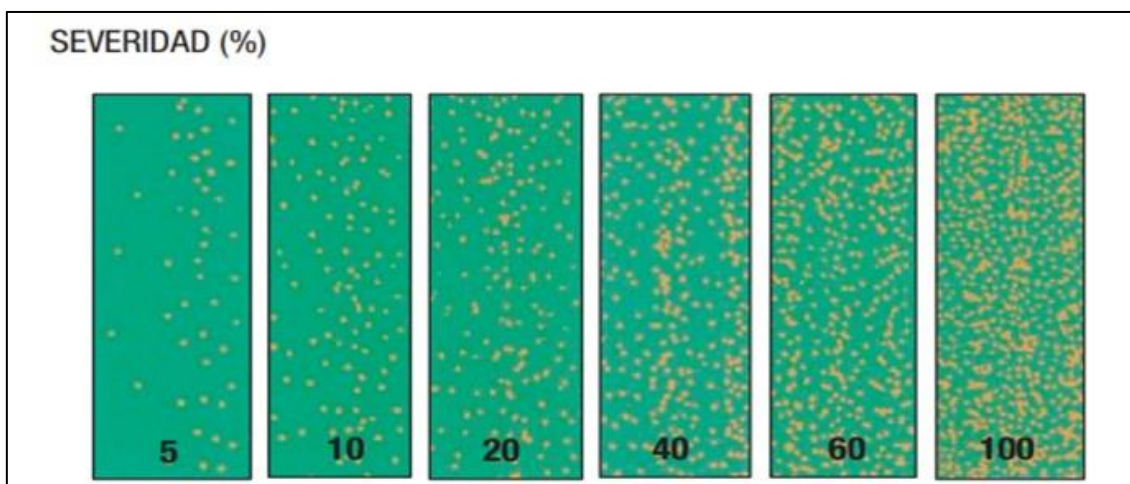


### 3.8.11. Severidad de enfermedades

En el estudio realizado, se llevó a cabo un registro sistemático de la severidad de la roya en las plantas. Esta evaluación se realizó en cinco puntos distintos de cada unidad experimental, tanto en la etapa inicial del embuchamiento como en la del espigamiento. Para la cuantificación de la severidad de la roya, se empleó la escala modificada de COBB, una herramienta estándar en la fitopatología para la evaluación visual de enfermedades en plantas.

Conforme a esta metodología, la severidad de la infección por roya se registró en términos de porcentajes de infección en la planta. Se estableció un sistema de categorización claro para facilitar la uniformidad en la evaluación. Así, una severidad menor al 5% se consideró como trazas de severidad, registrándose con la notación “t”. Los intervalos utilizados para registrar la severidad siguieron una escala progresiva, abarcando 5%, 10%, 20%, 40%, 60% y hasta el 100% de infección, tal como se especifica en la escala de calificación de severidad de royas (Figura 13). Esta escala proporcionó una guía clara para la evaluación y el registro de la severidad de la enfermedad, permitiendo una comparación estandarizada entre las distintas unidades experimentales y a lo largo del tiempo.

**Figura 13**  
*Severidad de Roya para evaluación en cebada*



Fuente: Wonneberger (2020)

### 3.8.12. Peso de mil granos

Durante la fase de cosecha en el estudio realizado, se implementó una metodología específica para determinar el peso de las semillas. Consistió en seleccionar al azar tres muestras de 1000 semillas de cada unidad experimental, cuyo peso se registró y expresó



en gramos (g). Esta técnica, conocida como el peso de mil granos (PMG), es un parámetro agronómico estándar utilizado para evaluar la calidad y el tamaño de las semillas en los cultivos.

El PMG es un indicador importante en la evaluación de la calidad del grano, ya que está directamente relacionado con el potencial de rendimiento y la calidad de la semilla. Un PMG más alto generalmente indica semillas más grandes y posiblemente más saludables, lo que puede traducirse en un mayor potencial de germinación y establecimiento de plántulas (Figura 14).

**Figura 14**

*Evaluación del peso de mil granos*

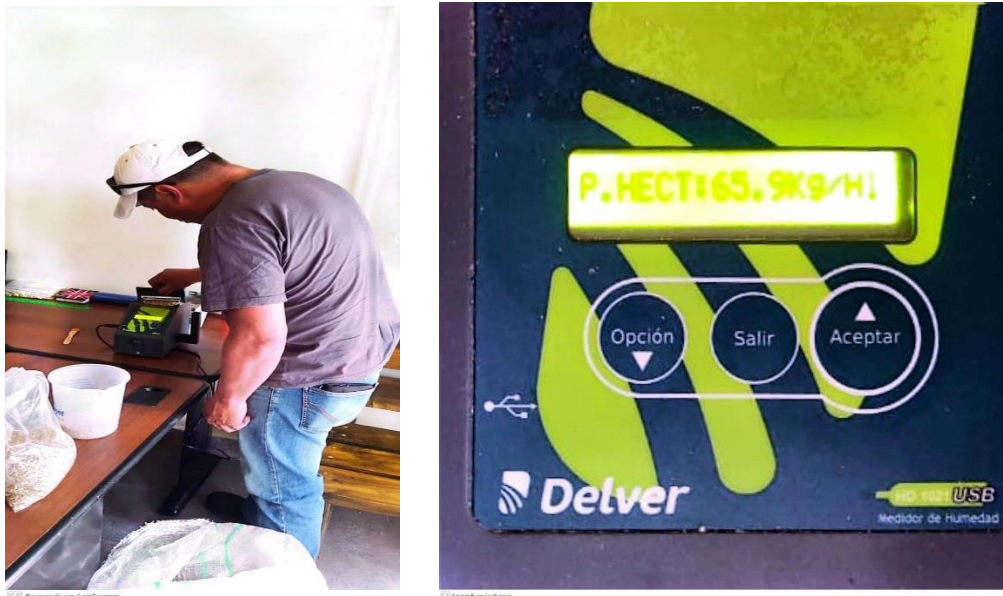


**3.8.13. Peso hectolítrico**

Utilizando una balanza de peso hectolítrico, se introdujo una muestra de grano de cebada en el recipiente hasta llenarlo completamente, después, se registró el peso de la muestra correspondiente (Figura 15). Este procedimiento se llevó a cabo repetidamente para cada una de las unidades experimentales, garantizando así la precisión y reproducibilidad de los datos. Además, se verificó que todas las muestras fueran representativas y homogéneas para asegurar la validez de los resultados. Los datos obtenidos se anotaron en kilogramos por hectolitro (kg/hl), proporcionando una medida precisa de la densidad del grano de cebada en cada unidad experimental.

### Figura 15

*Evaluación de peso hectolítrico de las muestras*



#### 3.8.14. Porcentaje de calibre óptimo

Para cada unidad experimental, se seleccionó una muestra de 100 g de grano, la cual se colocó sobre una zaranda con un calibre de 2.5 mm para eliminar impurezas y granos no deseables. Una vez completado el proceso de tamizado, se pesaron los granos restantes. Finalmente, se calculó la proporción en porcentaje de los granos limpios respecto al peso inicial de la muestra (Figura 16).

### Figura 16

*Evaluación de calibre de grano sobre zaranda*



#### 3.8.15. Rendimiento

La medición del rendimiento del cultivo en cada unidad experimental consistió en medir el peso del grano, expresado en gramos por metro cuadrado ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), y registrar

simultáneamente el contenido de humedad de las muestras. Posteriormente, se procedió a calcular el rendimiento en toneladas por hectárea (t/ha), ajustando el contenido de humedad al 12%. Este ajuste se realizó con el objetivo de estandarizar los datos finales y permitir una comparación válida y homogénea entre las diferentes unidades experimentales.

La medición del peso en g/m<sup>2</sup> fue un paso crítico para obtener una estimación precisa del rendimiento del cultivo. Este enfoque proporcionó una medida directa y relevante de la cantidad de grano producido por unidad de área, un indicador clave del éxito y la eficiencia del cultivo. El registro del contenido de humedad en el momento de la cosecha fue igualmente importante, ya que el peso del grano puede variar significativamente en función de su contenido de humedad. Por lo tanto, el ajuste del rendimiento al contenido estándar de humedad del 12% fue esencial para garantizar que las variaciones en el peso del grano debido a la humedad no afectaran la precisión de la comparación del rendimiento entre las unidades.

#### ***3.8.16. Costo de producción***

Se elaboró una hoja de cálculo en Microsoft Excel para registrar exhaustivamente todos los costos involucrados en la producción. En esta matriz, se detallaron minuciosamente tanto los costos directos, como la mano de obra y los insumos, como los costos indirectos, tales como el alquiler de maquinaria y los gastos administrativos.

Este análisis permitió determinar el costo real de producción para cada uno de los tratamientos experimentales. Posteriormente, los resultados fueron extrapolados a una hectárea, lo que permitió obtener una perspectiva más amplia y detallada de los costos de producción a escala.

#### ***3.8.17. Relación Beneficio/Costo***

Se realizó una comparación entre los costos de producción de cada tratamiento y las ganancias potenciales al final del estudio, basándose en los rendimientos obtenidos. Para esta evaluación, se tomaron en cuenta los ingresos proyectados según el rendimiento de cada tratamiento, permitiendo un análisis detallado de la rentabilidad de cada uno. Este enfoque facilitó la identificación de los tratamientos más eficientes y económicamente viables, proporcionando una base sólida para futuras decisiones en la producción.

### **3.9. Manejo específico del experimento**

#### **3.9.1. Selección del predio**

En la fase preparatoria del estudio, se llevó a cabo un proceso meticuloso para la selección del terreno donde se establecería el ensayo. Este procedimiento involucró consideraciones críticas respecto a las características físicas y ambientales del predio, asegurando su idoneidad para el desarrollo óptimo del cultivo. Un criterio fundamental en esta selección fue la pendiente del terreno, la cual se estipuló que no debía exceder el 5%.

Además, se tuvo en cuenta la disponibilidad de espacio suficiente para la implementación del ensayo. De esta manera la amplitud del espacio no solo facilitaba el manejo del cultivo y las mediciones necesarias, sino que también aseguraba la separación adecuada entre las unidades experimentales para minimizar la interferencia y la variabilidad.

Otro factor decisivo en la selección del predio fue la ausencia de especies arbóreas en sus alrededores. La razón de esta preferencia residía en la necesidad de asegurar el libre acceso de la luz solar al cultivo. La presencia de árboles o grandes arbustos podría haber generado sombra sobre el cultivo, afectando negativamente la fotosíntesis, el crecimiento y, en última instancia, el rendimiento del cultivo. La exposición adecuada a la luz solar era, por lo tanto, un componente esencial para garantizar el desarrollo óptimo de las plantas y la validez de los resultados experimentales (Figura 17).

#### **Figura 17**

*Predio seleccionado para establecimiento del experimento*



#### **3.9.2. Análisis de suelo**

Tras la selección del predio para el ensayo, se procedió a la recolección de muestras de suelo con el fin de realizar un análisis del mismo. Se recolectaron cinco muestras de suelo

de distintas ubicaciones dentro del predio, asegurando así una representación amplia y fiable de las condiciones del suelo en toda el área del ensayo. La profundidad de muestreo se estableció en no más de 30 cm, lo que corresponde a la zona de mayor actividad radicular de la mayoría de los cultivos y donde se concentran los nutrientes esenciales.

Una vez recolectadas, las muestras de suelo se mezclaron en un recipiente para homogeneizar el material, creando una muestra compuesta que representaba fielmente el suelo del predio en su conjunto. Posteriormente, se empaquetó aproximadamente 1 kg de esta mezcla compuesta para su envío a un laboratorio especializado. El envío de la muestra al laboratorio estuvo acompañado de un registro detallado de los datos asociados a cada muestra, incluyendo la ubicación de recolección, la profundidad y las condiciones específicas del sitio de muestreo (Figura 18; Anexo 20)

### **Figura 18**

*Toma de la muestra de suelo para posterior envío*



#### **3.9.3. Preparación del suelo**

Previo a la preparación del suelo para el ensayo, se seleccionó el herbicida glifosato para su aplicación en el área de estudio. Este herbicida, reconocido por su eficacia en el control de una amplia gama de especies de malezas, se aplicó utilizando una bomba de mochila, lo que permitió una distribución uniforme y controlada del químico sobre el terreno.

Transcurridos siete días desde la aplicación del herbicida, se procedió a la labranza del suelo con la asistencia de un tractor. Esta práctica agrícola tuvo como objetivo primordial mejorar la estructura del suelo, buscando alcanzar una consistencia suelta y manejable,

ideal para la siembra y el desarrollo de las plantas. En este proceso, se realizaron tres pasadas con rastra, una herramienta agrícola diseñada para refinar la labranza del suelo, rompiendo los terrones y nivelando la superficie. La incorporación de la rastra de tiro se realizó en tres repeticiones y fue una decisión estratégica para asegurar que el suelo estuviera libre de malezas y arvenses, lo cual es crucial para evitar competencia por recursos como nutrientes, agua y luz, una vez establecido el ensayo (Figura 19).

**Figura 19**

*Preparación del área del ensayo*



**3.9.4. Delimitación del área experimental**

En el proceso de establecimiento del área experimental para el estudio, se empleó una metodología precisa y sistemática para la delimitación de las unidades experimentales. Con el uso de herramientas como cinta métrica, estacas y piolas, se procedió a demarcar claramente cada unidad experimental, asegurando una definición exacta y uniforme de los espacios de trabajo. La utilización de la cinta métrica permitió medir con exactitud las dimensiones requeridas para cada unidad experimental, garantizando que todas las unidades tuvieran el mismo tamaño y forma.

Las estacas se utilizaron como puntos de referencia y para marcar las esquinas de cada unidad experimental. Esto proporcionó una guía visual clara para la distribución del

espacio y ayudó a mantener la integridad de la disposición del ensayo a lo largo de todo el período de estudio. Las piolas, por su parte, se emplearon para conectar las estacas, delineando los límites de cada unidad experimental (Figura 20).

### **Figura 20**

*Delimitación del área experimental y parcelas*



#### **3.9.5. Fertilización del suelo**

Basándose en los hallazgos de un análisis de suelo previo, se elaboró un esquema de fertilización personalizado, atendiendo a las demandas específicas del cultivo y la condición nutricional del suelo. Esta táctica de fertilización se orientó hacia la incorporación de nutrientes en momentos clave del ciclo de crecimiento del cultivo. La administración inicial de fertilizante coincidió con el momento de la siembra. Esta intervención, conocida como fertilización de inicio.

Las cantidades de fertilizante administradas variaron según el tratamiento, aplicándose dosis de 85 kg/ha en los casos de 10 kg/ha de urea, lo que se tradujo en 34g de fertilizante por cada unidad experimental (UE). En los tratamientos con 30 kg/ha de urea, se aplicaron 64g/UE, equivalente a 160 kg/ha de fertilizante. Para los tratamientos con 60 y 90 kg/ha de urea, se proporcionó 60g/UE, correspondientes a una dosis de fertilización de 150 kg/ha al momento de la siembra. Este plan aseguró que las plantas tuvieran acceso a

nutrientes esenciales desde el comienzo de su desarrollo. Posteriormente, se realizó una segunda aplicación de fertilizante al finalizar la etapa de macollamiento. Esta etapa es crítica en el desarrollo de las plantas, ya que marca el inicio de un período de crecimiento acelerado y una mayor demanda de nutrientes.

La fertilización se realizó con una mezcla de diferentes abonos como: Sulphomag, YaraBela Nitromag, YaraMila Abotek y Nitrox. Se estableciendo de esta forma 5 mezclas de abono en proporciones para cada tratamiento.

- Esquema Testigo no se utilizó ningún tipo de fertilizante.
- Mientras que para el Esquema 1 se utilizó 648g de Sulphomag que se distribuyeron en 54g/UE.
- Para el Esquema 2 se mezclaron dos abonos YaraBela Nitromag (96g) y YaraMila Abotek (240g) y se utilizó 28g/UE.
- Por otra parte, al Esquema 3 se le aplicó una dosis de 74g/UE de la mezcla de tres abonos en donde se utilizó YaraBela Nitromag (168g), YaraMila Abotek (240g) y Nitrox (480g).
- Por último, Esquema 4 se utilizaron tres abonos YaraBela Nitromag (840g), YaraMila Abotek (240g) y Nitrox (480g) y se distribuyó 130g/UE.

### ***3.9.6. Desinfección de semilla***

En la fase preparatoria del estudio, se realizó un proceso de desinfección de la semilla empleando, administrado en una dosis cuidadosamente calibrada. El objetivo principal de este tratamiento era asegurar la calidad de la semilla mediante la eliminación o reducción significativa de patógenos potenciales, incluyendo hongos como *Septoria* y *Fusarium* sp., así como otros microorganismos que pudieran comprometer el desarrollo saludable del cultivo. La elección de Carboxin + Captan. como agente desinfectante se basó en su eficacia reconocida para proteger las semillas contra un amplio espectro de enfermedades fúngicas.

La dosificación adecuada fue determinada en función de las recomendaciones del fabricante y las mejores prácticas agrícolas, buscando maximizar la efectividad del tratamiento mientras se minimizaban los riesgos de toxicidad y resistencia. La desinfección de las semillas es un paso crucial en la preparación para la siembra, ya que las enfermedades transmitidas por las semillas pueden tener un impacto devastador en el establecimiento y el crecimiento de las plantas jóvenes.

Al tratar las semillas con Carboxin + Captan, se buscó proporcionar un ambiente de germinación más seguro y controlado, aumentando así la probabilidad de una emergencia



exitosa y uniforme de las plántulas y, en última instancia, contribuyendo a un desarrollo óptimo del cultivo.

### **3.9.7. Siembra**

En el proceso de siembra del estudio, se empleó la técnica de siembra al boleó, una metodología tradicional y efectiva, para la distribución de las semillas en el campo. La densidad de siembra aplicada para el experimento fue de 100 kg/ha, correspondiendo así una densidad de siembra de 40 g/UE, tanto para la variedad ABI Voyager como para las tres líneas mejoradas de cebada maltera. La siembra al boleó implica la dispersión manual de las semillas sobre la superficie del suelo, una práctica que, aunque carece de la precisión de métodos mecánicos más modernos, ofrece la ventaja de ser simple y eficaz, especialmente en áreas de menor extensión o en condiciones donde el uso de maquinaria no es viable.

La dosificación precisa de las semillas fue un aspecto crucial en este proceso. Se determinaron las cantidades óptimas de semillas basándose en las características específicas de cada variedad y línea de cebada, teniendo en cuenta factores como la tasa de germinación, el vigor de las semillas y las recomendaciones de densidad de siembra para cada tipo de cebada.

Adicionalmente, se instaló un pluviómetro para medir la precipitación diaria, con el fin de correlacionar estas mediciones con las características fenológicas que definen el crecimiento y desarrollo de las variedades de cebada estudiadas. Las lecturas se realizaron puntualmente cada día a las 8 de la mañana, proporcionando datos esenciales para entender cómo las variaciones en la precipitación influían en los patrones fenológicos de las líneas de cebada (Figura 21).

**Figura 21**  
*Siembra*



### **3.9.8. Riego**

Aunque en el desarrollo de este estudio se planeó el uso de aspersores para el riego, finalmente no fue necesario implementarlo debido a que las precipitaciones naturales satisficieron completamente las necesidades hídricas del cultivo.

### **3.9.9. Monitoreo de enfermedades**

Aunque en el estudio se planteó inicialmente un régimen de monitoreo sistemático cada 15 días para la detección y manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de cebada, este enfoque se implementó específicamente después de la etapa de macollamiento y se centró en dos enfermedades: la Roya (*Puccinia hordei*) y la Escaldadura (*Rhynchosporium secalis*). Este monitoreo, llevado a cabo por dos meses, tuvo como objetivo principal mantener un ambiente propicio para el desarrollo saludable de las plantas y permitir la toma de decisiones informadas y oportunas en cuanto a la aplicación de medidas de control. La elección de una periodicidad quincenal para el monitoreo fue estratégica, con el objetivo de equilibrar la necesidad de vigilancia continua con la dinámica de desarrollo de estas enfermedades específicas. Esta frecuencia fue crucial para la detección temprana y la implementación de medidas de control antes de que la Roya y la Escaldadura pudieran alcanzar niveles dañinos para el cultivo (Rodríguez et al., 2021).

Este monitoreo regular, realizado después de la etapa de macollamiento, proporcionó información valiosa sobre la salud del cultivo y la incidencia de estas enfermedades. Fue fundamental no solo para adaptar y mejorar las prácticas de manejo a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, sino también para asegurar un control efectivo de la Roya y la Escaldadura, mitigando así su impacto en el cultivo.

### **3.9.10. Labores culturales**

Durante el desarrollo del estudio, se adoptó una estrategia de control de malezas ajustada a la densidad y prevalencia específicas de estas en el cultivo. Esta estrategia consistió en un seguimiento meticuloso de las malezas, realizado quincenalmente tras el macollamiento, con el objetivo de evaluar su presencia y expansión. La elección de este intervalo de monitoreo buscaba optimizar el balance entre una vigilancia efectiva y la gestión eficiente de recursos dentro del estudio.

El método de control se llevó a cabo manualmente, utilizando una bomba de mochila para la aplicación de herbicida. Se empleó metsulfuron metil en una concentración de 15 g por 20 litros de agua. Esta aplicación se realizó a los 35 días después de la siembra, periodo

en el cual las malezas presentaban entre 2 a 3 hojas verdaderas, asegurando así un tratamiento efectivo en un momento crítico de su desarrollo.

### **3.9.11. Cosecha**

Al concluir la fase de recopilación de datos y alcanzar la etapa final del ciclo de cultivo, se procedió a la cosecha, empleando para ello herramientas tradicionales como la hoz. Posteriormente, el grano cosechado se almacenó en costales, los cuales fueron debidamente etiquetados con códigos específicos correspondientes a cada una de las variedades de cultivo implementadas en el estudio.

Finalmente se realizó el etiquetado cuidadoso de los costales con los códigos de las variedades permitió una identificación clara y un seguimiento preciso de cada muestra a lo largo de las etapas posteriores de análisis y evaluación. Esta sistematización en el etiquetado fue esencial para mantener la organización y la trazabilidad de las muestras, facilitando así la correlación de los datos recogidos durante el crecimiento del cultivo con los resultados obtenidos tras la cosecha (Figura 22).

### **Figura 22**

*Cosecha del cultivo de cebada*



### **3.9.12. Trillado**

Tras la cosecha, el material genético obtenido en el ensayo fue sometido a un proceso de trilla utilizando una trilladora mecánica. Este equipo permitió separar eficientemente los

granos de las espigas, facilitando la recolección del material genético de interés. Una vez completada la trilla, se procedió a una limpieza manual de la semilla, para eliminar impurezas y residuos que pudieran haberse mezclado con los granos durante la trilla.

La combinación de la trilla mecánica con la limpieza manual representó un equilibrio entre eficiencia y delicadeza en el manejo del material genético. Este enfoque metódico y cuidadoso aseguró que las muestras obtenidas mantuvieran su viabilidad y fueran aptas para análisis más detallados o para futuros ensayos agronómicos (Figura 23).

**Figura 23**

*Proceso de trillado por cada unidad experimental*



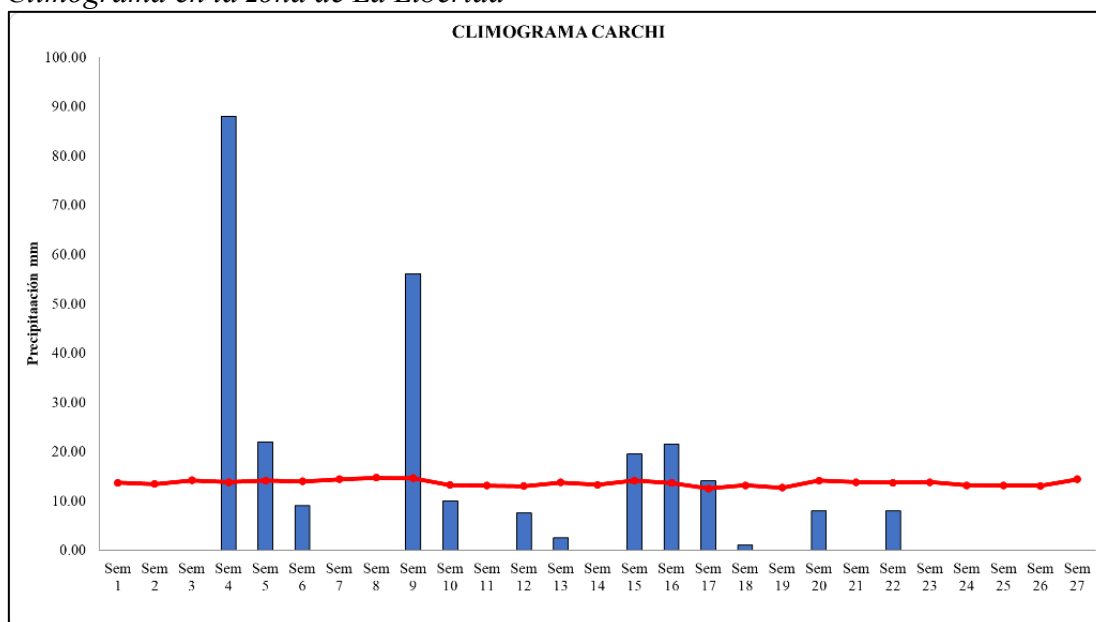
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Climograma de la zona del ensayo

La medición de la precipitación se llevó a cabo manualmente utilizando un pluviómetro proporcionado por Cervecería Nacional. En la Figura 24, las barras azules representan la cantidad de precipitación semanal, medida en milímetros, destacando su notable variabilidad y los picos significativos que indican episodios de lluvias intensas. Durante el ciclo del cultivo, se presentaron lluvias constantes, especialmente notables durante el macollamiento, la floración y el espigado. Este clima favorable eliminó la necesidad de riego complementario. Sin embargo, en las semanas finales del cultivo, hubo una ausencia de precipitaciones. A lo largo de todo el ciclo, la temperatura se mantuvo constante alrededor de los 15 °C, proporcionando condiciones ideales para el desarrollo del cultivo.

**Figura 24**  
*Climograma en la zona de La Libertad*



#### 4.2. Número de plantas establecidas por m<sup>2</sup>

La Tabla 6 correspondiente al análisis de varianza para la variable del número de plantas establecidas en un m<sup>2</sup> demuestra que no existe interacción entre los dos niveles evaluados: líneas de cebada y esquemas de fertilización, reflejado en un valor  $p=0.6375$ .

Del mismo modo se observa que no existen diferencias significativas entre los esquemas de fertilización ( $p=0.2974$ ), independientemente de las líneas evaluadas; asimismo no se presentaron diferencias significativas entre las líneas de cebada ( $p=0.3518$ ), independientemente de los esquemas de fertilización.

**Tabla 6***Análisis de varianza para la variable del número de plantas establecidas por m<sup>2</sup>*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>glFV</b> | <b>glEE</b> | <b>F</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------|----------------|
| Líneas                      | 3           | 38          | 1.12     | 0.3518         |
| Esquema                     | 4           | 38          | 1.27     | 0.2974         |
| líneas: esquema             | 12          | 38          | 0.81     | 0.6375         |

De este modo se puede observar que no se presentaron diferencias significativas entre las líneas estudiadas, ni entre los esquemas de fertilización aplicados, demostrados en que los datos de manera general se encontraron en un rango de entre 150 a 177 plantas/m<sup>2</sup>.

Sin embargo, entre las líneas, destaca 21K16-0812 con la media más alta de 175.73 plantas/m<sup>2</sup>, mientras que la línea 21K16-0671 mostró la media más baja con 153.20 plantas/m<sup>2</sup>. Por parte de los esquemas de fertilización, el esquema 1 presentó un promedio más alto en el número de plantas, mientras que el esquema 2 y el testigo registraron los promedios más bajos. De manera general, los esquemas de fertilización resultaron ser más determinantes en el número de plantas en comparación con las diferencias entre las distintas líneas (Tabla 7).

**Tabla 7***Numero de plantas establecidas en base a las líneas y los esquemas de fertilización*

|                                 |             | <b>Plantas/m<sup>2</sup></b> | <b>± E.E.</b> |
|---------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| <b>Línea de tratamiento</b>     | 21K16-0812  | 175.73                       | 10.47         |
|                                 | ABI VOYAGER | 170.67                       | 10.94         |
|                                 | 21K16-0710  | 156.67                       | 10.13         |
|                                 | 21K16-0671  | 153.20                       | 9.43          |
| <b>Esquema de fertilización</b> | 1           | 177.00                       | 12.55         |
|                                 | 3           | 175.00                       | 11.97         |
|                                 | 4           | 167.33                       | 13.19         |
|                                 | Testigo     | 151.00                       | 8.01          |
|                                 | 2           | 150.00                       | 10.49         |

Los resultados pueden ser contrastados con Correa (2024), quien en su estudio del efecto de la densidad sobre el cultivo de cebada en Chaltura, presentó promedios de entre 180 plantas/m<sup>2</sup> hasta 306 plantas/m<sup>2</sup>, demostrando que el número de plantas establecidas en un área determinada se ve mayormente influenciada por la densidad aplicada, a diferencia de lo obtenido bajo distintos esquemas de fertilización.

Además, Garrido (2017) propone que la resistencia genética de ciertas variedades de cultivos influye en su éxito frente a variaciones en las condiciones de crecimiento.

### **4.3. Días al macollamiento**

El análisis del ADEVA correspondiente para la variable de días al macollamiento indica que no existe interacción entre los dos niveles evaluados (p=0.5163). Sin embargo, se

presenta diferencia significativa entre los esquemas de fertilización evaluados reflejados en un valor ( $p < 0.0001$ ). Del mismo modo se presenta diferencias significativas entre las líneas evaluadas reflejadas en un valor  $p = 0.0300$  (Tabla 8).

**Tabla 8**

*ADEVA para la variable días al macollamiento*

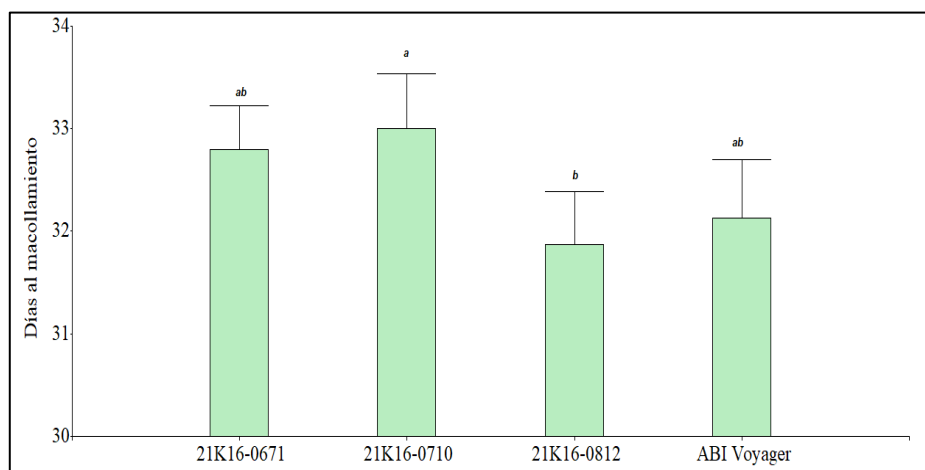
| Fuentes de variación | glFV | glEE | F     | P-valor |
|----------------------|------|------|-------|---------|
| Líneas               | 3    | 38   | 3.31  | 0.0300  |
| Esquema              | 4    | 38   | 32.35 | <0.0001 |
| líneas: esquema      | 12   | 38   | 0.94  | 0.5163  |

En el análisis de las líneas estudiadas, la línea 21K16-0710 presentó un promedio de 33.00 días, lo que indica que esta línea tiene el mayor tiempo hasta el macollamiento entre las evaluadas. La línea 21K16-0671 mostró un promedio ligeramente menor de 32.80 días, situándose muy cerca de 21K16-0710, pero con un tiempo de macollamiento ligeramente más corto. La línea 21K16-0812 registró una media de 31.87 días, destacándose por tener el macollamiento más temprano entre todas las líneas analizadas.

Este resultado sugiere que 21K16-0812 podría alcanzar esta fase de desarrollo más rápidamente, lo cual podría ser beneficioso en ciertos contextos agrícolas donde un ciclo más corto es deseable. Por último, la línea ABI Voyager mostró un promedio de 32.13 días, posicionándose entre las líneas 21K16-0671 y 21K16-0812 en términos de días hasta el macollamiento (Figura 25).

**Figura 25**

*Días al macollamiento en función de las líneas utilizadas*

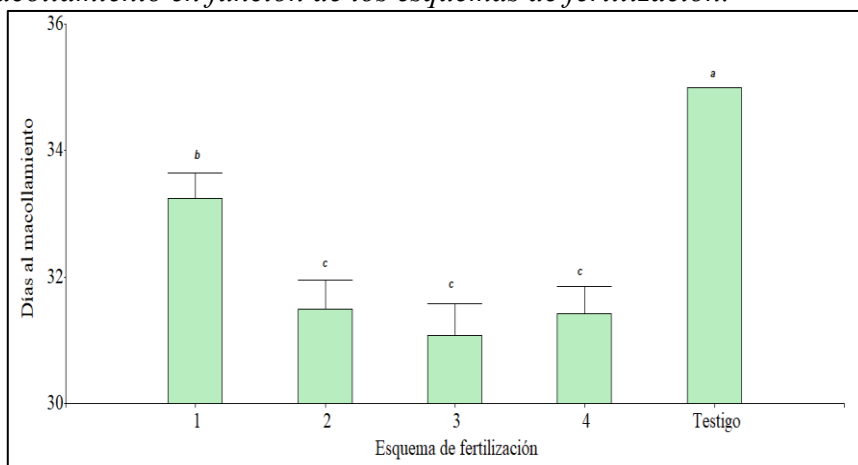


En comparación con el testigo que mostró un macollamiento a los 35.00 días, todos los esquemas de fertilización (1, 2, 3 y 4) exhibieron un macollamiento significativamente más temprano. Específicamente, el esquema 3 destacó con la menor media de días hasta

el macollamiento, registrando 31.08 días según se observa en el análisis de los esquemas de fertilización (Figura 26).

**Figura 26**

*Días al macollamiento en función de los esquemas de fertilización.*



Sánchez (2023), en su ensayo realizado en la Granja Experimental La Pradera ubicada en Chaltura, presentó que el cultivo de cebada alcanzó el macollamiento a los 21 días, muy por debajo de los obtenidos en el presente estudio.

Además, los resultados obtenidos se encuentran fuera del rango ideal de días hasta alcanzar el macollamiento propuesto por FAO (2016), puesto que manifiesta que en condiciones normales el macollamiento se encuentra entre los 20 a 30 días después de la siembra, denotando que las condiciones climáticas ejercen un rol fundamental entre los días necesarios para las diferentes fases fenológicas del cultivo de cebada.

#### 4.4. Días al encañado

La Tabla 9 evidencia que no existe interacción entre los dos niveles, líneas de cebada maltera y los esquemas de fertilización que se aplicaron ( $p=0.7107$ ). Del mismo modo no se presentan diferencias significativas entre los esquemas de fertilización, independientemente de las líneas estudiadas ( $p=0.5578$ ). De igual manera, las líneas, independientemente de los esquemas de fertilización, no presentaron diferencias significativas, representadas por un valor  $p=0.1584$ .

**Tabla 9**

*ADEVA de la variable días al encañado*

| Fuentes de variación | glFV | glEE | F    | P-valor |
|----------------------|------|------|------|---------|
| Líneas               | 3    | 38   | 1.83 | 0.1584  |
| Esquema              | 4    | 38   | 0.76 | 0.5578  |
| líneas: esquema      | 12   | 38   | 0.73 | 0.7107  |



La Tabla 10 muestra que la línea 21K16-0812 destaca con el menor número de días registrados en promedio, con 58.80 días. Por otro lado, la línea ABI VOYAGER muestra el mayor número de días promedio hasta el encañado, con 61.27 días. Las líneas 2IK16-0710 y 2IK16-0671 presentan valores intermedios de 60.47 días y 59.80 días respectivamente. Estas diferencias sugieren variaciones en la velocidad de desarrollo de las plantas bajo diferentes tratamientos, destacando la línea 21K16-0812 como la que alcanza el encañado más temprano en promedio, mientras que ABI VOYAGER muestra un desarrollo más tardío en comparación con las demás líneas.

Por su parte, el esquema de fertilización 2 tiene el menor número de días registrados en promedio, con 58.92 días, indicando un encañado más temprano en comparación con los demás esquemas. Le sigue el esquema 1 con un promedio de 59.92 días, seguido por el esquema 4 con 60.00 días. El esquema Testigo muestra un promedio de 60.67 días, mientras que el esquema 3 tiene el mayor número de días promedio hasta el encañado, con 60.83 días. Estas diferencias sugieren que el esquema 2 permite un encañado más temprano en promedio, mientras que el esquema 3 muestra un desarrollo más tardío en comparación con los otros esquemas de fertilización evaluados (Tabla 9).

**Tabla 10**

*Días al encañado para las líneas evaluadas y los esquemas de fertilización.*

|                                 |             | DÍAS  | ± | E.E  |
|---------------------------------|-------------|-------|---|------|
| <b>Línea de tratamiento</b>     | 21K16-0812  | 58.80 |   | 0.74 |
|                                 | ABI VOYAGER | 61.27 |   | 0.86 |
|                                 | 2IK16-0710  | 60.47 |   | 0.79 |
|                                 | 2IK16-0671  | 59.80 |   | 0.56 |
| <b>Esquema de fertilización</b> | 1           | 59.92 |   | 0.87 |
|                                 | 3           | 60.83 |   | 0.94 |
|                                 | 4           | 60.00 |   | 0.80 |
|                                 | Testigo     | 60.67 |   | 0.92 |
|                                 | 2           | 58.92 |   | 0.78 |

Los resultados obtenidos difieren con los de Correa (2024), mismo que en su estudio realizado en Chaltura, provincia de Imbabura, presentó un promedio de 40 días hasta el encañado en el cultivo de cebada. Esto muestra que factores agroclimáticos afectan de manera sustancial en los días necesarios hasta alcanzar las diferentes fases fenológicas del cultivo.

Además, el bajo coeficiente de variación y la falta de variabilidad significativa en los tratamientos subrayan la posibilidad de que otros factores ambientales o de manejo no considerados puedan estar influenciando la fenología del encañado (Castillo, 2020).

#### 4.5. Días al embuchamiento

La Tabla 11, correspondiente al análisis de varianza de la variable de días al embuchamiento para los tratamientos en estudio refleja que no existe interacción para los niveles líneas de cebada y esquemas de fertilización ( $p=0.5099$ ). Sin embargo, si se presentan diferencias significativas entre las diferentes líneas de cebada ( $p=0.0008$ ) independientemente de los esquemas de fertilización; del mismo modo el análisis independiente de los esquemas de fertilización refleja diferencias significativas, independientemente de las líneas de cebada evaluadas ( $p=0.0001$ ).

**Tabla 11**

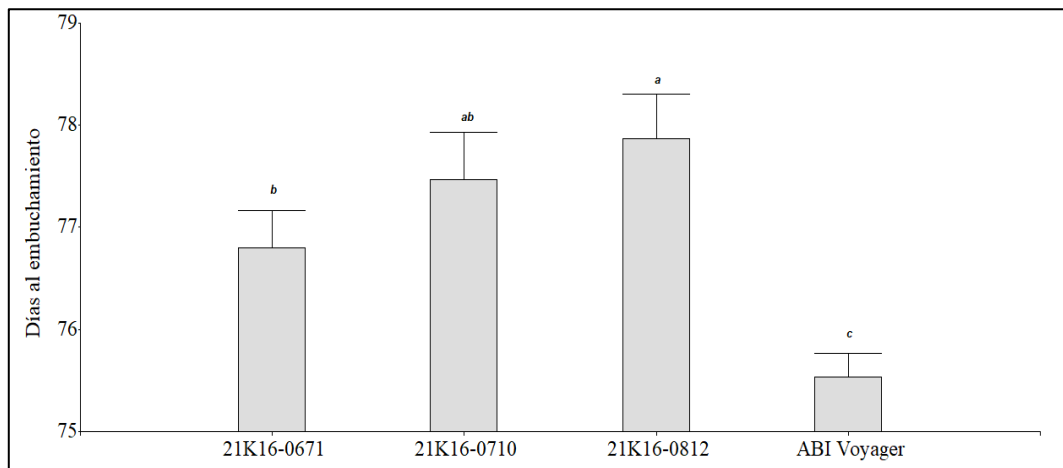
*ADEVA de la variable días al embuchamiento*

| Fuentes de variación | glFV | glEE | F    | P-valor |
|----------------------|------|------|------|---------|
| Líneas               | 3    | 38   | 9.60 | 0.0001  |
| Esquema              | 4    | 38   | 5.98 | 0.0008  |
| líneas: esquema      | 12   | 38   | 0.95 | 0.5099  |

El análisis comparativo de los días al embuchamiento entre las diferentes líneas evaluadas (Figura 27), revela diferencias significativas tanto en valores absolutos como en porcentajes. ABI Voyager presenta el menor tiempo al embuchamiento con 75.53 días. En comparación, la línea 21K16-0671 presentó el embuchamiento a los 76.80 días, lo que representa un incremento del 1.68% en relación con ABI Voyager, sugiriendo un ligero alargamiento en su periodo de desarrollo. La línea 21K16-0710, con 77.47 días al embuchamiento, toma 1.94 días más que ABI Voyager, lo que equivale a un aumento del 2.57%. Finalmente, la línea 21K16-0812 es la más lenta en alcanzar el embuchamiento con 77.87 días, siendo un 3.10% más tardía que ABI Voyager.

**Figura 27**

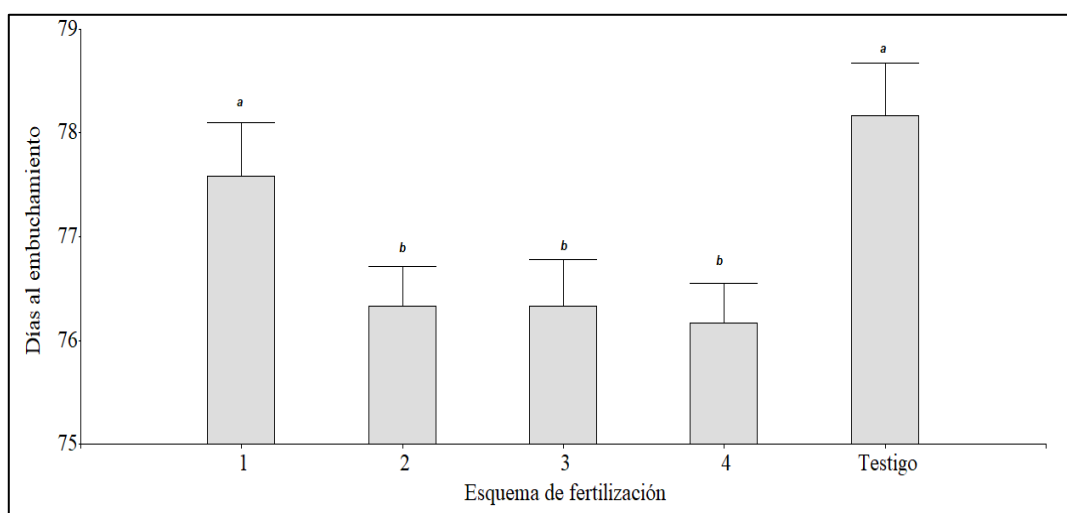
*Días al embuchamiento en función de las líneas utilizadas*



El análisis comparativo de los días al embuchamiento entre los diferentes esquemas de fertilización evaluados (Figura 28) revela variaciones significativas. El esquema considerado como Testigo presenta el mayor tiempo al embuchamiento, con 78.17 días. En comparación, el esquema 1 tiene un embuchamiento a los 77.58 días, lo que representa una reducción del 0.76% en relación con el Testigo, sugiriendo un leve acortamiento en su periodo de desarrollo. Los esquemas 2 y 3 presentan el mismo tiempo de embuchamiento, 76.33 días, lo que equivale a una disminución del 2.35% en comparación con el Testigo, indicando una reducción más significativa en el tiempo al embuchamiento. Finalmente, el esquema 4 muestra el menor tiempo de embuchamiento con 76.17 días, siendo un 2.56% más rápido que el Testigo, lo que evidencia una mayor precocidad respecto a los demás esquemas.

**Figura 28**

*Días al embuchamiento en función de los esquemas de fertilización*



Los resultados de manera general se sitúan entre los 75 hasta los 78 días hasta alcanzar la fase de embuchamiento, contraponiéndose a lo obtenido por Chalacan (2023), mismo que en su ensayo realizado en Chaltura, con una temperatura promedio de 15°C obtuvo que la totalidad de sus tratamientos se situaban 57 a 59 días hasta alcanzar el macollamiento. Esto ha demostrado que la variabilidad en las condiciones climáticas juega un papel determinante en el desarrollo del cultivo de cebada maltera (Calderón et al., 2015).

#### **4.6. Días al espigado**

La Tabla 12, correspondiente al análisis de la varianza para la variable de días al espigado refleja que existe interacción entre los dos niveles en estudio: líneas de cebada y esquemas de fertilización con un valor  $p=0.0461$ .

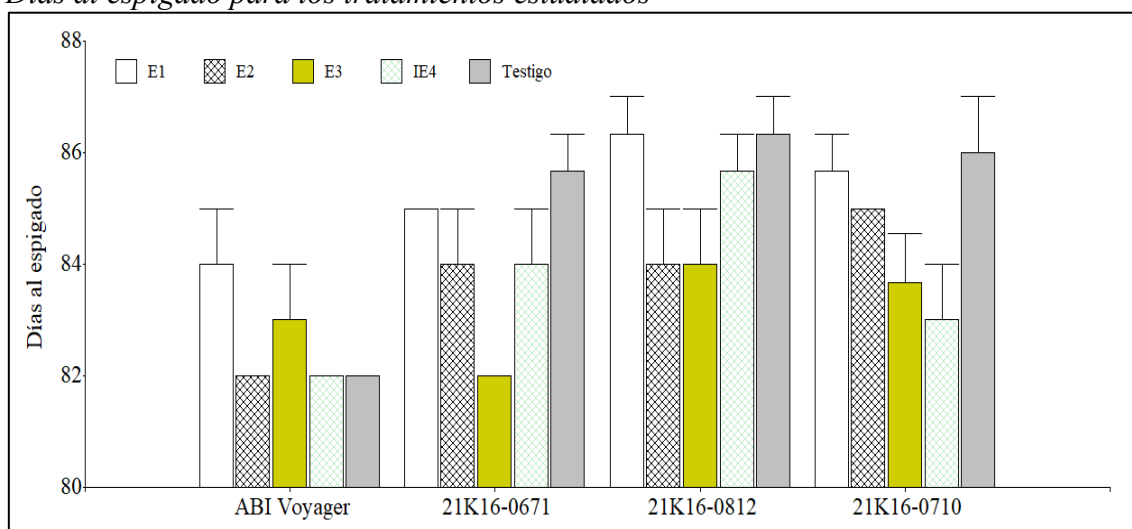
**Tabla 12***Análisis de varianza para la variable días al espigado*

| Fuentes de variación | glFV | glEE | F     | P-valor |
|----------------------|------|------|-------|---------|
| Líneas               | 3    | 38   | 14.83 | 0.0001  |
| Esquema              | 4    | 38   | 7.48  | 0.0002  |
| líneas: esquema      | 12   | 38   | 1.90  | 0.0461  |

La Figura 29 ilustra de manera efectiva los resultados del análisis de los días al espigado, complementando y enriqueciendo la interpretación estadística previa, demostrando que las líneas 21K16-0812 y 21K16-0710 muestran las mayores medias de días al espigado (86.33 y 85.67 días, respectivamente) cuando se combinan con el Testigo y E1.

Por otro lado, la línea ABI Voyager exhibe consistentemente las medias más bajas en días al espigado (alrededor de 82 días) a través de todos los esquemas, lo que indica una respuesta más temprana.

En particular, la línea 21K16-0812 presenta variabilidad en días al espigado según el esquema de tratamiento, con las medias más altas observadas con el Testigo y el E1. Además, líneas como 21K16-0671 y 21K16-0710 muestran respuestas intermedias, dependiendo del tratamiento aplicado.

**Figura 29***Días al espigado para los tratamientos estudiados*

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en comparación con estudios previos. En el presente ensayo, las líneas 21K16-0812 y 21K16-0710 presentaron medias de 86.33 y 85.67 días respectivamente para el espigado, indicando una respuesta más tardía en comparación con los 63.8 días documentados por Orrala (2020) para 120 líneas evaluadas.

Además, los valores reportados por Flores (2023) en su estudio de tres variedades de cebada, que oscilan entre 59 y 66 días, refuerzan la variabilidad fenotípica encontrada en diferentes estudios de germoplasma. De este modo se puede apreciar que incluso los tratamientos con mayor precocidad, sugieren ser mucho más tardíos si los comparamos con los hallazgos de los autores citados con anterioridad.

#### 4.7. Días a la madurez fisiológica

El análisis de varianza para la variable de días a la madurez fisiológica muestra que no existe interacción entre los dos niveles estudiados, líneas de cebada y esquemas de fertilización ( $p=0.3618$ ). Del mismo modo, el análisis independiente de los esquemas de fertilización demuestra que no existen diferencias significativas independientemente de las líneas de cebada ( $p=0.2706$ ). A diferencia del análisis de las líneas independientemente de los esquemas de fertilización en el cual sí se presentaron diferencias significativas ( $p=<0.001$ ) (Tabla 13).

**Tabla 13**

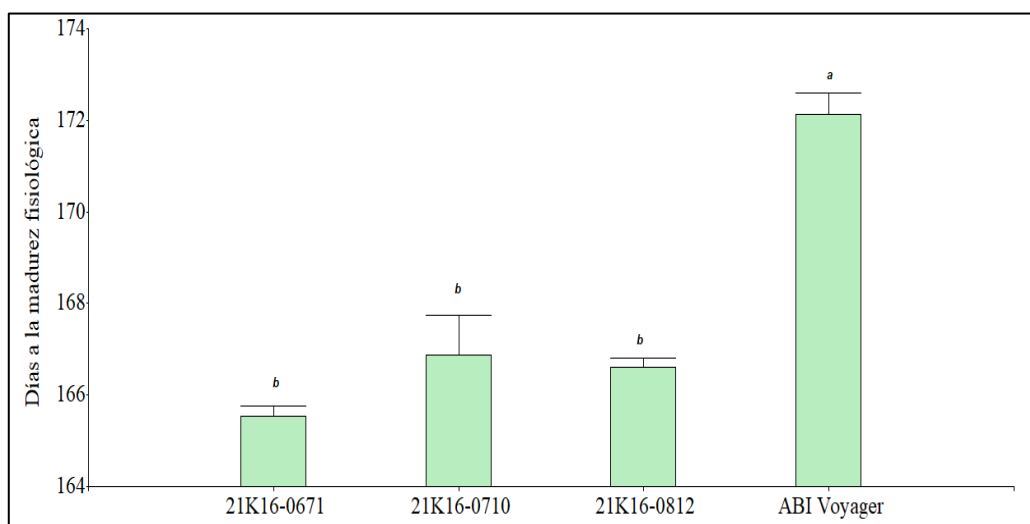
*ADEVA para días a la madurez fisiológica*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>glFV</b> | <b>glEE</b> | <b>F</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------|----------------|
| Líneas                      | 3           | 38          | 34.57    | <0.001         |
| Esquema                     | 4           | 38          | 1.35     | 0.2706         |
| líneas: esquema             | 12          | 38          | 1.14     | 0.3618         |

Basado en los datos presentados en la Figura 30, ABI Voyager destaca con la mayor media en la variable de días a la madurez fisiológica, registrando 172.13 días. Esta variedad muestra un ciclo más prolongado hasta alcanzar la madurez en comparación con las otras líneas evaluadas. En contraste, la línea 21K16-0671 exhibió la media más baja, con una precocidad notable de 165.53 días, lo que indica que alcanza la madurez fisiológica en un periodo de tiempo más corto. Además, los promedios de las líneas 21K16-0671 (165.53), 21K16-0710 (166.87), y 21K16-0812 (166.60) muestran medias cercanas entre sí, sugiriendo una homogeneidad relativa en los días requeridos para alcanzar la madurez fisiológica entre estas variedades.

**Figura 30**

*Días a la madurez fisiológica en base a las líneas estudiadas*



Comparando los resultados de este estudio con los de Flores (2023) donde se establece que bajo condiciones de temperatura entre 22 y 22.5°C, el cultivo de cebada completó su ciclo en un rango de 130 a 150 días, los resultados actuales revelan que los materiales genéticos evaluados alcanzaron la madurez fisiológica en un período que osciló entre 165 y 172 días desde la siembra, siendo considerablemente tardíos en comparación de zonas con condiciones climáticas cálidas.

Este contraste subraya la adaptabilidad y el potencial de los nuevos materiales genéticos estudiados para manejar el ciclo de crecimiento de la cebada bajo diferentes condiciones de temperatura, lo cual es crucial para optimizar la producción agrícola en diversas regiones (Merino y Luzuriaga, 1966).

#### **4.8. Altura de planta**

La Tabla 14, correspondiente al análisis de la varianza para la variable de altura de planta en el presente ensayo demostró que existe interacción entre los dos niveles estudiados, líneas de cebada y esquemas de fertilización, representados en un valor ( $p=0.0046$ ).

**Tabla 14**

*ADEVA para la altura de planta del presente estudio*

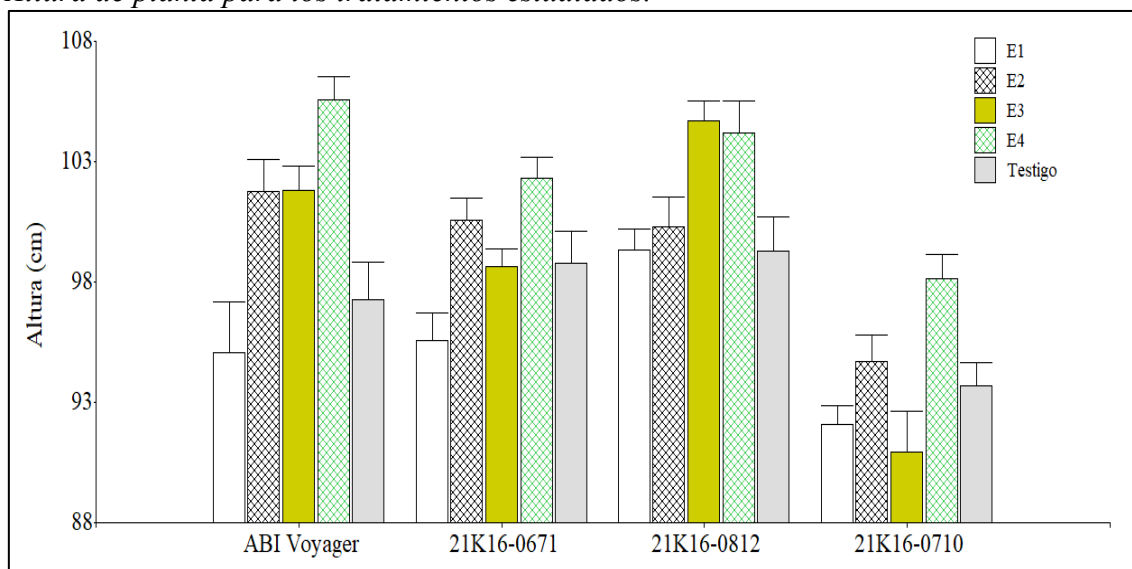
| Fuentes de variación | glFV | glEE | F     | P-valor |
|----------------------|------|------|-------|---------|
| Líneas               | 3    | 578  | 38.33 | <0.001  |
| Esquema              | 4    | 578  | 18.72 | <0.001  |
| líneas: esquema      | 12   | 578  | 2.42  | 0.0046  |

En términos generales, ABI Voyager (E4 con 105.55 cm) y la línea 21K16-0812 (E3 con 104.69 cm), destacan por tener los promedios más altos en altura de planta. Esto sugiere

que estas variedades muestran un potencial significativo de crecimiento en comparación con otras evaluadas. Por otro lado, la línea 21K16-0710, siendo el E3 con 90.95 la altura más baja entre todas las líneas evaluadas. Este patrón indica una respuesta nutricional menor en esta variedad específica, posiblemente debido a factores genéticos o de adaptación (Albán et al., 2018).

En cuanto a los esquemas de fertilización, el esquema E4 emerge como el más efectivo en promover el crecimiento en altura en la mayoría de las líneas evaluadas. Le sigue en efectividad el esquema E3, seguido por E2 y E1, respectivamente. Esta clasificación sugiere que la composición y cantidad de nutrientes en el esquema E4 han sido óptimas para el desarrollo vegetativo en este contexto específico. Además, se observa una clara respuesta dosis-dependiente a la fertilización, donde niveles más altos de nutrientes están correlacionados con mayores alturas de planta (Figura 31).

**Figura 31**  
*Altura de planta para los tratamientos estudiados.*



Varios estudios previos han demostrado que la fertilización juega un papel crítico en el crecimiento de las plantas, influenciando directamente parámetros de desarrollo como la altura. Por ejemplo, en la investigación realizada por Bolaños (2015), se encontró que incrementos graduales en la fertilización nitrogenada estaban correlacionados con aumentos en la altura de la cebada, lo cual coincide con los resultados observados en la mayoría de resultados en el presente estudio.

Sin embargo, la investigación de Almache (2020) sugiere que hay un punto de saturación a partir del cual el aumento en la fertilización no produce cambios significativos en la

altura, lo que podría explicar la menor variabilidad observada en algunas líneas como 21K16-0812.

#### 4.9. Longitud de la espiga

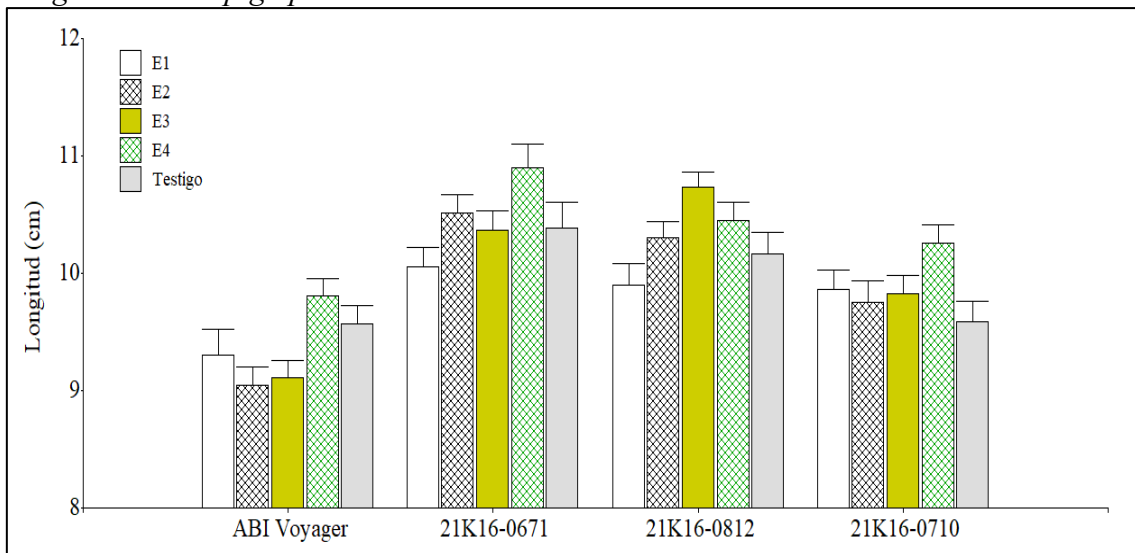
La Tabla 15 muestra el análisis de la varianza para la variable de longitud de la espiga del presente estudio, en la cual se demuestra que existe interacción entre los dos niveles líneas y esquemas de fertilización con un valor  $p=0.0233$ .

**Tabla 15**  
*ADEVA para longitud de espiga*

| Fuentes de variación | glFV | glEE | F     | P-valor |
|----------------------|------|------|-------|---------|
| Líneas               | 3    | 578  | 42.70 | <0.001  |
| Esquema              | 4    | 578  | 6.67  | <0.001  |
| líneas: esquema      | 12   | 578  | 1.99  | 0.0233  |

En la Figura 32, se observa que bajo el esquema de fertilización 4, la línea 21K16-0671 muestra la mayor longitud media de espiga registrada, alcanzando 10.90 cm, lo que indica una eficiencia destacada en el uso de nutrientes para el desarrollo de las espigas en esta variedad específica. En contraste, ABI Voyager presenta consistentemente las espigas más cortas en todos los esquemas de fertilización, siendo más notable en el esquema 2 donde alcanzan los 9.04 cm, lo que sugiere una respuesta menos favorable a la fertilización en términos de desarrollo de la espiga. Además, las líneas 21K16-0812 y 21K16-0710 muestran promedios medios de longitud de espiga en comparación con las demás líneas bajo los distintos tratamientos de fertilización evaluados en la figura.

**Figura 32**  
*Longitud de la espiga para los tratamientos estudiados*





Los resultados obtenidos difieren de los de Chauca (2023), quien de manera general obtuvo longitudes de espiga desde 7.5 cm hasta 9.08 cm, a diferencia de los obtenidos en el presente estudio, en el cual los datos no descienden de los 9 cm; esto demostrando que no solamente la densidad de siembra es influyente en la longitud de la espiga, si no que la fertilización infiere de manera directa en el resultado de la presente variable.

Los datos presentados y el análisis estadístico subrayan la complejidad de las interacciones entre la genética de la planta y el manejo de la fertilización. Se evidencia que la selección de líneas adecuadas y la optimización de los esquemas de fertilización son fundamentales para mejorar la longitud de la espiga, lo cual podría tener un impacto positivo en el rendimiento del cultivo y su adaptabilidad a diferentes condiciones de manejo (Chicaiza, 2018)

#### 4.10. Número de granos por espiga

La Tabla número 16 correspondiente al análisis de la varianza para la variable del número de granos por espiga, muestra que existe interacción entre los dos niveles evaluados, líneas de cebada maltera y los esquemas de fertilización aplicados, representados en un valor ( $p=0.0085$ ).

**Tabla 16**

*ADEVA para la variable de número de granos por espiga*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>glFV</b> | <b>glEE</b> | <b>F</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------|----------------|
| Líneas                      | 3           | 578         | 3.37     | 0.0182         |
| Esquema                     | 4           | 578         | 2.55     | 0.0380         |
| líneas: esquema             | 12          | 578         | 2.26     | 0.0085         |

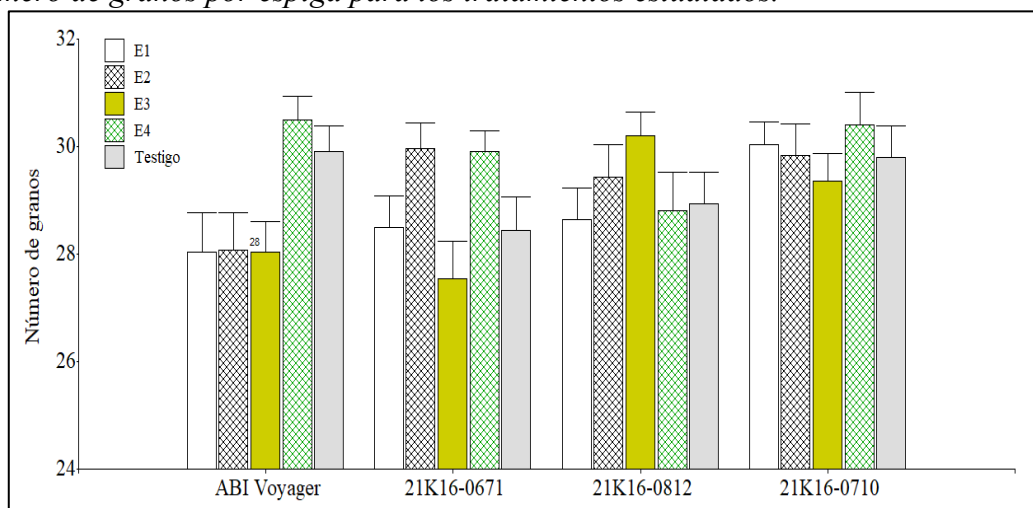
La Figura 33 exhibe que en el esquema 4 de fertilización, ABI Voyager lidera con el mayor número promedio de granos por espiga, alcanzando 30.50 granos, seguido por 21K16-0710 con 30.40 granos y 21K16-0671 con 29.90 granos. Estos resultados destacan la capacidad de ABI Voyager y 21K16-0710 para aprovechar eficientemente los nutrientes en ese esquema específico, reflejando rendimientos competitivos en comparación con otras líneas evaluadas.

Sin embargo, se observa variabilidad entre las líneas en respuesta a los esquemas de fertilización. Por ejemplo, 21K16-0812 muestra fluctuaciones significativas en el rendimiento de granos por espiga entre diferentes esquemas, indicando posiblemente una sensibilidad particular a la composición de nutrientes o condiciones específicas de fertilización. En contraste, ABI Voyager demuestra consistencia en los esquemas 1, 2 y 3, sugiriendo una adaptabilidad robusta a diversas condiciones nutricionales.

Por otro lado, se observa que la línea 21K16-0671 bajo el esquema de fertilización 3 presenta el menor número de granos por espiga, con 27.53, denotando que bajo esas condiciones presenta un menor desarrollo en el número de semilla en comparación con los demás tratamientos.

**Figura 33**

*Número de granos por espiga para los tratamientos estudiados.*



Las cebadas destinadas a la producción cervecera se valoran positivamente si muestran más de 20 granos por espiga, de modo que la totalidad de los tratamientos superan de manera significativamente el rango mínimo aceptado. Por su parte los resultados de Sánchez (2023) indicaron que la línea 21K16-0812 promedió 27 granos por espiga, mientras que la línea 21K16-0671 registró 24 granos por espiga, denotando que ambos resultados se colocan por debajo de lo obtenido en el presente estudio.

Cajamarca y Montenegro (2015) han demostrado que la aplicación de nitrógeno puede aumentar significativamente el número de granos por espiga en cebada, lo cual se alinea con los resultados observados para las líneas ABI Voyager y 21K16-0710 bajo el esquema E4 en el presente estudio. Sin embargo, la investigación de Almache (2020) sugiere que existe un umbral para el beneficio del nitrógeno, después del cual no se observan mejoras en los rendimientos o en características como el número de granos, lo que podría explicar la respuesta menos marcada de la línea 21K16-0812 al esquema de fertilización más intensivo.

#### **4.11. Porcentaje de calibre de grano ideal ( $\geq 2.5$ mm)**

La Tabla 17 corresponde al análisis de varianza para la variable de calibre de grano ideal, es decir, el porcentaje de granos con un calibre igual a superior a los 2.5 mm. La misma

tabla presente que existe interacción entre los dos niveles en estudio, las líneas de cebada y los esquemas de fertilización a los que se les sometió ( $p=0.0031$ ).

**Tabla 17**

*Análisis de varianza para la variable porcentaje de grano ideal*

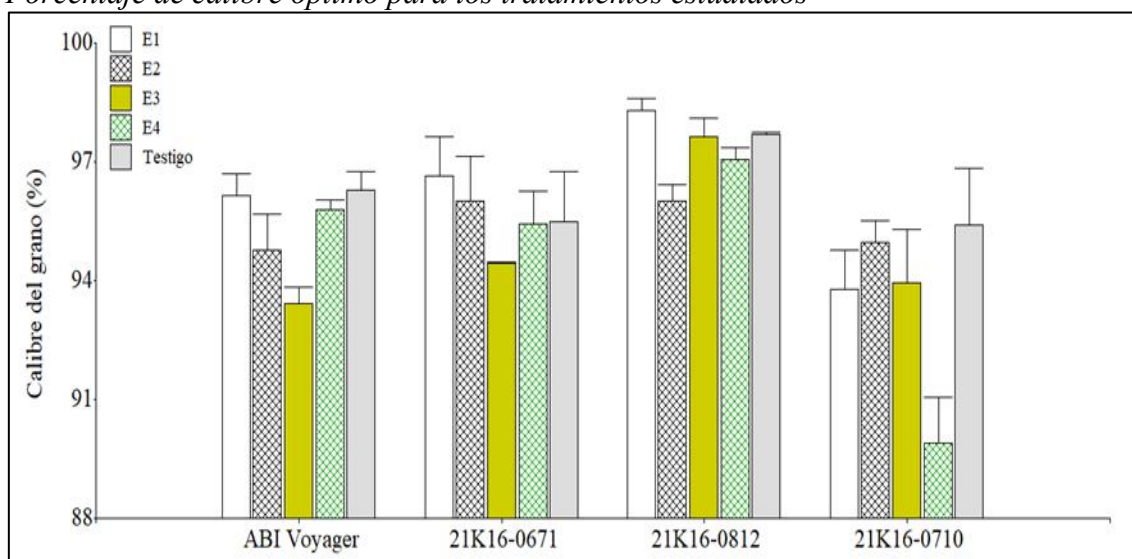
| <b>Fuentes de variación</b> | <b>glFV</b> | <b>glEE</b> | <b>F</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------|----------------|
| Líneas                      | 3           | 38          | 21.48    | <0.0001        |
| Esquema                     | 4           | 38          | 4.32     | 0.0056         |
| líneas: esquema             | 12          | 38          | 3.20     | 0.0031         |

La Figura 34 muestra que la línea 21K16-0812 bajo el esquema 1 muestra el mayor calibre de grano (98.30%), lo que sugiere que esta combinación particular de genética de línea y régimen de fertilización resulta en granos de mayor tamaño. Curiosamente, la misma línea 21K16-0812 muestra una disminución en el calibre de grano con el aumento de la intensidad de la fertilización, siendo el esquema 4 el que presenta una media menor (97.04%). Esto podría indicar un posible efecto adverso de una fertilización excesiva o un umbral de beneficio máximo.

Por otro lado, la línea 21K16-0710 muestra una respuesta distinta, con el calibre más bajo observado bajo el esquema 4 (89.89%), lo que sugiere que esta línea puede ser más sensible a ciertos niveles de fertilización que afectan negativamente el tamaño del grano. Esta respuesta contrasta con la línea 21K16-0671, que presenta medias de calibre de grano más estables a través de los distintos esquemas de fertilización. La línea ABI Voyager muestra un patrón interesante, donde el testigo (sin fertilización adicional) tiene un calibre de grano mayor (96.29%) que cuando se aplican los esquemas de fertilización 2 y 3 (94.77% y 93.43%, respectivamente). Esto podría sugerir que, para esta línea, la aplicación de fertilización no mejora significativamente el calibre de grano y, de hecho, podría ser contraproducente.

**Figura 34**

*Porcentaje de calibre óptimo para los tratamientos estudiados*



Al comparar los resultados obtenidos en el presente ensayo con los del estudio de Sánchez (2023), se observa que, en el estudio actual, el 100% de los tratamientos alcanzaron un porcentaje de calibre de grano superior al 80%, lo cual se considera aceptable en términos de calidad. En contraste, en el estudio de Sánchez, solo el 30% de los tratamientos superaron el 80%. Esto demuestra que las condiciones agroclimáticas diferentes influyen directamente en el tamaño del grano.

Los estudios previos han demostrado que el calibre del grano es un atributo agronómico importante influenciado por la genética de la planta, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo, incluyendo la fertilización (Garrido, 2017). Por ejemplo, una mayor disponibilidad de nutrientes a menudo conduce a un aumento en el tamaño del grano hasta un cierto punto, más allá del cual puede no haber beneficios adicionales o incluso puede haber efectos adversos (Chicaiza, 2014). Esto parece reflejarse en los resultados para la línea 21K16-0812, que muestra una disminución en el calibre del grano con un esquema de fertilización más intensivo (Esquema 4).

#### **4.12. Peso hectolítrico**

El análisis de la varianza para la variable de peso hectolítrico reflejado en la Tabla 18 indica que existe interacción entre los dos niveles evaluados, los esquemas de fertilización y las líneas de cebada, representadas por un valor  $p=0.0238$ .

**Tabla 18***ADEVA de la variable peso hectolítrico*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>glFV</b> | <b>glEE</b> | <b>F</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------|----------------|
| Líneas                      | 3           | 38          | 5.21     | 0.0041         |
| Esquema                     | 4           | 38          | 1.98     | 0.1176         |
| líneas: esquema             | 12          | 38          | 2.33     | 0.0238         |

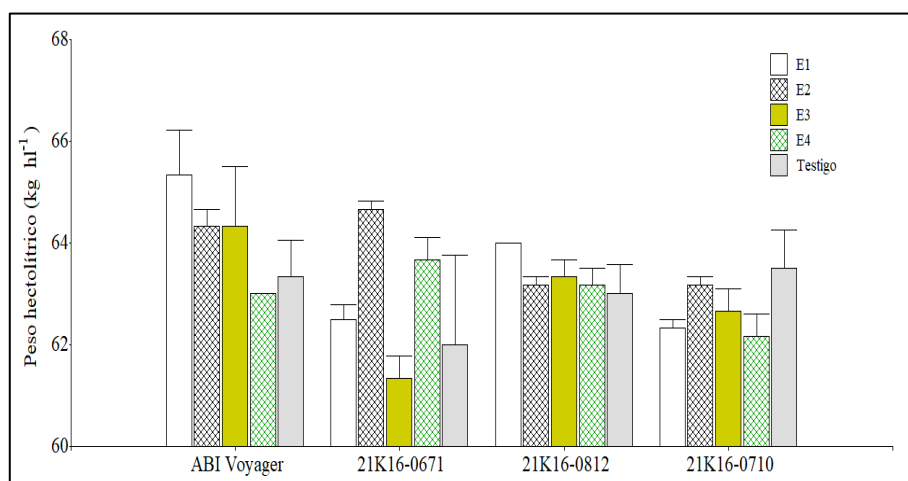
La Figura 35 muestra que la línea 21K16-0671 presenta la mayor variabilidad en las medias de P.H. La media más alta se encuentra en el esquema 2 (64.67 kg/hl) y la más baja en el esquema 3 (61.33 kg/hl). El testigo presenta una media intermedia de 62.00 kg/hl. Esto indica que la fertilización puede mejorar el P.H. en esta línea, especialmente en el esquema 2.

La línea 21K16-0710 tiene medias más estables, con la más alta en el esquema 2 (63.17 kg/hl) y la más baja en el esquema 4 (62.17 kg/hl). El testigo tiene una media de 63.50 kg/hl. Esta estabilidad sugiere una menor sensibilidad a los cambios en la fertilización. La línea 21K16-0812 también es estable, con la media más alta en el esquema 1 (64.00 kg/hl) y similares entre los esquemas 2, 3 y 4 (63.17-63.33 kg/hl). El testigo presenta una media de 63.00 kg/hl, indicando una respuesta consistente a la fertilización.

Por su parte, ABI Voyager tiene la media más alta en el esquema 1 (65.33 kg/hl) y la más baja en el esquema 4 (63.00 kg/hl). El testigo tiene una media de 63.33 kg/hl. Esto sugiere una fuerte respuesta a la fertilización en el esquema 1, pero una disminución en niveles más altos.

Finalmente, de manera general se puede deducir que el tratamiento que presenta un mejor promedio de peso hectolítrico es ABI Voyager bajo el esquema de fertilización 1, mientras que, por su lado, aquel que presenta un menor promedio en el valor de la presente variable es la línea 21K16-0671 bajo el esquema de fertilización 3, con una diferencia de 4 unidades entre ellos.

**Figura 35**  
*Peso hectolítrico para los tratamientos estudiados*



Los resultados obtenidos difieren significativamente con los obtenidos por Chauca (2023), mismo que en su estudio para siembra mecanizada obtuvo rango de 55 a 59 kg/hl, y para siembra manual un intervalo de entre 57 a 62 kg/hl, a diferencia de 61 a 65 kg/hl, obtenidos en el presente estudio; demostrando de esta manera que a pesar de tener condiciones climáticas similares, las diferencias en las prácticas de siembra y densidades influyen de gran manera, así como las prácticas de fertilización focalizada.

Además, la significativa interacción entre las líneas y los esquemas de fertilización refleja la importancia de la sinergia entre la genética del cultivo y las prácticas agronómicas para optimizar los rendimientos, tal como lo ha sugerido (Chicaiza, 2018).

#### 4.13. Peso de mil granos

La tabla del ADEVA correspondiente a la variable del peso de mil granos refleja que no existe interacción entre los niveles evaluados, líneas de cebada y esquemas de fertilización utilizados ( $p=0.2856$ ), sin embargo, al analizar los esquemas de fertilización independientemente de las líneas de cebada se observa que existen diferencias significativas ( $p=0.0011$ ). Del mismo modo al analizar de las líneas de cebada independientemente de los esquemas de fertilización se puede observar que existen diferencias significativas entre ellos ( $p=0.0311$ ) (Tabla 19).

**Tabla 19**  
*ADEVA para peso de mil granos*

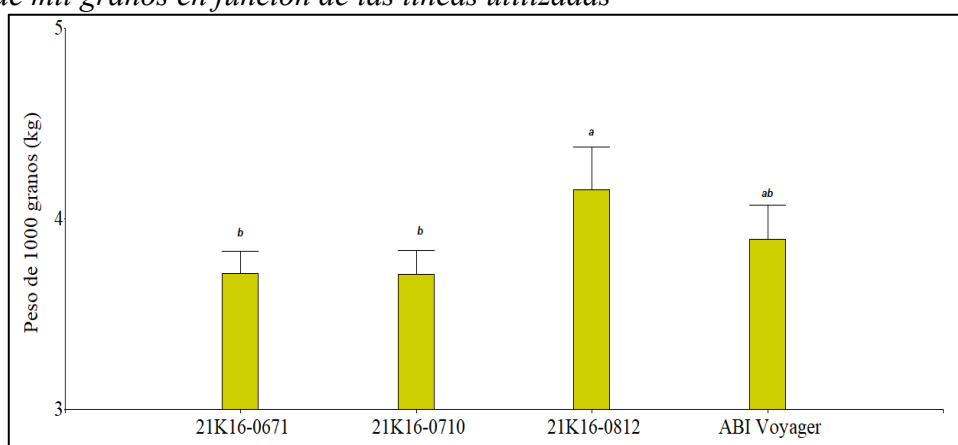
| Fuentes de variación | glFV | glEE | F    | P-valor |
|----------------------|------|------|------|---------|
| Líneas               | 3    | 38   | 2.22 | 0.0311  |
| Esquema              | 4    | 38   | 5.68 | 0.0011  |
| líneas: esquema      | 12   | 38   | 1.25 | 0.2856  |

La Figura 36 presenta el peso promedio de 1000 granos (p1000gr) para diferentes líneas evaluadas. La línea 21K16-0671 y la línea 21K16-0710 muestran una media similar de 3.71 gramos, indicando consistencia en este atributo entre ambas líneas. Estos resultados sugieren que ambas líneas tienen un peso de grano similar, lo cual podría ser relevante para consideraciones de rendimiento y manejo agronómico.

Por otro lado, la línea 21K16-0812 exhibe un peso promedio más alto de 4.15 gramos, destacándose por tener granos significativamente más pesados en comparación con las otras líneas evaluadas. Esto podría implicar una ventaja en términos de rendimiento por unidad de grano debido a su mayor tamaño. En contraste, la línea ABI Voyager muestra un peso promedio de 3.89 gramos, colocándose en un rango intermedio entre las otras líneas en términos de peso de mil granos.

### Figura 36

*Peso de mil granos en función de las líneas utilizadas*

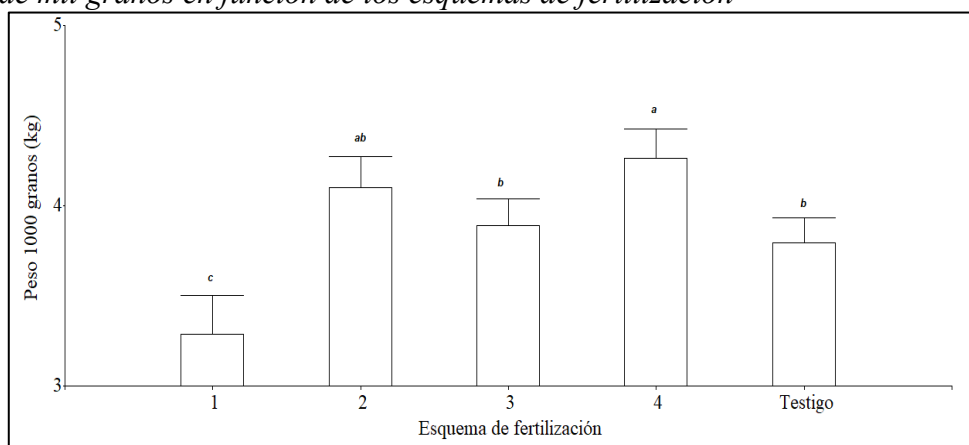


En la Figura 37 se presentan los resultados del peso promedio de 1000 granos (p1000gr) para diferentes esquemas de fertilización, incluyendo un testigo sin fertilización adicional. El esquema 4 muestra la media más alta de 4.26 gramos, indicando que este nivel de fertilización específico promueve el peso de grano más alto entre todos los esquemas evaluados.

Por otro lado, el esquema 2 tiene una media de 4.10 gramos, también mostrando un buen rendimiento en términos de peso de grano. El esquema 3 presenta una media intermedia de 3.89 gramos, mientras que el esquema 1 muestra la media más baja de 3.29 gramos. El testigo, con una media de 3.80 gramos, proporciona una referencia de comparación sin fertilización adicional. Estos resultados subrayan la importancia de la fertilización en la optimización del tamaño de grano, crucial para el rendimiento y la calidad del cultivo.

**Figura 37**

*Peso de mil granos en función de los esquemas de fertilización*



En el estudio de Velasco et al. (2020) se examinaron 83 variedades de cebada, encontrando que el peso de 1000 granos variaba ampliamente, desde 40.5 hasta 70.4 gramos, con un promedio de 69.16 gramos. Se consideró ideal un valor de 55 gramos como referencia óptima para esta variable, sin embargo, se oponen completamente a los bajísimos valores obtenidos en la presente investigación.

Los bajos valores obtenidos pueden ser resultado de lo expuesto por Garrido (2017), quien manifiesta que la nutrición mineral óptima mejora el peso y calidad de los granos, especialmente en condiciones de estrés hídrico o deficiencias nutricionales.

#### **4.14. Rendimiento**

El análisis de la varianza para la variable de rendimiento, como se muestra en la Tabla 20, muestra que hay una interacción significativa entre los esquemas de fertilización y las diferentes líneas de cebada evaluadas, con un valor de  $p=0.0477$ .

**Tabla 20**

*ADEVA para la variable rendimiento*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>glFV</b> | <b>glEE</b> | <b>F</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------|----------------|
| Líneas                      | 3           | 38          | 2.23     | 0.1006         |
| Esquema                     | 4           | 38          | 5.69     | 0.0011         |
| líneas: esquema             | 12          | 38          | 1.25     | 0.0477         |

La Figura 38 muestra que la línea 21K16-0671 muestra una variabilidad en el rendimiento entre sus esquemas, con valores que van desde 8.97 hasta 9.95 toneladas por hectárea. El esquema 2 presenta el rendimiento más alto, mientras que el 1 muestra el valor más bajo dentro de esta variedad. Comparado con el testigo que tiene un rendimiento de 8.29 toneladas por hectárea, todos los esquemas de esta línea superan al testigo, destacando especialmente los esquemas 2 y 4.

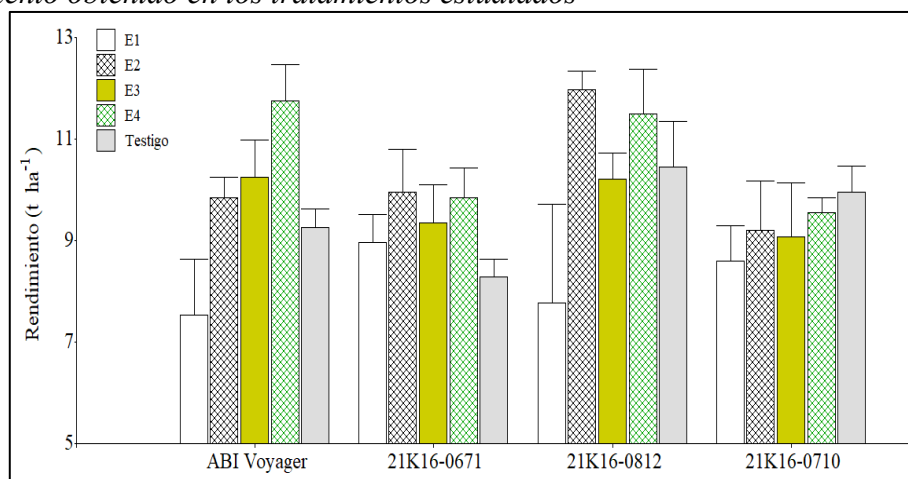


Por su parte, en línea 21K16-0710, el rendimiento varía entre 8.59 y 9.96 toneladas por hectárea. El E4 muestra el rendimiento más alto, mientras que E1 tiene el rendimiento más bajo. En general, los esquemas de esta variedad muestran un rendimiento competitivo, con todos los valores superiores al del testigo (9.96 toneladas por hectárea). Esto sugiere que esta línea podría ser una opción viable para mejorar el rendimiento comparado con el cultivo estándar.

La línea 21K16-0812 exhibe una notable variación en el rendimiento, con valores que van desde 7.77 hasta 11.98 toneladas por hectárea. El E2 muestra un rendimiento excepcionalmente alto, mientras que el E1 tiene el rendimiento más bajo entre las líneas evaluadas. Comparado con el testigo que tiene un rendimiento de 10.44 toneladas por hectárea, todos los esquemas de esta variedad muestran un rendimiento competitivo.

Finalmente, para la variedad ABI Voyager, el rendimiento varía entre 7.53 y 11.76 toneladas por hectárea. El E4 muestra el rendimiento más alto, mientras que el E1 tiene el rendimiento más bajo dentro de esta variedad. Aunque los esquemas superan el rendimiento del testigo (9.26 toneladas por hectárea), el E4 destaca por su rendimiento superior, sugiriendo un potencial prometedor para esta variedad en términos de productividad.

**Figura 38**  
*Rendimiento obtenido en los tratamientos estudiados*



Los resultados obtenidos en la presente investigación se contraponen a lo presentado por Correa (2024) en su ensayo titulado “Efecto del sistema de siembra sobre el comportamiento agronómico de la variedad ABI Voyager y nuevas líneas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) maltera en Chaltura – Imbabura”, quien obtuvo rendimientos menores a 5 toneladas por hectárea en la totalidad de sus tratamientos, a diferencia de los

presentados en la presente investigación, donde el 100% de los tratamientos superó esta cifra.

Según Basantes (2015), la producción media de cebada en Ecuador oscila entre 2.5 y 3.7 toneladas. Tomando en cuenta lo expresado se concluye que el 100% de los tratamientos presenta buena adaptabilidad y supera incluso al promedio nacional de producción.

#### **4.15. Severidad de roya (*Puccinia hordei*)**

Los resultados del análisis de varianza para datos no paramétricos con las pruebas de Friedman, indican que existe interacción entre los días de evaluación, los esquemas de fertilización y las líneas de cebadas evaluadas ( $T^2 = 65,45$ ,  $p < 0.0001$ ).

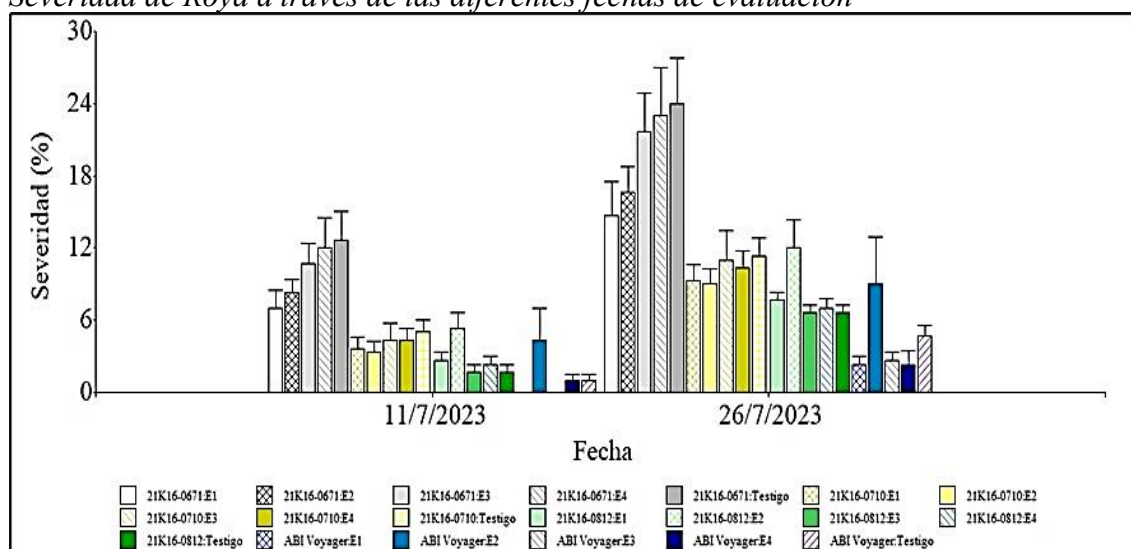
La Figura 39, misma que representa de manera grafica la evolución de la severidad de la enfermedad en los diferentes tratamientos evidencia que el ataque de roya no fue de mayor impacto, reflejado en que en ninguna situación el porcentaje de severidad superó el 30%.

A pesar de que se realizaron 5 evaluaciones con una diferencia de 15 días entre ellas, no fue sino hasta la fecha 11/7/2023 en donde la roya se hace evidente con la línea "21K16-0671", mostrando una tendencia creciente de severidad a medida que se avanza de E1 a E4 y alcanzando su punto más alto en el testigo. Esto coincide con los datos anteriores, indicando que la falta de fertilización (testigo) podría contribuir a una mayor susceptibilidad y gravedad de la enfermedad.

La línea "21K16-0710" presenta una menor severidad en comparación, lo que podría reflejar una resistencia intrínseca o una respuesta favorable a los esquemas de fertilización aplicados. Por otro lado, la línea "21K16-0812" muestra una severidad generalmente más baja, con excepción del esquema E2 que parece incrementar la severidad. Para la fecha 26/7/2023, la línea "21K16-0671" continúa mostrando un alto nivel de severidad en todos los esquemas, especialmente en el testigo. Interesantemente, "ABI Voyager" mantiene una baja severidad en todos sus tratamientos, sugiriendo una resistencia superior o una interacción positiva entre esta línea y los esquemas de fertilización empleados para contrarrestar la roya.

**Figura 39**

*Severidad de Roya a través de las diferentes fechas de evaluación*



Los resultados se oponen a los de Caluguillin (2023), misma que al evaluar 144 líneas de cebada en la época de abril-agosto del 2021 obtuvo un cultivo totalmente limpio, es decir presentó 0% de severidad de roya a lo largo del ciclo de cultivo, explicado en que previa a la siembra se realizó un tratamiento especial a la semilla, caso que en la presente investigación no se llevó a cabo.

Bolaños (2015), resalta cómo la aplicación de fertilizantes puede influir en la resistencia de las plantas a patógenos, con algunos esquemas de fertilización reduciendo la incidencia y severidad de enfermedades como la roya. Sin embargo, la variabilidad en la respuesta a la fertilización entre diferentes líneas de cultivo subraya la complejidad de la interacción entre la genética de la planta, la nutrición y el estrés biótico, tal como se ha documentado en la investigación de (Garrido, 2017).

#### **4.16. Análisis Económico**

##### **4.16.1. Costos de producción y relación B/C**

La tabla 21 correspondiente al análisis de costos de producción refleja el comportamiento que tuvieron los distintos tratamientos de manera monetaria, misma en la que podemos observar un comportamiento ascendente en el costo de producción, debido a que los esquemas de fertilización variaban en la dosificación de fertilizante (E1= sin fertilizante, E2=Esquema bajo de fertilización=menos uso de fertilizante...), de este modo observamos que el T5, T10, T15, T20 presentaron mayor costo de producción, puesto que en la tabla independiente del costo de producción, la parte variable en su gran mayoría se atribuyó al costo de fertilizante en función de la capacidad empleada.

Sin embargo, de manera general se puede observar que el tratamiento que produjo un mayor costo de producción fue el T5, con un costo de USD 1 753.30, mientras que por su parte el que menor costo de producción produjo fue el T6 con un costo de USD 1 142.30.

**Tabla 21**

*Análisis del costo de producción de los diferentes tratamientos*

| <b>Tratamiento</b> | <b>Rendimiento<br/>Kg/ha</b> | <b>Precio de venta<br/>(USD/Kg)</b> | <b>Beneficio<br/>total<br/>(USD)</b> | <b>Costo de<br/>producción<br/>(USD)</b> | <b>Relación<br/>B/C</b> |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|
| T1                 | 9 258.16                     | 0.77                                | 7 128.78                             | 1 195.30                                 | 5.96                    |
| T2                 | 7 525.85                     | 0.77                                | 5 794.90                             | 1 324.70                                 | 4.37                    |
| T3                 | 9 847.80                     | 0.77                                | 7 582.81                             | 1 446.58                                 | 5.24                    |
| T4                 | 10 249.86                    | 0.77                                | 7 892.39                             | 1 551.20                                 | 5.09                    |
| T5                 | 11 758.72                    | 0.77                                | 9 054.22                             | 1 753.30                                 | 5.16                    |
| T6                 | 8 289.16                     | 0.77                                | 6 382.65                             | 1 142.30                                 | 5.59                    |
| T7                 | 8 968.57                     | 0.77                                | 6 905.80                             | 1 403.00                                 | 4.92                    |
| T8                 | 9 947.67                     | 0.77                                | 7 659.71                             | 1 451.98                                 | 5.28                    |
| T9                 | 9 352.41                     | 0.77                                | 7 201.35                             | 1 503.10                                 | 4.79                    |
| T10                | 9 844.28                     | 0.77                                | 7 580.09                             | 1 650.00                                 | 4.59                    |
| T11                | 9 960.43                     | 0.77                                | 7 669.53                             | 1 233.10                                 | 6.22                    |
| T12                | 8 592.15                     | 0.77                                | 6 615.96                             | 1 382.40                                 | 4.79                    |
| T13                | 9 200.52                     | 0.77                                | 7 084.40                             | 1 411.68                                 | 5.02                    |
| T14                | 9 073.19                     | 0.77                                | 6 986.36                             | 1 488.10                                 | 4.69                    |
| T15                | 9 544.16                     | 0.77                                | 7 349.00                             | 1 633.80                                 | 4.5                     |
| T16                | 10 444.23                    | 0.77                                | 8 042.05                             | 1 258.90                                 | 6.39                    |
| T17                | 7 766.91                     | 0.77                                | 5 980.52                             | 1 337.70                                 | 4.47                    |
| T18                | 11 980.54                    | 0.77                                | 9 225.02                             | 1 561.68                                 | 5.91                    |
| T19                | 10 218.41                    | 0.77                                | 7 868.18                             | 1 550.20                                 | 5.08                    |
| T20                | 11 491.07                    | 0.77                                | 8 848.12                             | 1 739.10                                 | 5.09                    |

Al examinar los costos de producción, se constató una tendencia creciente a lo largo de los tratamientos, desde T1 hasta T20, indicando que las prácticas de fertilización más intensivas conllevaban mayores costos. No obstante, al relacionar dichos costos con la rentabilidad, se encontró que el tratamiento T16 fue el más rentable, con una relación beneficio-costos (B/C) de 6.39, sugiriendo una optimización de recursos en dicho tratamiento. En contraste, el tratamiento T2 fue el menos rentable, con un B/C de 4.37.

Sin embargo, según Zambrano et al. (2021), para que un negocio, proceso o venta sea rentable, su relación de beneficio costo debe ser superior a 1, de modo que se evidencia que en el presente estudio la totalidad de los tratamientos son rentables pues han producido ganancias incluso del 500% por cada dólar de inversión.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Una vez culminado el ensayo y realizado el análisis de los resultados, se determinó que todas las líneas presentaron un nivel de adaptación superior al medio. Aunque el tiempo hasta completar su ciclo productivo tiende a ser extenso, los resultados en cuanto a producción son alentadores. Sin embargo, se observó que la mayoría de los tratamientos presentaron macollamiento después de los 30 días, siendo los E2, E3 y E4 los que aceleraron este proceso. Por otro lado, aquellos sometidos a fertilización 0 (testigo) fueron los más tardíos. Esta tendencia se pierde al llegar a la madurez fisiológica, ya que independientemente de la línea de cebada utilizada, todos los esquemas de fertilización alcanzaron su última fase fenológica entre los 167 y 169 días, demostrando que durante todo el ciclo vegetativo tienden a estandarizar su desarrollo.
- El análisis de las variables relacionadas con el desarrollo del cultivo mostró que la altura de planta, el tamaño de la espiga y el número de granos por espiga no guardaron una relación directa. Las líneas ABI Voyager y 21K16-0812 destacaron por su mayor altura de planta, mientras que 21K16-0671 tuvo la espiga más larga, con ABI Voyager mostrando el menor rendimiento en este aspecto. En cuanto al número de granos por espiga, todas las líneas fueron consistentes, pero destacaron 21K16-0671, 21K16-0812 y 21K16-0710. En conjunto, 21K16-0671, especialmente bajo el esquema de fertilización 4, se presenta como la opción ideal en términos de estas variables.
- En términos de calidad, la línea 21K16-0812 mostró una notable consistencia en los resultados obtenidos. El esquema de fertilización 3 se destacó por ofrecer los mejores resultados en peso hectolítrico, peso de mil granos y porcentaje de granos enteros. Estos hallazgos indican que la combinación de la línea 21K16-0812 con el esquema de fertilización 3 es la opción más favorable para maximizar la calidad del cultivo.
- Finalmente, en términos de rentabilidad, se observó que todos los tratamientos generaron ganancias en la producción por hectárea. Sin embargo, los tratamientos T16 y T11 destacaron por presentar la mayor rentabilidad y ganancia económica,

correspondientes a las líneas 21K16-0812 y 21K16-0710, respectivamente. En conclusión, la línea 21K16-0812 cumple con los parámetros ideales en cuanto a desarrollo, calidad y rentabilidad económica para la zona y época en las que se realizó el ensayo. Estos resultados proporcionan una base sólida para futuras recomendaciones y prácticas agrícolas optimizadas en esta zona.

## **5.2. Recomendaciones**

- Es fundamental ajustar los esquemas de fertilización química para cada línea genética específica de cebada maltera, con el objetivo de maximizar tanto el rendimiento como la calidad del grano. La implementación de prácticas de fertilización debe centrarse en la mejora de parámetros de calidad, como el peso hectolítrico y el tamaño del grano, asegurando al mismo tiempo que se mantengan o aumenten los rendimientos.
- Además, se recomienda adoptar un enfoque de fertilización basado en la relación costo-eficacia, priorizando estrategias que maximicen el retorno sobre la inversión y la rentabilidad económica. Este enfoque no solo optimiza la producción, sino que también garantiza una gestión más eficiente de los recursos.
- Finalmente, es crucial proporcionar formación continua a los agricultores y manejadores de cultivos sobre las mejores prácticas de fertilización química. Esta formación debe incluir la interpretación de análisis de suelo, la aplicación precisa de fertilizantes y la evaluación del impacto en la salud del cultivo. Estas recomendaciones buscan no solo mejorar la producción y calidad del cultivo de cebada maltera, sino también asegurar la sostenibilidad económica y ambiental de las prácticas agrícolas empleadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albán, D., Calvache, M., y Garófalo, J. (2018). Absorción de nitrógeno durante el desarrollo del cultivo de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) Variedad metcalfe. Imbabura. *Revista Alfa*, 2(6), 169–179. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v2i6.48>
- Almache, A. (2020). *Efecto de la fertilización en cuatro variedades de cebada maltera Hordeum vulgare L. sobre los índices de calidad del grano* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24781/1/T-IASA I-005602.pdf>
- Basantes, E. (2015). *Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador* (D. Andrade (ed.); 1a ed.). Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Edición. <https://doi.org/10.1515/9783112646847-029>
- Bolaños, L. (2015). *Efectos de la aplicación de tres niveles de fertilización química y dos bioestimulantes radiculares del cultivo de cebada (Hordeum vulgare L.), en el cantón Mira, provincia del Carchi*. [Universiada Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/735/T-UTB-FACIAG-AGR-000139.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cajamarca, B., y Montenegro, P. (2015). *Selección de una línea promisorio de cebada (Hordeum vulgare L.) bio-fortificada de grano descubierto y bajo contenido de fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur Ecuatoriana* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS CEBADA.pdf>
- Calderón, J. O., Monterroso, A. I., y Gómez, J. D. (2015). Cambio climático en el centro de México: impacto en la producción de cebada (*Hordeum vulgare*) en Tlaxcala. *Ra Ximhai*, 37–48. <https://doi.org/10.35197/rx.11.01.e3.2015.02.jc>
- Caluguillin, E. (2023). *Evaluación Agronomica de 144 Lineas Primisoras de Cebada Maltera (Hordeum vulgare L.) en La Granja Experimental “La Pradera” Chaltura, Imbabura*. Universidad Técnica del Norte.
- Calvo, A. (2020). *Guía rápida para el cultivo de cebada*. Agroptima. <https://www.agroptima.com/es/blog/guia-rapida-para-el-cultivo-de-cebada/>
- Castañeda, M., López, C., Colinas, M., Moreno, J., y Hernández, A. (2009). Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia*, 34(4),



286–292.

- Castillo, L. (2020). *Adaptación De Setenta Y Dos Líneas Promisorias De Cebada Maltera (Hordeum vulgare L.) Accesión 02 – 2019 Abe Inbev En La Granja Experimental Tunshi, Cantón Riobamba*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Chalacan, D. (2023). *Respuesta agronómica del manejo fitosanitario de 18 líneas de cebada maltera (Hordeum vulgare L.) en la comunidad San Pedro, cantón Montúfar-Carchi*. Universidad Técnica del Norte.
- Chauca, L. (2023). *Efecto del sistema de siembra sobre el comportamiento agronómico de la variedad Abi Voyager y nuevas líneas mejoradas de cebada (Horedeum vulgare L.) maltera en Mira – Carchi*. Universidad Técnica del Norte.
- Chicaiza, J. (2018). *Producción y comercialización de la cebada (Hordeum vulgare L.) en la provincia del Carchi*. Universidad Técnica del Norte.
- Chicaiza, K. (2014). *Evaluación Del Efecto Del Fraccionamiento Del Nitrógeno Complementario En El Rendimiento Y Contenido De Proteína Del Grano Y Validación De Fungicidas Y Épocas De Aplicación Para El Control De Enfermedades En Cebada Cervecera (Hordeum Vulgare L) En El Lagu* [Universidad Estatal de Bolívar]. <https://dspace.ueb.edu.ec/bitstream/123456789/1125/1/107.pdf>
- Coronel, J., y Jiménez, C. (2011). *Guía Practica Para los Productores de Cebada de la Sierra Sur*.
- Correa, K. (2024). *Efecto del sistema de siembra sobre el comportamiento agronómico de la variedad ABI Voyager y nuevas líneas de cebada (Hordeum vulgare L.) maltera en Chaltura - Imbabura*. [Universidad Técnica del Norte]. [file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Tesis/Documentofinal/TesisFinal\\_CorreaKevin.pdf#page=25&zoom=100,137,586](file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Tesis/Documentofinal/TesisFinal_CorreaKevin.pdf#page=25&zoom=100,137,586)
- Falconi, E., Garofalo, J., Llangari, P., y Espinoza, M. (2010). *El Cultivo de Cebada: Guia para la producción artesanal de semilla de calidad*. <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- FAO. (2016). *Zadoks*. <https://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/zadoks.pdf>
- Flores, A. (2023). *Evaluación del Desempeño Agronomico y la Adaptabilidad en Tres*

*Variedades de cebada (Hordeum vulgare L.) en la Granja Experimental “La Pradera”, Chaltura, Imbabura.* Universidad Técnica del Norte.

Gad Parroquial La Libertad. (2024). *La Libertad*. <https://lalibertadeloro.gob.ec/>

Garófalo, J. (2012). *Extracción de Nutrientes por el Cultivo de Cebada*. Universidad Central del Ecuador.

Garófalo, J. A., Ponce, L. J., y Noroña, P. J. (2021). Incremento del rendimiento y calidad de grano en germoplasma mejorado de trigo (*Triticum aestivum L.*) del INIAP, en el año 2020. *Revista Alfa*, 5(14), 250–261. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.115>

Garrido, B. (2017). *Evaluación del Comportamiento Agronómico y Cinco Niveles de Fertilización en Dos Variedades de Cebada Maltera (Hordeum vulgare L.) en Tunshi, Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

Gilchrist, L., Fuentes, G., Martínez, C., López, R., Duveiller, E., Singh, R., Henry, M., y García, I. (2005). *Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada*. (Alma McNab (ed.); Segunda). <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/0a366441-0e0f-4373-96ba-d8cb804b7b8f/content>

Hernández, S. (2009). *Identificación de Mega-Ambientes y Genotipos Ideales de Cebada Basado en Veintisiete Años de Datos de Rendimiento en Localidades de Todo el Mundo* [Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/1619/Hernández\\_Segundo\\_E\\_DC\\_Genetica\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/1619/Hernández_Segundo_E_DC_Genetica_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC]. (2022). *Cebada*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaWJkMTM2M4Y2UtNmYwOS00MDk1LWlxYzgtNmVkMzM5ODMzODNliiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWMtNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTEyExMiJ9ypageName=ReportSection5b660c865b9de068070e>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2021). *Informe anual 2021*.

Lema, A. C., Basantes, E. R., y Pantoja, J. L. (2016). Producción de cebada (*Hordeum vulgare L.*) con urea normal y polimerizada en Pintag, Quito, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 97. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22705>

- León, R., Bonifaz, N., y Gutierrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas* (Editorial).
- Merino, H., y Luzuriaga, G. (1966). *Influencia de la densidad de siembra y de la fertilización en el cultivo de tres Cereales en Santa Catalina*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/437/1/iniapscbt61i.pdf>
- Orcellet, J., Reussi, N., Echeverría, H., Rozas, H., Diovisalvi, N., y Berardo, A. (2015). Eficiencia del uso de nitrógeno en Cebada en el sudeste Bonaerense: Efecto de Aplicaciones Divididas. *Ciencia del suelo*, 33(1).
- Orrala, K. (2020). *Valoración Agronómica De 120 Líneas Promisoras De Cebada Cervecera En El Azúcar – Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Ozca, L. (2013). *Cultivos Herbáceos Extensivos: Cereales* (1a ed.). Agronomía, Hidráulica y Medio Natural.
- Ponce, L., Abad, S., Garófalo, J., y Falconí, E. (2009). *Guía para la producción artesanal de semilla de cereales*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2627/1/iniapscpl310.pdf>
- Ponce, Luis, Garofalo, J., Campaña, D., y Noroña, P. (2019). *Parámetros de Evaluación y Selección en Cereales* (Número 111). <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5391>
- Ponce, Luis, Garofalo, J., Velásquez, J., Noroña, P., y Jiménez, C. (2022). *Manual para la producción sostenible de cebada en la Sierra ecuatoriana* (Unidad de Comunicación Social INIAP (ed.)). INIAP.
- Ponce, Luis, Noroña, P., Campaña, D., Garófalo, J., Coronel, J., Jiménez, C., y Cruz, E. (2019). La cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana. En *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias* (Número 116). [https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5587/2/Manual 116 La cebada.pdf](https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5587/2/Manual%20116%20La%20cebada.pdf)
- Rodríguez, M. F., González, M., Huerta, J., y Solano, S. (2021). Fungicides evaluation against yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. hordei) in six barley cultivars. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 39(3). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-5>

- Ruiz, T. (2017). *Determinación de la floración en una población de cebada (Hordeum vulgare L.) bajo condiciones mediterráneas y sus implicaciones agronómicas*. Universidad de Leon.
- Sánchez, R. (2023). *Respuesta agronomica de 18 líneas de cebada maltera (Hordeum vulgare L.) con manejo fitosanitario en la Granja Experimental La Pradera, Chaltura-Imbabura*. Universidad Técnica del Norte.
- Acuerdo Nro. 2014 - 076, Pub. L. No. 2014-076, 30 (2020).  
<https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/ACUERDO-2014-076.pdf>
- Torres, H., y Lazcano, L. (2013). *Disminucion de acame y aumento de rendimiento de cebada en nutrición balanceada*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Velasco, Y., Sana, W., y Morillo, A. (2020). Caracterización agromorfológica de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Municipio de Chivatá Boyacá, Colombia. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 103.  
[https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)103-116](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)103-116)
- Velazco, Y., Sana, W., y Morillo, A. (2020). Caracterización agromorfológica de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Municipio de Chivatá Boyacá, Colombia. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 103.  
[https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)103-116](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)103-116)
- Wonneberger, R. (2020). *Roya de la hoja de la cebada (Puccinia hordei)*. Herbario virtual de Fitopatología.
- Zambrano, F. J., Rivera, C. I., Quimi, D. I., y Flores, E. J. (2021). Factores explicativos de la rentabilidad de las microempresas: Un estudio aplicado al sector comercio. *INNOVA Research Journal*, 6(3.2), 63–78.  
<https://doi.org/10.33890/innova.v6.n3.2.2021.1974>

## ANEXOS

### Anexo 1

*Toma de muestra para el análisis de suelo posterior*



## Anexo 2

*Área de suelo preparada previa a la siembra*



## Anexo 3

*Delimitación de unidades experimentales*



#### Anexo 4

##### *Preparación de dosis para fertilización inicial*



#### Anexo 5

##### *Delimitación de subáreas dentro de la parcela*



## Anexo 6

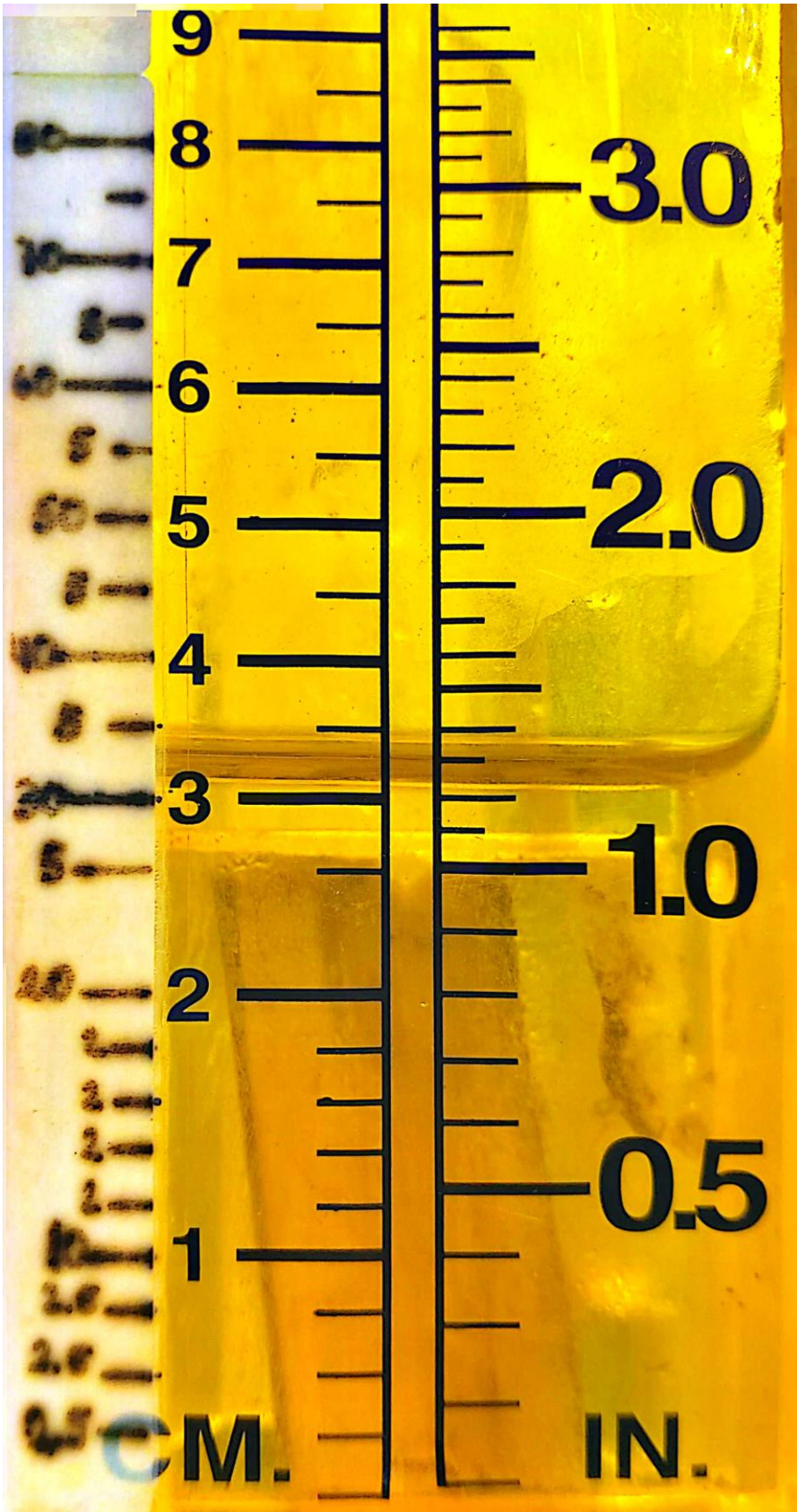
### *Cultivo en etapa de emergencia*





Anexo 7

*Recolección de precipitación con ayuda de pluviómetro*



## Anexo 8

### *Cultivo de cebada en etapa de macollamiento*



## Anexo 9

### *Cebada en etapa de embuchamiento*



## Anexo 10

### *Evaluación de severidad de enfermedades*



## Anexo 11

### *Rotulado del área de ensayo*



## Anexo 12

### *Primeras espigas del cultivo de cebada*



### **Anexo 13**

*Visita de campo correspondiente a la segunda reunion cientifica*



### **Anexo 14**

*Control fúngico*



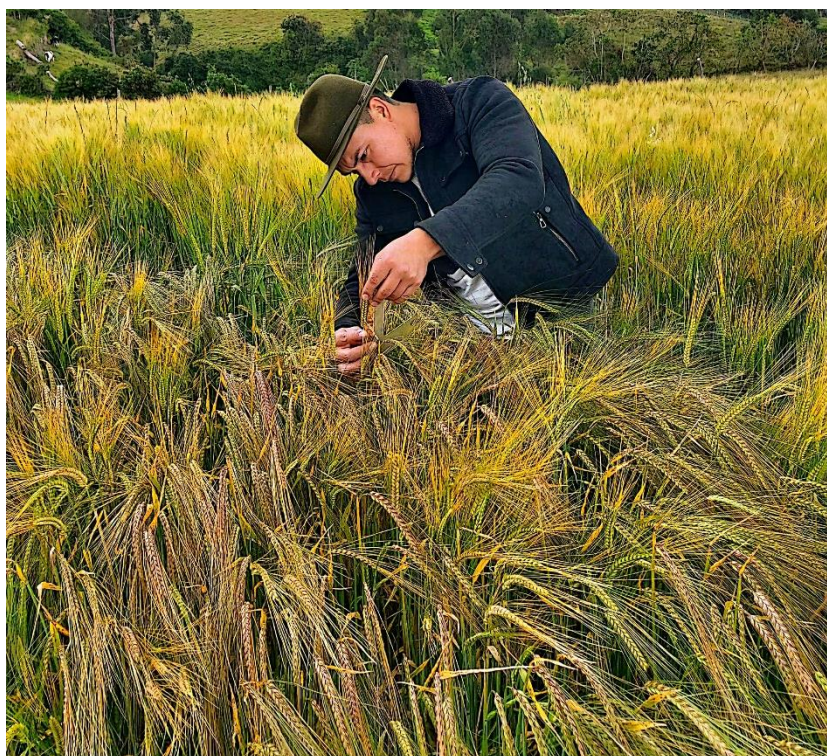
## **Anexo 15**

### *Evaluación de variables agronómicas*



## **Anexo 16**

### *Evaluación de Altura de planta*



**Anexo 17**

*Visita por parte de ingenieros*



## Anexo 18

### *Cosecha manual de cebada*





**Anexo 19**

*Trillado*



# Anexo 20

## Análisis de suelo de la zona de La Libertad

| MC-LASPA-2201-01   |        | <b>INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b><br>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA<br>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS<br>Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.<br>Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240<br>Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec |          |       |           |        |          |          |          |         |                |     |     |   |      |         |          |      |       |              |      |         |                |                |  |  |                               |
|--|--------|--|----------|-------|-----------|--------|----------|----------|----------|---------|----------------|-----|-----|---|------|---------|----------|------|-------|--------------|------|---------|----------------|----------------|--|--|-------------------------------|
| <b>INFORME DE ENSAYO No: 23-0098</b>   |        |  |          |       |           |        |          |          |          |         |                |     |     |   |      |         |          |      |       |              |      |         |                |                |  |  |                               |
| <b>NOMBRE DEL CLIENTE:</b> Mera Chones Gonzalo Xavier<br><b>PETICIONARIO:</b> Mera Chones Gonzalo Xavier<br><b>EMPRESA/INSTITUCIÓN:</b> Mera Chones Gonzalo Xavier<br><b>DIRECCIÓN:</b> Riobamba |        |  |          |       |           |        |          |          |          |         |                |     |     | <b>FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 16/03/2023<br><b>HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 13:53<br><b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 20/03/2023<br><b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 29/03/2023<br><b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> SUELO 1+ MO. |      |         |          |      |       |              |      |         |                |                |  |  |                               |
| Análisis   | Ph     |  | N        | P     | S*        | B*     | K        | Ca       | Mg       | Zn*     | Cu*            | Fe* | Mn* | Ca/Mg   | Mg/K | Ca+Mg/K | Σ Bases  | MO   | CO.*  | Textura (%)* |      |         | IDENTIFICACIÓN |                |  |  |                               |
|  | Unidad |  | ppm      | ppm   | ppm       | ppm    | meq/100g | meq/100g | meq/100g | ppm     | ppm            | ppm | ppm |   |      |         | meq/100g | %    | %     | Arena        | Limo | Arcilla |                | Clase Textural |  |  |                               |
| 23-0577  | 5,50   | Ac   | 261,26   | A     | 159,06    | A      |          |          |          |         |                |     |     |   |      |         | 7,24     | 1,32 | 10,89 | 22,38        | 9,81 | A       |                |                |  |  | Muestra 23001<br>Jorge Quelal |
| Análisis   | Al+H*  | Al*  | Na*      | C.E.* | N. Total* | N-NO3* | K H2O*   | P H2O*   | Cl*      | pH KCl* | IDENTIFICACION |     |     |   |      |         |          |      |       |              |      |         |                |                |  |  |                               |
|  | ppm    | ppm  | meq/100g |       | %         | ppm    | meq/100g | ppm      | ppm      |         |                |     |     |   |      |         |          |      |       |              |      |         |                |                |  |  |                               |

**OBSERVACIONES:** \* Ensayos no solicitados por el cliente

| METODOLOGIA USADA        |               |                  |  |
|--------------------------|---------------|------------------|--|
| pH = Suelo: Agua (1:2,5) | P K Ca Mg =   | Obsen Modificado |  |
| S,B = Fosfato de Calcio  | Cu Fe Mn Zn = | Obsen Modificado |  |
|                          | B =           | Curcumina        |  |

| INTERPRETACION     |                      |           |
|--------------------|----------------------|-----------|
| pH                 | Elemento             |           |
| Ac = Acido         | N = Neutro           | B = Bajo  |
| LAc = Liger. Acido | LAl = Lige. Alcalino | M = Medio |
| PN = Prac. Neutro  | Al = Alcalino        | A = Alto  |
| RC = Requieren Cal | T = Tóxico (Boro)    |           |

| ABREVIATURAS |                         |  |
|--------------|-------------------------|--|
| CE =         | Conductividad Eléctrica |  |
| M.O. =       | Materia Orgánica        |  |

| METODOLOGIA USADA |                      |  |
|-------------------|----------------------|--|
| C.E. =            | Pasta Saturada       |  |
| M.O. =            | Dicromato de Potasio |  |
| AHH =             | Tibulación NaOH      |  |

LABORATORISTA

JOSE ALONSO LUCERO  
MALATAY

| INTERPRETACION |                  |                 |            |
|----------------|------------------|-----------------|------------|
| Al+H,Al y Na   | C.E.             |                 | M.O y Cl   |
| B = Bajo       | NS = No Salino   | S = Salino      | B = Bajo   |
| M = Medio      | LS = Lig. Salino | MS = Muy Salino | M. = Medio |
| T = Tóxico     |                  |                 | A = Alto   |

RESPONSABLE DE LABORATORIO

IVAN RODRIGO SAMANIEGO MALIGUA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo  
 NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.  
 \* Opiniones de interpretación ,etc,que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.