UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma

Autor:
Chiluisa Astudillo Yadira Aracely

Tutor:
Chancusig Francisco Hernán

Co Tutor:
Garófalo Sosa Javier Alberto

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Chiluisa Astudillo Yadira Aracely, con cédula de ciudadanía No. 1753125317, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO",** siendo el Ingeniero Mg. Chancusig Francisco Hernán, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Yadira Aracely Chiluisa Astudillo
C.C: 1753125317
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CHILUISA ASTUDILLO YADIRA ARACELY**, identificada con cédula de ciudadanía **1753125317** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum L.*) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: septiembre 2019 - febrero 2020

Finalización de la carrera: abril 2026 - agosto 2026

Tutor: Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.

Tema: **"EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- La publicación del trabajo de grado.
- La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de agosto del 2026.

Yadira Aracely Chiluisa Astudillo	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

"EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO", de Chiluisa Astudillo Yadira Aracely, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.
C.C: 0501883920
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Chiluisa Astudillo Yadira Aracely, con el título del Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 3 de agosto del 2026

Ing. Karina Paola Marín Quevedo, Mg.
C.C: 0502672934
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa, PhD.
C.C: 0501645568
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Emerson Javier Jácome Mogro, PhD.
CC: 0501974703
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre Fanny Astudillo por su apoyo en todo momento, sus consejos y su amor incondicional, por enseñarme a perseverar aún en los momentos más difíciles y fue mi pilar fundamental para alcanzar esta meta. A mi hija Cristal, quien fue mi inspiración, mi motivación y me dio las fuerzas necesarias para lograrlo. A mis hermanos Daniel y Bryan por estar siempre a mi lado apoyándome constantemente y nunca dejarme sola.

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas de sus instalaciones para poder prepararme profesionalmente, por brindarme sus valiosas enseñanzas a lo largo de toda mi formación académica.

Manifiesto mi más sincero y profundo agradecimiento a la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), en especial al Programa de Cereales por permitirme demostrar de una u otra manera mis habilidades a través de este proyecto. Quiero mencionar al Ing. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña, Sra. Rosita y a la Sra. Mary por compartirme sus valiosos conocimientos, sus consejos, su apoyo incondicional, su respaldo y orientación que fueron indispensables para culminar con éxito este proyecto.

Quiero expresar también mi agradecimiento al Ing. Francisco Chancusig, mi tutor de tesis, por su orientación, paciencia y sus valiosos aportes que me permitieron mejorar la calidad de este proyecto. ¡Gracias a todos!

Yadira Aracely Chiluisa Astudillo

DEDICATORIA

Este trabajo de Titulación está dedicado, en primer lugar, a mi madre Fanny Astudillo por ser mi fortaleza, mi guía y el mayor ejemplo de amor y perseverancia. Gracias por enseñarme a luchar por mis sueños, por creer en mí y por acompañarme con tu apoyo incondicional en cada etapa de este camino, especialmente en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Daniel y Bryan, por su cariño, sus palabras de aliento y por recordarme que nunca estoy sola. Su apoyo y confianza han sido una motivación constante para seguir adelante y alcanzar esta meta.

A mi hija, Cristal, la razón más hermosa e importante de mi vida. Este logro también es para ti, espero que este logro te recuerde siempre que, con dedicación, perseverancia y amor, es posible cualquier obstáculo y alcanzar las metas que nos proponemos.

Con todo mi amor y profunda gratitud, dedico este logro a ustedes, quienes han sido mi inspiración y el motor que me impulso a alcanzar esta importante meta.

Yadira Aracely Chiluisa Astudillo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE LA VARIEDAD DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 EN DOS TIPOS DE SUELO (FRANCO Y ARENOSO) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"

Autor:
Chiluisa Astudillo Yadira Aracely

RESUMEN

El trigo (Triticum aestivum L.) es un cereal muy importante a nivel mundial debido a su alto consumo humano y animal. En Ecuador este cultivo es relevante para el sustento económico de los productores. Sin embargo, la sequía como efecto del cambio climático se ha convertido en un factor limitante en la producción de este cereal. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la tolerancia a la sequía de la nueva variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIAP YURAK 2024 en dos tipos de suelo (franco y arenoso) y cuatro contenidos de humedad de suelo bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron 8 tratamientos con 4 repeticiones bajo un diseño de parcelas divididas con un total de 32 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: días al espigamiento, altura de la planta, longitud de la espiga, número de granos por espiga, número de macollos, número de espigas, peso de materia seca, peso de espiga, tipo y color del grano, rendimiento y pérdida de rendimiento, Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente con el software InfoStat. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, se realizó el análisis de varianza (ADEVA) y las pruebas de Tukey al 5% y Fisher (LSD). Los resultados mostraron que el tipo de suelo no influyó significativamente en la altura de planta y rendimiento de la variedad INIAP-YURAK 2024. Se concluye que la variedad presentó una buena adaptación tanto al suelo franco como al arenoso; sin embargo, una adecuada disponibilidad de agua es esencial para alcanzar un mejor desempeño agronómico y productivo.

Palabras clave: Trigo, tolerancia, sequía, variedad, INIAP YURAK 2024.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "EVALUATION OF THE DROUGHT TOLERANCE OF THE WHEAT VARIETY (Triticum aestivum L.) INIAP-YURAK 2024 IN TWO SOIL TYPES (LOAM AND SANDY) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS."

Author:
Chiluisa Astudillo Yadira Aracely

ABSTRACT

Wheat (Triticum aestivum L.) is a very important cereal worldwide due to its high consumption by humans and animals. In Ecuador, this crop is crucial to the economic livelihood of farmers. However, drought—a consequence of climate change—has become a limiting factor in the production of this cereal. The objective of this study was to evaluate the drought tolerance of the new wheat variety (Triticum aestivum L.) INIAP YURAK 2024 in two soil types (loam and sandy) and four soil moisture levels under greenhouse conditions. Eight treatments with four replicates were evaluated using a split-plot design, resulting in a total of 32 experimental units. The variables evaluated were: days to heading, plant height, spike length, number of grains per spike, number of tillers, number of spikes, dry matter weight, spike weight, grain type and color, yield, and yield loss. The data obtained were statistically analyzed using InfoStat software. The assumptions of normality and homogeneity of variances were first verified using the Shapiro-Wilk and Levene tests; analysis of variance (ANOVA) was performed, followed by Tukey's test at the 5% level and Fisher's LSD test. The results showed that soil type did not significantly influence plant height and yield of the INIAP-YURAK 2024 variety. It is concluded that the variety adapted well to both loam and sandy soils; however, adequate water availability is essential for achieving better agronomic and yield performance.

KEYWORDS: Wheat, Tolerance, Drought, INIAP YURAK 2024 variety.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....**¡Error! Marcador no definido.**

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....iii

AVAL DE TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**¡Error! Marcador no definido.**

AGRADECIMIENTO.....vii

DEDICATORIA.....viii

RESUMEN.....ix

ABSTRACT x

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....xi

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....xvii

ANEXOS.....xvii

GRÁFICO.....xvii

ÍNDICE DE TABLAS.....xvii

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 1

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 3

4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....3

5. OBJETIVOS:.....4

a. Objetivo General.....4

b. Objetivos Específicos: 4

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....4

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....6

7.1. Origen 6

7.2. Importancia del trigo 7
7.3. Distribución Geográfica 7
7.4. Características Botánicas 7
7.4.1. Grano de trigo 7
7.4.2. Espiga 7
7.4.3. Hoja 8
7.4.4. Tallo 8
7.4.5. Inflorescencia 8
7.4.6. Flores 9
7.4.7. Sistema radicular 9
7.5. Clasificación Taxonómica 9
7.6. Ciclo vegetativo 10
7.7. Etapas fenológicas 10
7.7.1. Germinación 10
7.7.2. Ahijamiento 11
7.7.3. Encañado 11
7.7.4. Espigado 11
7.7.5. Floración 11
7.7.6. Maduración 11
7.8. Requerimiento climáticos y edáficos 12
7.8.1. Altitud 12
7.8.2. Suelo 12
7.8.3. Precipitación 12
7.8.4. Temperatura 12
7.8.5. pH 12
7.9. Factores bióticos que afectan el cultivo de trigo 13
7.9.1. Enfermedades 13

7.9.2. Plagas 14
7.10. Factores abióticos que afectan el cultivo de trigo 15
7.10.1. Sequía 15
7.10.2. Requerimiento hídrico del trigo 15
7.10.3. Estrés hídrico 15
7.10.4. Capacidad de Campo (CC) 16
7.10.5. Tolerancia 16
7.11. Manejo del cultivo 16
7.11.1. Semillas 16
7.11.2. Preparación del suelo 16
7.11.3. Selección de un buen sustrato 17
7.11.4. Siembra 17
7.11.5. Fertilización 17
7.11.6. Control de malezas 17
7.11.7. Desmezcla 18
7.11.8. Cosecha 18
7.11.9. Trilla 18
7.11.10. Labores poscosecha 19
7.11.11. Almacenamiento 19
7.11.12. Parámetros de calidad de grano 20
7.12. VARIABLES AGRONÓMICAS Y MORFOLÓGICAS 20
7.12.1. Días al espigamiento 20
7.12.2. Altura de la planta 20
7.12.3. Longitud de la espiga 20
7.12.4. Número de granos por espiga 21
7.12.5. Número de macollos 21
7.12.6. Número de espigas 21

7.12.7. Peso de la espiga 21
7.12.8. Rendimiento 21
7.12.9. Peso de materia seca 22
7.12.10. Tipo y color del grano 22
7.12.11. Pérdida de rendimiento 22
7.12.12. Variedad 23
7.12.13. Variedad Mejorada 23
7.12.14. Variedad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) 23
7.13. Características de los suelos 26
7.13.1. Suelo Franco 26
7.13.2. Suelo Arenoso 27
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS 29
8.1. Pregunta de investigación 29
8.2. Hipótesis Alternativa 29
8.3. Hipótesis Nula 29
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL 29
9.1. Área de Estudio 29
Tabla 11. *Características del área de estudio* 29
9.2. Tipo de investigación 30
9.2.1. Experimental 30
9.2.2. Cuantitativa 30
9.3. Especificaciones del campo experimental 31
9.3.1. Diseño Experimental 31
9.3.2 Esquema de ADEVA 31
Tabla 12. *Esquema de ADEVA para diseño de parcelas divididas (DPD)* 31
9.3.3. Variables 32
Tabla 13. *Variables independientes y dependientes* 32

9.3.4. Factores en estudio 33
9.3.5. Tratamientos 34
Tabla 14. *Tratamientos, tipos de suelo y humedad del suelo* 34
9.4. Distribución de la parcela experimental y neta 34
9.4.1. Especificaciones del Campo Experimental 35
9.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 35
9.5.1. Observación visual del invernadero 35
9.5.2. Selección de muestras 36
9.5.3. Registro de datos 36
9.5.4. Análisis estadístico 36
9.5.5. Fisher LSD 36
9.5.6. Análisis de la varianza (ANOVA) 36
9.5.7. Cuadro Descriptivo 36
9.5.8. Prueba de Shapiro -Wilk 37
9.5.9. Prueba de Levene 37
9.6. Metodología del experimento 37
9.6.1. Adecuación del Experimento 37
9.6.2. Utilización de semillas 38
9.6.3. Preparación del sustrato 38
9.6.4. Instalación del ensayo dentro del invernadero 38
9.6.5. Fertilizante 38
9.6.6. Siembra 38
9.6.7. Riego 39
9.6.8. Control de malezas 39
9.6.9. Aplicación de Urea 39
9.6.10. Monitoreo y evaluación de variables 39
9.6.11. Cosecha y trilla 40

9.7. Variables 40
9.7.1. Días al espigamiento 40
9.7.2. Altura de la planta 40
9.7.3. Longitud de la espiga 40
9.7.4. Peso de la espiga 40
9.7.5. Número de granos por espiga 40
9.7.6. Rendimiento 41
9.7.7. Peso de materia seca 41
9.7.8. Tipo y color del grano 41
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 41
10.1. Medidas de resumen 41
10.1.1. Días al espigamiento 41
10.1.2. Altura de planta 43
10.1.3. Longitud de la espiga 45
10.1.4. Número de granos por espiga 47
10.1.5. Número de macollos 49
10.1.6. Número de espigas 52
10.1.7. Peso de la espiga 54
10.1.8. Rendimiento 56
10.1.9. Materia seca 59
10.1.10. Tipo y color del grano 61
10.1.11. Pérdida de rendimiento 63
10.1.12. Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de las variables agronómicas 64
10.1.13. Resumen de tablas de las variables por el tipo de suelo 65
10.1.14. Resumen de tablas de las variables por la humedad del suelo 65
11. CONCLUSIONES 66

12. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO 68
13. RECOMENDACIONES 70
14. BIBLIOGRAFÍA 70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución de la parcela experimental en invernadero..... 34

ANEXOS

Anexo 1. Análisis del Suelo Franco y Arenoso. 30
Anexo 2. Mapa del área de estudio 30

GRÁFICO

Gráfico 1. Pérdida del rendimiento relativo de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 bajo diferentes niveles de humedad del suelo 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Actividades y sistema de tareas con relación a los objetivos planteados* 5
Tabla 2. *Clasificación Taxonómica* 9
Tabla 3. *Periodos del ciclo vegetativo*..... 10
Tabla 4. *Parámetros de calidad de grano* 20
Tabla 5. *Escala de evaluación para tipo de grano en trigo* 22
Tabla 6. *Características morfológicas* 24
Tabla 7. *Características agronómicas*..... 24
Tabla 8. *Características de calidad proximal* 25
Tabla 9. *Características de calidad físicas* 25
Tabla 10. *Zonificación*..... 26
Tabla 11. *Características del área de estudio*..... 29

Tabla 12. *Esquema de ADEVA para diseño de parcelas divididas (DPD)* 31

Tabla 13. *Variables independientes y dependientes* 32

Tabla 14. *Tratamientos, tipos de suelo y humedad del suelo* 34

Tabla 15. *Promedio de días al espigamiento por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 42

Tabla 16. *Promedio para Humedad de suelo en días al espigamiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 42

Tabla 17. *ADEVA para altura de planta a la cosecha en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 43

Tabla 18. *Promedio de altura de planta por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 44

Tabla 19. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo en altura de planta en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 44

Tabla 20. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para altura de la planta en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 45

Tabla 21. *ADEVA para longitud de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 45

Tabla 22. *Promedio para longitud de la espiga por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.* 46

Tabla 23. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para longitud de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 46

Tabla 24. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para longitud de la espiga en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 47

Tabla 25. *ADEVA para la variable número de granos por espiga en estudio de la tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 47

Tabla 26. *Promedio de número de granos por espiga por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 48

Tabla 27. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo en número de granos por espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* .48

Tabla 28. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para número de granos por espiga en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 49

Tabla 29. *ADEVA para número de macollos en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....50

Tabla 30. *Promedio de número de macollos por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.* 50

Tabla 31. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo en número de macollos en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....51

Tabla 32. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para número de macollos en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....51

Tabla 33. *ADEVA para número de espigas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....52

Tabla 34. *Promedio para número de espigas por tipo de suelo para número de espigas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.* 52

Tabla 35. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad del suelo en número de espigas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....53

Tabla 36. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para número de espigas en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....54

Tabla 37. *ADEVA para peso de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....54

Tabla 38. *Promedio para peso de la espiga por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.* 55

Tabla 39. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para peso de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*.....55

Tabla 40. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para peso de la espiga en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 56

Tabla 41. *ADEVA para el rendimiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 57

Tabla 42. *Promedio para el rendimiento por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.* 57

Tabla 43. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para el rendimiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 58

Tabla 44. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para el rendimiento en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 58

Tabla 45. *ADEVA para la materia seca en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 59

Tabla 46. *Promedio para la materia seca por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.* 60

Tabla 47. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para la materia seca en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 60

Tabla 48. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para la materia seca en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 61

Tabla 49. *Tipo, color y forma del grano de trigo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 61

Tabla 50. *Escala y descripción del grano de trigo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 62

Tabla 51. *Pérdida del rendimiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 63

Tabla 52. *Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de las variables agronómicas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 64

Tabla 53. *Tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 65

Tabla 54. *Humedad de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.* 66

Tabla 55. *Presupuesto del proyecto* 68

Tabla 56. *Financiamiento* 69

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Título del Proyecto:

"Evaluación de la tolerancia a la sequía de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 en dos tipos de suelo (franco y arenoso) bajo condiciones de invernadero".

Fecha de inicio: Julio 2025

Fecha de finalización: Julio 2026

Lugar de ejecución:

Estación Experimental Santa Catalina INIAP - Cutuglagua - Mejía - Pichincha - Zona 3 - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP- Estación Experimental Santa Catalina

Carrera que auspicia: Ingeniería Agronómica

Equipo de trabajo:

Tutor: Ing. Francisco Hernán Chancusig Mg.

Co tutor: Ing. Javier Alberto Garófalo Sosa, Mg.

Lector 1: Ing. Karina Paola Marín Quevedo, Mg.

Lector 2: Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa, PhD.

Lector 3: Ing. Emerson Javier Jácome Mogro, PhD.

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Yadira Aracely Chiluisa Astudillo

Teléfono: 0961432870

Correo electrónico: yadira.chiluisa5317@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura, Silvicultura y pesca

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

Línea de vinculación de la carrera:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

Convenio:

El trabajo de investigación se sustenta en el convenio de colaboración interinstitucional UTC-INIAP Estación Experimental Santa Catalina.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cambio climático ha provocado una mayor variabilidad en las precipitaciones y un incremento en la frecuencia e intensidad de los períodos de sequía afectando la productividad de los cultivos agrícolas. Incremente la incidencia de enfermedades, la supervivencia de plagas e influye en la productividad de los cultivos. Según khan et al., (2020), la productividad de los cultivos agrícolas depende de factores bióticos (enfermedades y plagas) y abióticos (calor, sequía y salinidad). En el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), el déficit hídrico constituye uno de los principales factores limitantes del crecimiento y rendimiento, especialmente durante las etapas críticas de desarrollo (Ghanem & Al-Farouk, 2024).

En Ecuador, el trigo representa un cultivo de importancia económica y alimentaria; sin embargo, la disponibilidad de agua para su producción es cada vez más limitada. Así mismo, las propiedades físicas del suelo influyen directamente en la disponibilidad de agua para las plantas. Los suelos francos poseen una mayor capacidad de retener humedad en comparación con el suelo arenoso, por lo que la respuesta del cultivo puede variar entre ambos significativamente. Por esta razón la evaluación de la tolerancia a la sequía en diferentes tipos de suelo permitirá identificar las condiciones más favorables para el desarrollo de este cultivo.

El siguiente proyecto de investigación "Evaluación de la tolerancia a la sequía de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 en dos tipos de suelo (franco y arenoso) bajo condiciones de invernadero" tiene como objetivo evaluar si es resistente a la sequía por medio de su comportamiento agronómico al estar expuesto a ambientes de estrés hídrico en dos tipos de suelo (franco y arenoso). La información recopilada facilitará para programas de mejora genética ya que se puede realizar cruzamientos que desarrollen nuevas variedades de trigo resistente a la sequía, plagas y enfermedades.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Beneficiarios directos

Los principales beneficiarios de la siguiente investigación son la Universidad Técnica de Cotopaxi y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) – Estación Experimental Santa Catalina.

Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos de la siguiente investigación incluyen a los agricultores, instituciones públicas y asociaciones de productores agrícolas vinculadas a la Estación Experimental Santa Catalina al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El trigo (*Triticum aestivum L.*) es unos de los cereales más significativos a nivel mundial por su uso tanto en la alimentación humana como animal, ya que aporta un alto valor nutritivo, rico en proteínas, minerales y vitaminas El trigo constituye una parte fundamental en la dieta básica, el contenido de proteína del trigo cultivada comercialmente varia en un rango del 6-16%, la harina de trigo se emplea para la elaboración de pan, fideos, galletas, entre otros productos presentes en la mesa de las familias, así mismo, el trigo es materia prima para la producción de etanol por su cantidad de almidón (Amado, 2021).

A nivel mundial el país productor en el año 2024 fue China con 134.26 millones de trigo, seguido por la India, Rusia, Estados Unidos, Canadá, Francia, Pakistán, Ucrania, Alemania y Turquía. En el ranking mundial, México se posicionó en el trigésimo tercer lugar, con una producción de 2,986,689 de trigo (Ramirez, 2022).

En el Ecuador la producción de trigo se concentra principalmente en la región Interandina entre los 2000 y 3200 m.s.n.m. Las provincias con mayor producción son Carchi que cuenta con 1,609 ha sembradas de trigo, Bolívar registra alrededor de 1,164 ha de cultivo de trigo, Chimborazo cuenta con 759 ha sembradas, Pichincha registra 503 ha cultivadas e Imbabura que posee 192 ha sembradas (Pozo, 2024).

Los datos de la encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) del INEC muestra que el trigo representa una pequeña fracción de los cultivos transitorios del Ecuador. En los últimos años, la superficie sembrada ha oscilado alrededor de 4,000 a 6,000 ha, con una producción aproximada de 8,000 a 12,000 toneladas anuales, dependiendo de las condiciones climáticas y del rendimiento alcanzado en cada campaña agrícola (INEC 2024).

Sin embargo, la producción de este cultivo se ve afectado por diversos factores ambientales, especialmente la sequía ya que es una de las principales limitantes para su desarrollo y rendimiento. La disponibilidad de agua en varias regiones agrícolas se ha vuelto más inestable como consecuencia al cambio climático, lo que genera la necesidad de identificar y evaluar variedades que posean una mayor capacidad de adaptación y tolerancia a condiciones de estrés hídrico (Sourour et al., 2017).

Esta investigación es necesaria, porque al evaluar la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024, por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) bajo condiciones de invernadero, nos permitirá e identificar su tolerancia a diferentes niveles de estrés hídrico por medio de su comportamiento agronómico en dos tipos de suelo (franco y arenoso).

5. OBJETIVOS:

a. Objetivo General

- Evaluar la tolerancia a la sequía de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 en dos tipos de suelo (franco y arenoso) bajo condiciones de invernadero.

b. Objetivos Específicos:

- Identificar el comportamiento agronómico de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 bajo el estrés hídrico.
- Determinar el rendimiento de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) evaluada en dos tipos de suelo (franco y arenoso), bajo condiciones de estrés hídrico.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

En la Tabla 1 presenta las actividades y el sistema de tareas establecidos para el cumplimiento de los objetivos específicos de la investigación, en ella se detallan las actividades, resultados de la actividad y los medios de verificación.

Tabla 1. *Actividades y sistema de tareas con relación a los objetivos planteados*

Objetivo Específico 1	**Actividades**	**Resultados de la actividad**	**Medios de verificación**
Identificar el comportamiento agronómico de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIAP-YURAK 2024 bajo estrés hídrico.	**Implementación del ensayo:** Un diseño de parcela dividida (DPD) con ocho tratamientos y cuatro repeticiones	Total 32 unidades experimentales	Libro de campo Fotografías Hojas de cálculo Gráficos Croquis del ensayo
	Evaluación y monitoreo de variables	**Datos de variables a estudiar:**	
	Días al espigamiento	Número de días desde la siembra hasta el espigamiento	
	Número de macollos	Número de macollos registrados por planta	
	Altura de la planta	Tamaño alcanzado de la planta al momento de la cosecha	
	Longitud de la espiga	Tamaño final de la espiga	
	Número de espigas	Número de espigas registrados por planta	
	Número de granos por espiga	Número total de granos producidos por planta	
	Peso de espigas	Peso final de la	

		espiga al momento de la cosecha	
	Rendimiento de grano	Rendimiento final	
	Peso de materia seca	Peso final de materia seca al final del desarrollo de la planta	
	Tipo y color del grano	Clasificación según el tipo de grano	
	Pérdida de rendimiento	Disminución del rendimiento	
Objetivo Específico 2	**Actividades**	**Resultados de la actividad**	**Medios de verificación**
Determinar el rendimiento de la variedad de trigo (*Triticum aestivum* L.) evaluada en dos tipos de suelo (franco y arenoso), bajo condiciones de estrés hídrico.	Cosecha de la variedad de trigo INIAP YURAK 2024 evaluadas en dos tipos de suelo bajo diferentes niveles de humedad	Peso de cosecha de grano por cada tratamiento	Libro de campo Fotografías Base de datos de rendimiento Hojas de cálculo

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1. Origen

La palabra “trigo” tiene su origen en la palabra latina *triticum*, cuyo significado se relaciona con triturado, trillado o quebrado. Este nombre hace referencia al proceso de separar el grano de la cáscara para que pueda ser consumido. El trigo tiene su origen en la antigua Mesopotamia, las evidencias arqueológicas más antiguas sobre su cultivo se han encontrado en territorios como Siria, Jordania, Turquía, Israel e Irak. Hace aproximadamente ocho mil años, el trigo silvestre experimentó procesos de mutación o hibridación que dieron paso a su

evolución. Actualmente, las técnicas de biología molecular permiten comprender con mayor precisión el origen de las plantas cultivadas y las características que favorecieron su domesticación (Vadillo, 1989).

7.2. Importancia del trigo

El trigo constituye un cereal de gran importancia tanto para la alimentación humana como animal debido a su elevado valor nutritivo. Se caracteriza por ser una fuente rica en proteínas, minerales y vitaminas, además de concentrar nutrientes esenciales. También destaca por su facilidad de transporte, su capacidad de conservación para transformarse en diversos productos alimenticios ya sea como materia prima o producto procesado. Se cultivan dos tipos de grano en el mundo: el trigo duro (*T. durum*) utilizado para hacer pasta y el trigo harinero (*T. aestivum*) utilizado para hacer pan (Abadía et al., 2017).

En América Latina, el trigo y sus derivados tiene gran relevancia debido a que forman parte esencial de la canasta básica alimentaria. Este cereal aporta nutrientes importantes como carbohidratos, proteínas además de ser utilizado como materia prima en la producción de diversos alimentos industrializados (Herrera, 2024).

7.3. Distribución Geográfica

En Ecuador, el trigo es principalmente cultivado en la Sierra ecuatoriana, entre las principales provincias productoras del trigo son: Pichincha, Carchi, Bolívar, Imbabura y Chimborazo (Garófalo et al., 2021).

7.4. Características Botánicas

7.4.1. Grano de trigo

El grano de trigo tiene una forma ovalada con sus extremos redondeados y son cariópsides. Está formado por tres partes principales que son: endospermo, salvado y germen. El germen sobresale en unos de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión que representa el 82% del peso del grano. El pericarpio y la testa con la capa aleurona, conforman el salvado del trigo (Juárez et al., 2014).

7.4.2. Espiga

La espiga es la estructura reproductiva de la planta ya que es donde se forman y se

desarrollan los granos ya que es una de las partes más importantes del cultivo porque de ella se obtiene el cereal utilizado para diversos alimentos como pan, harina, pastas, etc.

Las partes principales de la espiga es el raquis que es el eje central de la espiga y sobre él se unen las espiguillas. La espiguilla son pequeñas unidades que se distribuyen a ambos lados del raquis, cada espiguilla contiene varias flores que después se transforman en granos. Las glumas son hojas pequeñas y rígidas que protegen cada espiguilla y ayudan a proteger las flores y los granos durante su desarrollo. Y las aristas son prolongaciones delgadas similares a pelos o barbas (Estrada et al., 2014).

7.4.3. Hoja

La hoja tiene tienen una forma lineal lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta), se desarrollan entre 7- 8 hojas. Presentan vaina, lígula y aurículas bien definidas de color verde claro generalmente con presencia de vellosidades en su base. Además, poseen una lígula membranosa corta y láminas tiernas de hasta 2 cm de ancho (Estrada et al., 2014).

7.4.4. Tallo

El tallo del trigo es erecto, cilíndrico, generalmente lisos con 6 nudos sólidos y entrenudos huecos. Su altura y solidez determinan la resistencia al encamado, su longitud se encuentra entre 60 y 120 cm, aunque varía según la especie de trigo que se cultivó. Las vainas de las hojas envuelven estrechamente el tallo, proporcionando soporte mecánico, especialmente durante los estados inmaduros del crecimiento formando el pseudotallo (Blasco, 2013).

El tallo está compuesto por tres capas las cuales son:

- **Epidermis:** Es la capa exterior del tallo y está formada por células muertas que protegen al tallo de los daños.
- **Corteza:** Es la capa intermedia del tallo y está formada por células vivas que contienen clorofila.
- **Mesófilo:** Es la capa interior del tallo y está formada por células vivas que almacenan agua y nutrientes (Estrada et al., 2014).

7.4.5. Inflorescencia

La inflorescencia se manifiesta en forma de espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestos de 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, rodeadas de

glumas, glumillas, o glumelas, lodículos o glomélulas (Estrada et al., 2014).

7.4.6. Flores

La flor está compuesta por tres estambres y por dos estigmas plumosos que nacen directamente del ovario, en la base de la flor se encuentran dos estructuras transparentes lodículas o glumélulas. Cuando ocurre la fecundación estas flores producen los granos de trigo (Moreno et al., 2001).

7.4.7. Sistema radicular

La raíz del trigo posee una raíz fasciculada con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan una profundidad de 25 cm. Así mismo, presentan dos tipos principales de raíces que se desarrollan en diferentes etapas, las primeras en desarrollarse son las raíces seminales que emergen directamente de la semilla durante la germinación y son fundamentales para el anclaje inicial de la plántula, la absorción de agua y nutrientes durante las primeras semanas (Estrada et al., 2014).

Y las raíces adventicias que se forman en los nudos basales del tallo, ubicados justamente por debajo de la superficie del suelo, coincidiendo con la etapa del macollamiento, representando la mayor parte del sistema radical de la planta adulta. Su crecimiento se da principalmente de manera lateral y superficial (Moreno et al., 2001).

7.5. Clasificación Taxonómica

La Tabla 2 presenta la clasificación taxonómica del trigo (*Triticum aestivum* L.) desde su nombre científico hasta su especie.

Tabla 2. *Clasificación Taxonómica*

Clasificación Taxonómica	
Nombre científico	*Triticum aestivum* L.
Nombre común	Trigo
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida

Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Triticum
Especie	Aestivum

Fuente: (Blasco, 2013).

7.6. Ciclo vegetativo

En la Tabla 3 se presenta los periodos del ciclo vegetativo del trigo que se distinguen en tres periodos que son fundamentales para su desarrollo y producción (Simón, 2022).

Tabla 3. *Periodos del ciclo vegetativo*

Periodos del ciclo vegetativo	
Periodo vegetativo:	Comprende desde la siembra de la semilla hasta el comienzo del encañado.
Periodo de reproducción:	Comprende desde el encañado hasta la terminación del espigado.
Periodo de maduración:	Comprende desde el final del espigado hasta el momento de la cosecha.

7.7. Etapas fenológicas

La escala de Zadoks es un sistema utilizado en investigaciones agronómicas y manejo del cultivo para describir las etapas de crecimiento y desarrollo del trigo y otros cereales, ya que permite definir con precisión momentos de fertilización, riego, control de plagas y evaluación del rendimiento. Fue desarrollada por Zadoks, Chang y Konzak en 1974 y utiliza códigos de dos dígitos para identificar cada fase fenológica del cultivo (Zadoks et al., 1974).

7.7.1. Germinación

Definida como la emergencia y el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión donde se origina una plántula normal, bajo las condiciones óptimas de clima, suelo y agua. La semilla requiere alcanzar como mínimo entre 35 y 45% de humedad para germinar (extrusión de la radícula) y su temperatura optima puede ocurrir entre los 12 y 25 °C (Velásquez et al., 2025).

7.7.2. Ahijamiento

El ahijamiento en el trigo corresponde al proceso en el que la semilla desarrolla un tallo principal con crecimiento ascendente y raíces que se extienden hacia abajo. A partir de ese tallo principal se originan nuevos brotes laterales, los cuales nacen de las yemas axilares localizadas en las hojas (A. Castro, 2021).

7.7.3. Encañado

En esta etapa del desarrollo del trigo aparece el primer nudo en el tallo principal de la planta. Generalmente, dicho nudo se localiza entre 2 y 3 cm por encima de la superficie del suelo (A. Castro, 2021).

7.7.4. Espigado

Durante esta fase comienza a emerger las primeras espigas desde la vaina foliar de la hoja superior. Normalmente, la salida inicia desde la mitad de la espiga y posteriormente aparecen las aristas. El espigamiento concluye cuando la espiga sobresale completamente del cuello de la planta. La cantidad de espigas está relacionada con la proporción de macollos, aunque no todos logran sobrevivir, el número definitivo se determina al inicio de la floración del cultivo (A. Castro, 2021).

7.7.5. Floración

Corresponde a la etapa en la que se abren las primeras flores del trigo. Días después de su formación se observa la aparición de los estambres, una vez finalizado el espigamiento, aproximadamente en la segunda semana ocurre la apertura floral. La espiga ya se encuentra completamente emergida y la flor permanece abierta solo algunos (A. Castro, 2021).

7.7.6. Maduración

La maduración constituye la última etapa del ciclo de crecimiento de la planta. En este periodo, los granos cambian de color, se endurecen y almacenan almidón generado mediante fotosíntesis. Sin embargo, las temperaturas elevadas acompañadas de vientos secos y fuertes pueden alterar el transporte de glúcidos y prótidos, provocando el fenómeno conocido como “asurado”, donde el grano queda arrugado debido a la falta de acumulación de reservas (Miller, 2000).

7.8. Requerimiento climáticos y edáficos

7.8.1. Altitud

El cultivo del trigo se adapta a diferentes condiciones altitudinales, sin embargo, su desarrollo óptimo ocurre entre los 2000 a los 3200 metros de altitud. En estas zonas las condiciones climáticas favorecen el crecimiento, la formación de espigas y el llenado del grano. Altitudes muy bajas o demasiadas elevadas pueden afectar el rendimiento y la calidad del cultivo (Ponce et al., 2022).

7.8.2. Suelo

El trigo requiere suelos profundos, fértiles y con buen drenaje para lograr un adecuado desarrollo radicular. Los mejores resultados se obtienen en suelos francos o francos arcillosos, ricos en materia, ricos en materia orgánica y con un pH entre 6,0 y 7,5. Además es importante evitar suelos compactados o con exceso de humedad, ya que limitan el crecimiento de la planta (Curtis et al., 2002).

7.8.3. Precipitación

El trigo necesita una precipitación moderada y bien distribuida durante su ciclo de cultivo. Generalmente, requiere entre 300 y 800 mm de lluvia, dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas. La disponibilidad adecuada de agua es fundamental especialmente durante las etapas de germinación, macollamiento y llenado de grano (FAO, 2021).

7.8.4. Temperatura

La temperatura influye directamente en el crecimiento y desarrollo del trigo. El rango óptimo se encuentra entre los 15 y 25 °C, si la temperatura es muy baja pueden retrasar el estado fenológico de la planta y si la temperatura es alta puede causar estrés térmico (Acevedo et al., 2002).

7.8.5. pH

El pH óptimo para el cultivo del trigo se sitúa entre 6,0 y 7,5 ya que en este rango la planta puede absorber mejor los nutrientes del suelo y desarrollarse adecuadamente. Un pH menor a 5,5 causa la disminución del rendimiento del cultivo, el suelo se vuelve muy ácido y puede presentarse toxicidad por aluminio y baja disponibilidad de nutrientes como fosforo, calcio y magnesio, mientras que un pH mayor a 8,0 puede provocar problemas con la

disponibilidad de micronutrientes como hierro y zinc (FAO, 2021).

7.9. Factores bióticos que afectan el cultivo de trigo

7.9.1. Enfermedades

Las enfermedades más importantes para el cultivo del trigo en Ecuador son: la roya amarilla o lineal (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja o parda (*Puccinia triricina*), Fusarium de la espiga (*Fusarium spp*.) y el carbón de la espiga (*Ustilago tritici*) (Ponce et al., 2022).

7.9.1.1. Roya amarilla o lineal (Puccinia striiformis)

La roya amarilla es producida por el hongo *Puccinia striiformis,* se manifiesta en cualquier estado fenológico del cultivo mediante pústulas alargadas en el haz de la hoja, de 0,5 a 1mm de longitud, que rompen la cutícula para desprender las esporas. Las pústulas son de color amarillo anaranjado se presentan en formas de líneas paralelas y estrías, estas pueden atacar tanto al follaje como a las espigas (Gutiérrez, 2021).

7.9.1.2. Roya de la hoja o parda (Puccinia triticina)

La roya de la hoja producida por el hongo *Puccinia triticina,* se manifiesta en todos los órganos de la planta, pero son más comunes en las hojas, surgen en forma de pequeñas pústulas pequeñas, circulares de color naranja y el café anaranjado sobre el haz de las hojas y se extienden hacia las vainas. Las plantas afectadas producen menor número de granos y de menos peso (Carmona & Sautua, 2015).

7.9.1.3. Roya del tallo (Puccinia graminis Pers.)

La roya del tallo o roya negra es producida por el hongo *Puccinia graminis Pers,* que se caracteriza por sus pústulas son de color café oscuro y se le encuentran en ambas caras de la hoja, en los tallos y en la espiga, cuando la infección es intensa dan una apariencia áspera y agrietada (Ponce et al., 2019).

7.9.1.3. Fusarium de la espiga (Fusarium spp.)

El *Fusarium* afecta a la espiga, la parte floral, glumas, granos y raquis del trigo que adquieren tonalidades blanquecinas. Presencian una masa de esporas y micelio rosado sobre los granos cosechados las cuales pierden su peso y forma (Ponce et al., 2019).

7.9.1.4. Carbón de la espiga (Ustilago tritici)

Las espigas infectadas emergen antes que las sanas y presentan una coloración más oscura. La espiga es sustituida por una masa de esporas de carbón tipo hollín (Ponce et al., 2019).

7.9.2. Plagas

Cuando hablamos de plaga agrícola nos referimos a una población de animales fitófagos, es decir que se alimentan de plantas, la cual produce una merma en el rendimiento del cultivo, reduce su valor comercial o incrementa los costos de producción. El trigo es vulnerable a diversas plagas como pulgones, ácaros, moscas, etc. Entre el 8% de la cosecha mundial del trigo se pierde cada año debido a las plagas y enfermedades (Uranga & Voisin, 2022).

7.9.2.1. Pulgón verde (Aphididae)

Los pulgones son insectos pequeños de cuerpo blando que se alimentan succionando la savia de las plantas de trigo. Estos insectos se agrupan en colonias como en las hojas, tallos y espigas, causando amarillamiento, enrollamiento y deformaciones en las plantas. Excretan una sustancia pegajosa llamada melaza, que favorece el crecimiento de hongos negros (fumagina) (Escalante et al., 2011).

7.9.2.2. Gorgojo del trigo (Sitophilus granarius)

El gorgojo del trigo es una plaga que afecta tanto al cultivo en campo como al grano almacenado. Los adultos perforan los granos para depositar sus huevos y las larvas se desarrollan dentro de los granos, consumiendo su interior y dejándolos huecos. Esto reduce el peso y la calidad del grano, afectando su valor comercial (Uranga & Voisin, 2022).

7.9.2.3. Mosca del trigo (Delia coarctata)

La mosca del trigo ataca a la planta en sus primeros estados fenológicos (de nacimiento a principios del ahijado). En este caso el tallo no puede evolucionar y queda amacollado de un color verde oscuro y el número de larvas es elevado no suele tardar en aparecer. El segundo tipo de daño se produce cuando el mosquito ataca a la planta en un estado de desarrollo avanzado (próximo a la formación del primer nudo o posterior) (Desirée & Perera, 2009).

7.9.2.4. Trips del trigo (Thysanoptera)

Los trips son insectos diminutos que se alimentan de la savia de las plantas de trigo, causando daños a las hojas y espigas. Este daño provoca manchas plateadas, deformaciones y un aspecto delúcido en las hojas (Bielza et al., 1998).

7.9.2.5. Gusanos blancos (Diloboderus abderus)

Es considerado una de las plagas de mayor importancia en trigo, las larvas poseen cabeza de color rojizo con grandes mandíbulas, cuerpo blanco en forma de "C". En la pre-emergencia se alimentan de las semillas, luego consumen hojas y raíces, matando plántulas (Abadía et al., 2017).

7.10. Factores abióticos que afectan el cultivo de trigo

7.10.1. Sequía

La sequía ocurre cuando la humedad del suelo no es suficiente para el crecimiento de un cultivo y es una de las mayores amenazas para el trigo, ya que el estrés hídrico reduce el rendimiento del grano durante etapas críticas como la floración y el llenado del grano, como consecuencia disminuye, disminuye el rendimiento y calidad de las cosechas (FAO, 2024).

7.10.2. Requerimiento hídrico del trigo

El requerimiento hídrico del trigo corresponde a la cantidad total de agua que necesita el cultivo durante su ciclo de crecimiento para completar adecuadamente sus procesos fisiológicos y pueda alcanzar un desarrollo óptimo. Esta demanda de agua está relacionada con la evapotranspiración del cultivo, la cual el agua utilizada en la transpiración de las palabras y le evaporación desde la superficie del suelo. Los requerimientos hídricos del trigo oscilan entre 450 y 650 mm por ciclo, aunque esta cantidad puede variar según las condiciones climáticas, el tipo de suelo, la duración del ciclo del cultivo y la etapa fenológica en la que se encuentre (Si, Qin et al., 2023).

7.10.3. Estrés hídrico

El estrés hídrico se da cuando la disponibilidad de agua es insuficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo, afecta a diversas etapas de crecimiento del cultivo como el crecimiento, incluyendo la germinación, la formación de plántulas, el crecimiento de raíces y tallos, el ahijamiento, la floración, la polinización y la fertilización. Como consecuencia, se

reduce el rendimiento del cultivo y se ve afectada la calidad de las semillas producidas (M. Castro et al., 2014).

7.10.4. Capacidad de Campo (CC)

La Capacidad de Campo es el límite máximo de agua que un suelo puede retener ante la fuerza de gravedad después de haberse saturado y drenado por un periodo de 24 a 72 horas dependiendo de algunas propiedades como: la textura, materia orgánica y densidad. En trigo, mantener la humedad del suelo entre el 50% y el 70% de la capacidad de campo es ideal para un desarrollo óptimo (Silva et al., 2015).

7.10.5. Tolerancia

La tolerancia se refiere a la capacidad de la planta para mantener su crecimiento, desarrollo y producción de grano cuando la disponibilidad de agua es limitada. Esta capacidad depende de diversos mecanismos de adaptación que permite al cultivo reducir los efectos negativos del déficit hídrico, mantener sus funciones fisiológicas y conservar un rendimiento aceptable bajo condiciones de estrés (Sourour et al., 2017).

7.11. Manejo del cultivo

7.11.1. Semillas

La semilla constituye uno de los factores más importantes para lograr una buena implantación del cultivo. Debe poseer alta pureza genética, física y fisiológica, además de un elevado porcentaje de germinación y vigor. La utilización de semilla certificada garantiza la identidad varietal y reduce la presencia de semillas de malezas y patógenos.

Antes de la siembra es recomendable realizar pruebas de germinación para determinar la viabilidad de la semilla y ajustar la cantidad requerida para alcanzar la densidad de plantas deseadas. Así mismo, se recomienda el tratamiento preventivo de la semilla con fungicidas autorizadas para proteger las plántulas durante las primeras etapas de desarrollo (Velásquez et al., 2025)

7.11.2. Preparación del suelo

La preparación del suelo tiene como finalidad proporcionar condiciones adecuadas para el desarrollo radicular, facilitar la infiltración del agua y mejorar la aireación. El suelo debe ser removido y desmenuzado para eliminar compactaciones y favorecer el crecimiento de las

raíces. Además, es recomendable retirar residuos vegetales y piedras que puedan interferir con el desarrollo del cultivo. Previamente a la siembra se recomienda un análisis químico del suelo para conocer su fertilidad, contenido de materia orgánica y pH, permitiendo establecer un programa de fertilización acorde a los requerimientos del cultivo (Mendoza et al., 2023).

7.11.3. Selección de un buen sustrato

La selección del sustrato es fundamental para garantizar un adecuado crecimiento de las plantas. Debe presentar buena capacidad de retención de agua, adecuación de aireación, correcto drenaje, baja salinidad y disponibilidad de nutrientes para el cultivo de trigo de cualquier variedad (Mendoza et al., 2023).

7.11.4. Siembra

La siembra debe realizarse al inicio de la época lluviosa en la zona, planificando que la cosecha coincida con la época seca. El trigo generalmente se recomienda una profundidad de siembra que no supere los 5 cm, dependiendo de la textura del suelo para garantiza una germinación uniforme. Posteriormente se efectúa un riego ligero para favorecer la imbibición de las semillas y estimular la emergencia. Las semillas generalmente germinan entre los 5 y 10 días después de la siembra, dependiendo de la temperatura y humedad disponible. La siembra puede realizarse mediante dos métodos: al voleo y de forma mecanizada (Mendoza et al., 2023).

7.11.5. Fertilización

La fertilización se realiza en base a un análisis de suelo, si no se cuenta con el análisis, se recomienda basarse en los requerimientos básicos que necesita el cultivo de trigo que son: 80 kg de nitrógeno (N), 60 de fósforo (P2O5), 40 de potasio (K2O) y 20 de azufre S), más microelementos (calcio, magnesio, boro y zinc). Entonces se deberá aplicar 5 sacos de fertilizante compuesto 15-30-15 + microelementos y al macollamiento de 30 a 40 días después de la siembra 3 sacos de Urea. El uso de fertilización o abonamiento es una alternativa, ya que con esta práctica incrementa la fertilidad del suelo y mejora su composición química, física y biológica (Ponce et al., 2022).

7.11.6. Control de malezas

Las malezas compiten con el cultivo por agua, luz, nutrientes y espacio, reduciendo significativamente el crecimiento y rendimiento. Es recomendable realizar inspecciones frecuentes para evitar que las malezas alcancen etapas avanzadas de desarrollo. Algunas

malezas como el rábano, el nabo y la lengua de vaca son perjudiciales en los campos de trigo causando mayores pérdidas (Ponce et al., 2022).

7.11.7. Desmezcla

La desmezcla consiste en eliminar plantas fuera de tipo, enfermas o que presenten características diferentes a la variedad como centeno, triticale, avena, cebada y otra variedad de trigo. Este procedimiento debe llevarse a cabo al menos dos veces: primero durante la fase de espigamiento a formación de grano y, en segundo lugar, cuando el cultivo comience a alcanzar la madurez fisiológica y empiece a amarillar. Las plantas eliminadas deben colocarse fuera del lote de producción para evitar las mezclas de semillas (Ponce et al., 2022).

7.11.8. Cosecha

La cosecha se realiza cuando el cultivo alcanza la madurez fisiológica y los granos presenten un contenido de humedad adecuada del 13%. Los indicadores de madurez incluyen: color amarillo dorado de la planta, secado de hojas y tallos y endurecimiento del grano. Para realizar el secado, se recomienda utilizar una superficie de cemento o un área firme cubierta con plástico transparente con el fin de logara un secado homogéneo, es necesario remover el grano varias veces al día. removiendo al menos tres veces al día. La duración del proceso dependerá del contenido inicial de humedad y de las condiciones climáticas, como la radiación solar y la velocidad del viento, pudiendo extenderse entre dos y tres días o más (Ponce et al., 2022).

7.11.9. Trilla

La trilla consiste en separar los granos de las espigas y se puede llevar a cabo de dos maneras:

Manual: Es una práctica tradicional que consiste en separar los granos del trigo de las espigas mediante el uso de la fuera humana. Este procedimiento puede realizarse golpeando las espigas sobre una superficie firme, utilizando palos o frotándolas manualmente para desprender los granos. Aunque es un método sencillo y de bajo costo, requiere mayor tiempo y mano de obra (Ponce et al., 2022).

Mecanizada: Consiste en emplear maquinas trilladoras o cosechadoras que realizan la separación del grano de las espigas de manera rápida y eficiente. Este método permite procesar grandes volúmenes de producción en menor tiempo, reduciendo la necesidad de mano de obra

y aumentando la eficiencia de la cosecha. Además, contribuye a disminuir las pérdidas de grano y facilita las labores posteriores de limpieza y clasificación (Ponce et al., 2022).

7.11.10. Labores poscosecha

Las labores poscosecha tienen como objetivo conservar la calidad física, fisiológica y sanitaria de los granos obtenidos y prevenir el crecimiento de moho y la infestación de plagas.

7.11.10.1. Secado del grano

El grano debe secarse para que no supere el 13% de humedad requerido en la industria y así evitar daños en la semilla almacenada (Ponce et al., 2022).

7.11.10.2. Limpieza y clasificación

La semilla debe limpiarse para eliminar materiales extraños tales como: restos de espigas, pajas, polvo, piedras y semillas de malezas. La clasificación permite separar los granos por tamaño, peso y estado sanitario antes de ser almacenada, empleando mallas de 2,5 mm (Ponce et al., 2022).

7.11.10.3. Ensacado e identificación de semilla

Una vez que la semilla ha sido limpiada, clasificada y secada hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado, debe ser colocado en sacos limpios, diferenciando entre el grano destinado para la comercialización y el que se utilizara como semilla.

La identificación consiste en colocar una etiqueta visible en cada saco con información relevante como el nombre de la variedad, número de lote, fecha de cosecha y peso cualquier otra característica necesaria para su control y seguimiento (Ponce et al., 2022).

7.11.11. Almacenamiento

Una vez terminadas las labores de poscosecha, la semilla debe ser almacenada en un lugar seco, libre de humedad, con buena ventilación y libre de roedores. Un ambiente apropiado permite conservar la calidad del producto, evitar pérdidas por deterioro y reducir el riesgo de infestaciones por insectos, hongos u otros organismos que puedan afectar la integridad del grano durante su conservación (Ponce et al., 2022).

7.11.12. Parámetros de calidad de grano

En la Tabla 4 presenta los principales parámetros de calidad del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.), en ella se describe la humedad, impurezas, peso hectolítrico, y el quintal con su respectiva unidad.

Tabla 4. *Parámetros de calidad de grano*

Parámetros	Unidad
Humedad	13%
Impurezas	2%
Peso hectolítrico	74 kg-hl^{-1}
Quintal	45,36 kg

7.12. VARIABLES AGRONÓMICAS Y MORFOLÓGICAS

7.12.1. Días al espigamiento

Este parámetro se evalúa visualmente mediante el conteo de días al espigamiento donde se hace referencia al número de días que se transcurrió desde la siembra hasta la aparición de las espigas en las plantas de una parcela, se controla continuamente haciendo lecturas ya que en distintos materiales florecen en diferentes días. Los factores por considerar son: Pisos altitudinales, condiciones climáticas, sequía, cambios bruscos de temperaturas, temperaturas altas y bajas, alta humedad, nubosidad y fotoperíodo (Ponce et al., 2019).

7.12.2. Altura de la planta

Este parámetro se refiere al tamaño final que alcanza la planta durante su desarrollo, se toma los datos con la ayuda de una regla marcada en centímetros, se mide la planta desde la base del suelo hasta el punto más alto que ha alcanzado la espiga excluyendo las aristas y se lo realiza al momento de la cosecha. Los factores por considerar son: Disponibilidad de nutrientes, alta precipitación, pisos altitudinales, condiciones climáticas, sequía, temperatura y factores genéticos, alta humedad, nubosidad y fotoperíodo (Ponce et al., 2019).

7.12.3. Longitud de la espiga

Este parámetro se evalúa midiendo desde la base de la espiga hasta el ápice sin tomar en cuenta las aristas. Es importante tomar esta medida, ya que nos indica el potencial productivo de la planta, nos proporciona información valiosa sobre la salud del cultivo, la efectividad de

las prácticas agronómicas implementadas y el rendimiento esperado. Este proceso se lleva a cabo justo en el momento de la cosecha. Los factores por considerar son: Disponibilidad de nutrientes, precipitación, pisos altitudinales, condiciones climáticas, sequía, temperatura, nubosidad y fotoperíodo (Ponce et al., 2019).

7.12.4. Número de granos por espiga

Este parámetro se refiere al número de granos que llega a obtener la espiga durante su desarrollo completo. Para evaluar se considera por lo menos 10 espigas al azar y se hace el conteo manualmente ya que así, podremos determinar la productividad del cultivo. Los factores por considerar son: Disponibilidad de nutrientes, precipitación, pisos altitudinales, condiciones climáticas, sequía, temperatura, nubosidad y fotoperíodo (Ponce et al., 2019).

7.12.5. Número de macollos

Este parámetro se evalúa contando manualmente el número total de los tallos secundarios que se desarrollan a partir de la planta principal y contribuyen a la formación de espigas (Fernández Gallego et al., 2019).

7.12.6. Número de espigas

Este parámetro corresponde a la cantidad total de espigas producidas por planta, se cuenta manualmente en la etapa de madurez fisiológica (Fernández Gallego et al., 2019).

7.12.7. Peso de la espiga

Este parámetro se determina mediante el peso de la espiga, cuando ya haya alcanzado su madurez y esté completamente seco se pesa mediante la utilización de una balanza de precisión (Velásquez et al., 2025).

7.12.8. Rendimiento

Este parámetro es unos de los más importantes, ya que nos indica la productividad que puede llegar a alcanzar el grano. Se evalúa mediante el peso total de los granos producidos, tomando en cuenta la humedad del grano que debe estar en un 13% y debe estar limpio de impurezas. Este valor esta dado en g por parcela o en kg por ha. Los factores que afectan el rendimiento son: factores bióticos que son las enfermedades y plagas. Y los factores abióticos que son: clima, suelo, agua, temperatura, nubosidad, nutrientes, pH, granizada, heladas, etc. (Ponce et al., 2019).

7.12.9. Peso de materia seca

Este parámetro se lleva a cabo cuando el cultivo de trigo ha alcanzado su ciclo completo. Se evalúa cuando las plantas son cosechadas en campo y se dejan secar completamente expuestas al sol, luego se utiliza una balanza para obtener los datos estimados en gramos para identificar promedios de la biomasa vegetal producida por el cultivo (Velásquez et al., 2025).

7.12.10. Tipo y color del grano

Este parámetro se determina mediante la evaluación del grano de manera visible y se clasifica el grano según por su color, forma, tamaño, uniformidad o daño. Se evalúa una vez que el grano está totalmente seco. Los factores que afectan al grano son: Precipitaciones y temperaturas presentes al final del ciclo del cultivo e incidencia de enfermedades que afectan a la espiga (Ponce et al., 2019).

La Tabla 5 muestra la escala de evaluación que presenta la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 para tipo de grano, color y apariencia física del grano de trigo.

Tabla 5. *Escala de evaluación para tipo de grano en trigo*

Escala	Descripción
	Tipo de grano
1	Grano grueso, grande, bien formado, limpio
2	Grano mediano, bien formado, limpio
3	Grano pequeño, delgado, manchado, chupado
	Color de grano
B	Blanco
R	Rojo
	Apariencia del grano
*	Grano de buena apariencia
+	Grano de mala apariencia

7.12.11. Pérdida de rendimiento

Este parámetro permite determinar la reducción del rendimiento ocasionada por el estrés hídrico en comparación con un tratamiento sin estrés.

7.12.12. Variedad

La variedad es un grupo de plantas que se diferencian por sus características morfológicas y fisiológicas que al momento de ser sometidas a evaluaciones mantienen su característica que los distinguen de las demás variedades.

7.12.13. Variedad Mejorada

La variedad mejorad resultan de un proceso de mejoramiento genético, ya que la siembra de esta ofrece un mayor rendimiento y resistencia a enfermedades, lo que puede reducir la necesidad de fungicidas y en consecuencia disminuye los costos de producción.

El desarrollo de una nueva variedad mejorada implica un periodo largo de investigación que puede durar de 12 a 15 años.

7.12.14. Variedad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) cuya misión es generar y poner a disposición de los productores ecuatorianos variedades mejoradas de cultivos, desarrolló la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024. Esta variedad se destaca por alcanzar rendimientos superiores a 4 toneladas, presenta una adecuada calidad Agroindustrial y mostrar una resistencia moderada frente a las principales enfermedades que afectan al cultivo de trigo (Garófalo et al., 2024).

7.12.14.1. Origen

La variedad INIAP-YURAK 2024 corresponde a un trigo harinero desarrollado por el Programa de Cereales de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Su proceso de mejoramiento inició en el año 2008 con el propósito de obtener materiales de alto rendimiento y adaptación a las condiciones productivas de Ecuador (Garófalo et al., 2024).

Entre los años 2008 al 2021, esta variedad fue sometida a diversas evaluaciones en los campos experimentales de la Estación Experimental Santa Catalina. Posteriormente, durante el período 2022 al 2023, se realizaron ensayos en múltiples ambientes ubicados en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar y Azuay. Los resultados obtenidos evidenciaron un desempeño agronómico favorable y una buena adaptación a diferentes condiciones de cultivo (Garófalo et al., 2024).

7.12.14.2. Características morfológicas

La Tabla 6 muestra las características morfológicas que presenta la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 como: número de granos por espiga, densidad de espiga, tipo de grano, color de grano, tipo de tallo, altura de planta y tamaño de espiga.

Tabla 6. *Características morfológicas*

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	
Características	**Descripción**
Número de granos por espiga	30-50
Densidad de espiga	Compacta
Tipo de grano	Oblongo
Color de grano	Blanco
Tipo de tallo	Resistente al Acame
Altura de planta (cm)	100-110
Tamaño de espiga	9-12

7.12.14.3. Características agronómicas

La Tabla 7 muestra las características agronómicas que presenta la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 como el ciclo del cultivo, días al espigamiento, rendimiento de grano, roya de la hoja, roya amarilla y virosis (BYD).

Tabla 7. *Características agronómicas*

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS	
Características	**Descripción**
Ciclo del cultivo (días)	150-180
Días al espigamiento	80-90
Rendimiento de grano (kg ha^{-1})	4000 a 8000
Roya de la hoja	Medianamente resistente
Roya amarilla	Medianamente resistente
Virosis (BYD)	Medianamente resistente

7.12.14.4. Características de calidad proximal

La Tabla 8 muestra las características de calidad proximal que presenta la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 como: cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra y elementos libres de nitrógeno.

Tabla 8. *Características de calidad proximal*

PROXIMAL	
Parámetros	**Valores**
Cenizas (%)	1,55
Extracto etéreo (%)	1,96
Proteína (%)	13,67
Fibra (%)	3,79
Elementos libres de nitrógeno (%)	79,02

7.12.14.5. Características de calidad físicas

La Tabla 9 muestra las características de calidad físicas que presenta la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 como: peso hectolítrico, peso de mil granos, índice de dureza, rendimiento harinero, índice de Zeleny y gluten seco.

Tabla 9. *Características de calidad físicas*

FÍSICAS	
Parámetros	**Valores**
Peso hectolítrico (kg HL^{-1})	74-78
Peso de mil granos (g)	48-52
Índice de dureza	11,5-12,5
Rendimiento harinero (%)	>69,28
Índice de Zeleny (mL)	22-25
Gluten seco (%)	19-20

7.12.14.1. Zonificación

La Tabla 10 muestra la zonificación que presenta la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 como: altitud, precipitación y temperatura.

Tabla 10. *Zonificación*

ZONIFICACIÓN	
Características	**Descripción**
Altitud	2000 y 3200 m
Precipitación	400 a 1200 mm
Temperatura	12 17 °C

7.13. Características de los suelos

7.13.1. Suelo Franco

El suelo franco es considerado como el mejor suelo para la agricultura ya que es una mezcla equilibrada de tres partículas minerales de arena (40%), limo (40%) y arcilla (20%) que favorece en el crecimiento saludable de las plantas. Aun que retiene bien la humedad, también permite un drenaje adecuado para que las raíces absorban y crezcan profundamente y así prevenir la pudrición de las raíces. Añadir materia orgánica hace que mejore la estructura del suelo, haciéndolo más esponjoso, aumenta la fertilidad aportando nutrientes esenciales (Royero et al., 2025).

En los resultados de los análisis utilizada en la investigación el suelo franco presentó un pH de 6,26, clasificado como ligeramente ácido, condición que resulta favorable para el cultivo de trigo, ya que favorece la disponibilidad y absorción de la mayoría de los nutrientes. El análisis químico mostró un alto contenido de fósforo (35,71ppm), calcio (9,54 meq/100 g), magnesio (0,75 meq/100 g), todos estos nutrientes son esenciales para el crecimiento, desarrollo radicular y formación de estructuras reproductivas del cultivo.

El potasio registró un nivel bajo (0,12 meq/100 g), por lo que este nutriente podría ser un factor limitante para el cultivo si no se realiza un manejo adecuado de la fertilización, la materia orgánica alcanzó un valor alto de 7,65%, lo que representa una condición favorable para el suelo, ya que mejora su estructura, incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes y contribuye un mejor desarrollo del cultivo de trigo.

Por otra parte, los micronutrientes como el hierro presentaron un nivel alto (74 ppm) y el manganeso registró un nivel medio (8,4 ppm).

7.13.2. Suelo Arenoso

El suelo arenoso tiene partículas de mayor tamaño lo que permite que el agua drene con mayor rapidez. Este suelo tiene baja capacidad de retención de agua y nutrientes y les cuesta retener cantidades suficientes para los cultivos. Debido a la baja retención de nutrientes, se aplica mayores cantidades de fertilizante para mantener un estado nutricional étimo. Las plantas necesitan regarse con más frecuencia que las que crecen en otros tipos de suelo. Algunas plantas que crecen bien en suelos arenoso son los cactus, las suculentas y los pastos (Royero et al., 2025).

El suelo arenoso utilizado en la investigación presentó un pH de 6,81, clasificado como prácticamente neutro, condición favorable para el cultivo del trigo, ya que facilita la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta.

El análisis químico mostró un alto contenido de fósforo (127,21 ppm), calcio (5,48 meq/100 g) y magnesio (1,28 meq/100g), nutrientes que contribuyen al crecimiento vegetativo, al adecuado desarrollo del sistema radicular y al funcionamiento de diversos procesos fisiológicos del cultivo.

El potasio presentó un nivel medio (0,25 meq/100 g) y la materia orgánica alcanzó un valor medio de 1,43% lo que desempeña un papel importante al mejorar la retención de agua, aumentar la capacidad de intercambio de nutrientes y favorecer la actividad microbiana.

Por otra parte, los micronutrientes como el hierro presentaron un nivel alto (121 ppm) y el manganeso registró un nivel medio (9,1 ppm).

Anexo 1. Análisis del suelo Franco y Arenoso

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

LASPA

INFORME DE ENSAYO No: 26-0376

NOMBRE DEL CLIENTE: YADIRA CHILUISA
PETICIONARIO: YADIRA CHILUISA
EMPRESA/INSTITUCIÓN: YADIRA CHILUISA
DIRECCIÓN: MEJIA

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 10/07/2026
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:40
FECHA DE ANÁLISIS: 13/07/2026
FECHA DE EMISIÓN: 21/07/2026
ANALISIS SOLICITADO: 53

Análisis	pH		N-NH4		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	
26-1150	6,26	L Ac	6,91	B	35,71	A	11,77	B	0,49	B	0,12	B	9,54	A	0,75	A	3,8	M	4,6	A	74	A	8,4	M	12,65	6,26	85,41	10,41	7,65	A						Suleo Franco
26-1151	6,81	P N	5,05	B	127,21	A	9,41	B	0,59	B	0,25	M	5,48	A	1,28	A	4,6	M	1,6	M	121	A	9,1	M	4,28	5,07	26,79	7,01	1,43	M						Suelo Arenoso

Análisis	Al+H*	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	HG*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/ 100g		%	ppm	meq/ 100g	ppm	ppm		%	

OBSERVACIONES:

*** Ensayos no solicitados por el cliente**

METÓDOLÓGIA UŚADA			
pH =	Suelo: Agua (1:2,5)	P =	Olsen Modificado
S,B =	Fosfato de Calcio	K Ca Mg =	Mehlich 3
N-NH4 =	KCl	Cu Fe Mn Zn =	Mehlich 3

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

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METÓDOLÓGIA UŚADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
Al+H =	Titulación NaOH

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

Validez únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA

Validez únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

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 electronico 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 informacion.

* Opiniones de interpretación ,etc,que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

8.1. Pregunta de investigación

¿Existe diferencia en la tolerancia a la sequía de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 cuando es sometida a diferentes niveles de humedad del suelo en suelos franco y arenoso bajo condiciones de invernadero?

8.2. Hipótesis Alternativa

La variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 presenta diferencias significativas en su comportamiento agronómico y fisiológico frente a diferentes niveles de humedad del suelo en suelos franco y arenoso, demostrando tolerancia al estrés hídrico.

8.3. Hipótesis Nula

La variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 no presenta diferencias significativas en su comportamiento agronómico y fisiológico frente a diferentes niveles de humedad del suelo en suelos franco y arenoso, por lo que no demuestra tolerancia al estrés hídrico.

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1. Área de Estudio

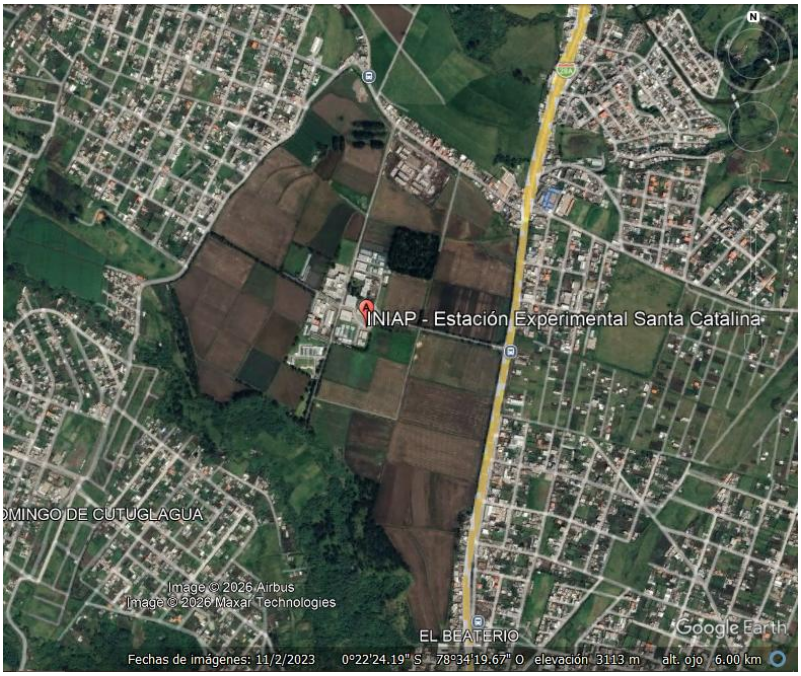
La investigación se desarrolló en el invernadero de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicado en la parroquia de Cutuglagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, se encuentra a una altitud de 3058 m.s.n.m., con latitud de 0°22'9.54" Sur y su Longitud de 78°33'19.80" Oeste. En este lugar se estableció el ensayo experimental, el cual estuvo conformado por 32 macetas con una variedad de trigo INIAP -YURAK 2024.

La Tabla 11 muestra las características del área de estudio y la ubicación geográfica donde fue implementado el ensayo, describiendo la provincia, cantón, parroquia, la altitud, la longitud y la latitud del sitio de investigación.

Tabla 11. *Características del área de estudio*

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Provincia	Pichincha
Cantón	Mejía

Parroquia	Cutuglagua
UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
Altitud	3058 m.s.n.m.
Longitud	78°33'19.80"O
Latitud	0°22'9.54"S



Fuente: Google Earth

Anexo 2. Mapa del área de estudio

9.2. Tipo de investigación

9.2.1. Experimental

La presente investigación es de tipo experimental. Un estudio experimental se caracteriza por la toma de variables para determinar sus efectos en un fenómeno específico. En este caso, mi proyecto de investigación se enfoca en evaluar la tolerancia a la sequía de una variedad de trigo INIAP- YURAK 2024 en dos tipos de suelo (franco y arenoso).

9.2.2. Cuantitativa

Se recopilará datos cuantitativos para obtener información numérica precisa de las variables en estudio.

9.3. Especificaciones del campo experimental

9.3.1. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas (DPD), en el cual consiste en establecer parcelas de mayor tamaño y dentro de estas, subparcelas pequeñas donde se distribuyen los diferentes tratamientos o unidad experimental. Este diseño permite evaluar de manera eficiente dos o más factores de estudio y analizar tanto sus efectos individuales como la interacción entre ellos. Su aplicación es frecuente en investigaciones agrícolas relacionadas con factores como láminas de riego, encalado, sistemas de cultivo, ancho de surco, entre otros (Gabriel et al., 2017).

Para el análisis de los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en las variables cuantitativas: altura de planta, longitud de la espiga, número de granos por espiga, peso de la espiga, número de macollos, número de espigas, rendimiento, peso materia seca. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad. En cuanto a las variables como días al espigamiento y tipo, color de grano y pérdida de rendimiento estas fueron analizadas mediante estadística descriptiva, utilizando tablas de promedios para facilitar su interpretación.

9.3.2 Esquema de ADEVA

En la Tabla 12 presenta el esquema del análisis de varianza (ADEVA) correspondiente al diseño experimental de parcelas divididas (DPD) empleadas en la investigación.

Tabla 12. *Esquema de ADEVA para diseño de parcelas divididas (DPD)*

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad
Total	rab - 1
Repeticiones	r - 1
Suelo (S)	a - 1
Error (a)	(r – 1) (a – 1)
Humedad (H)	b - 1
S x H	(a – 1) (b – 1)
Error	a (r – 1) (b – 1)

9.3.3. Variables

En la Tabla 13 se presenta la operacionalización de las variables de la investigación, donde se detalla las variables independientes y dependientes, sus respectivas dimensiones, indicadores, índices o unidades de medida, las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos.

Tabla 13. *Variables independientes y dependientes*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índice (unidad de medida)	Técnica	Instrumentos
Variable Independiente: • Variedad de trigo INIAP-YURAK 2024. • 2 Tipos de suelo (franco y arenoso). • Láminas de riego de 100, 75, 50 y 25% de capacidad de campo.	Características Agronómicas	Días al espigamiento	Días	Conteo y visual	Observación directa
		Altura de planta	(cm)	Medición directa	Regla
		Longitud de espiga	(cm)	Medición directa	Regla
		Número de granos por espiga	(#)	Evaluación conteo y visual	Observación directa
		Número de macollos	(#)	Evaluación conteo y visual	Observación directa
		Número de espigas	(#)	Pesaje	Observación directa
Variable Dependiente: • Comportamiento Agronómico	Rendimiento del cultivo	Peso de espigas	(g/maceta)	Pesaje	Balanza
		Rendimiento	(g/maceta)	Pesaje	Balanza
		Peso de Materia seca	(g/maceta)	Pesaje	Balanza
		Tipo de grano	(*,**,***,+)	Escala descriptiva	Observación directa
		Pérdida de rendimiento	(g/maceta)	Pesaje	Balanza

9.3.4. Factores en estudio

9.3.4.1. Láminas de humedad del suelo

Para la investigación se utilizó cuatro láminas de humedad del suelo

- **Lámina 1 (L1): Capacidad de Campo (CC)**

Es el nivel máximo de humedad que el suelo puede retener después del drenaje del exceso de agua por gravedad. En esta condición, el cultivo dispone de una cantidad optima de agua para su crecimiento y desarrollo, sin presentar estrés hídrico (Gil, 2000).

- **Lámina 2 (L2): Capacidad de Campo al 75%**

Consiste en mantener el suelo con el 75% del agua disponible a capacidad de campo. Esta condición representa un estrés hídrico leve, donde el cultivo aún dispone de suficiente agua para desarrollar sus funciones fisiológicas, aunque con una ligera restricción hídrica (Gil, 2000).

- **Lámina 3 (L3): Capacidad de Campo al 50%**

Corresponde a un nivel intermedio de humedad del suelo, que equivale al 50% de la capacidad de campo. Bajo esta condición, el cultivo enfrenta un estrés hídrico moderado, lo que puede afectar algunos procesos fisiológicos y productivos (Gil, 2000).

- **Lámina 4 (L4): Capacidad de Campo al 25%**

Representa una condición severa de agua, manteniendo únicamente el 25% de la humedad correspondiente a la capacidad de campo. Este tratamiento genera un estrés hídrico alto, permitiendo evaluar la tolerancia del cultivo a condiciones de sequía (Gil, 2000).

9.3.4.2. Tipo de suelo

- **Franco**

Este suelo favorece una adecuada retención de agua y nutrientes, al mismo tiempo que mantiene una buena aireación y drenaje, permitiendo un crecimiento óptimo del sistema radicular y una mayor disponibilidad de agua para las plantas (FAO, 2005).

- **Arenoso**

Este suelo, su capacidad para retener agua y nutrientes es baja, lo que incrementa el riesgo de perdidas por lixiviación y puede afectar el desarrollo del cultivo si no se implementan prácticas adecuadas de manejo (FAO, 2005).

9.3.5. Tratamientos

Los tratamientos son producto de la interacción de los dos factores es estudio: 4 láminas de humedad del suelo (100%, 75%, 50% y 25%) y los dos tipos de suelo (franco y arenoso).

En la Tabla 14 se presenta la distribución de los ocho tratamientos experimentales establecidos en la investigación.

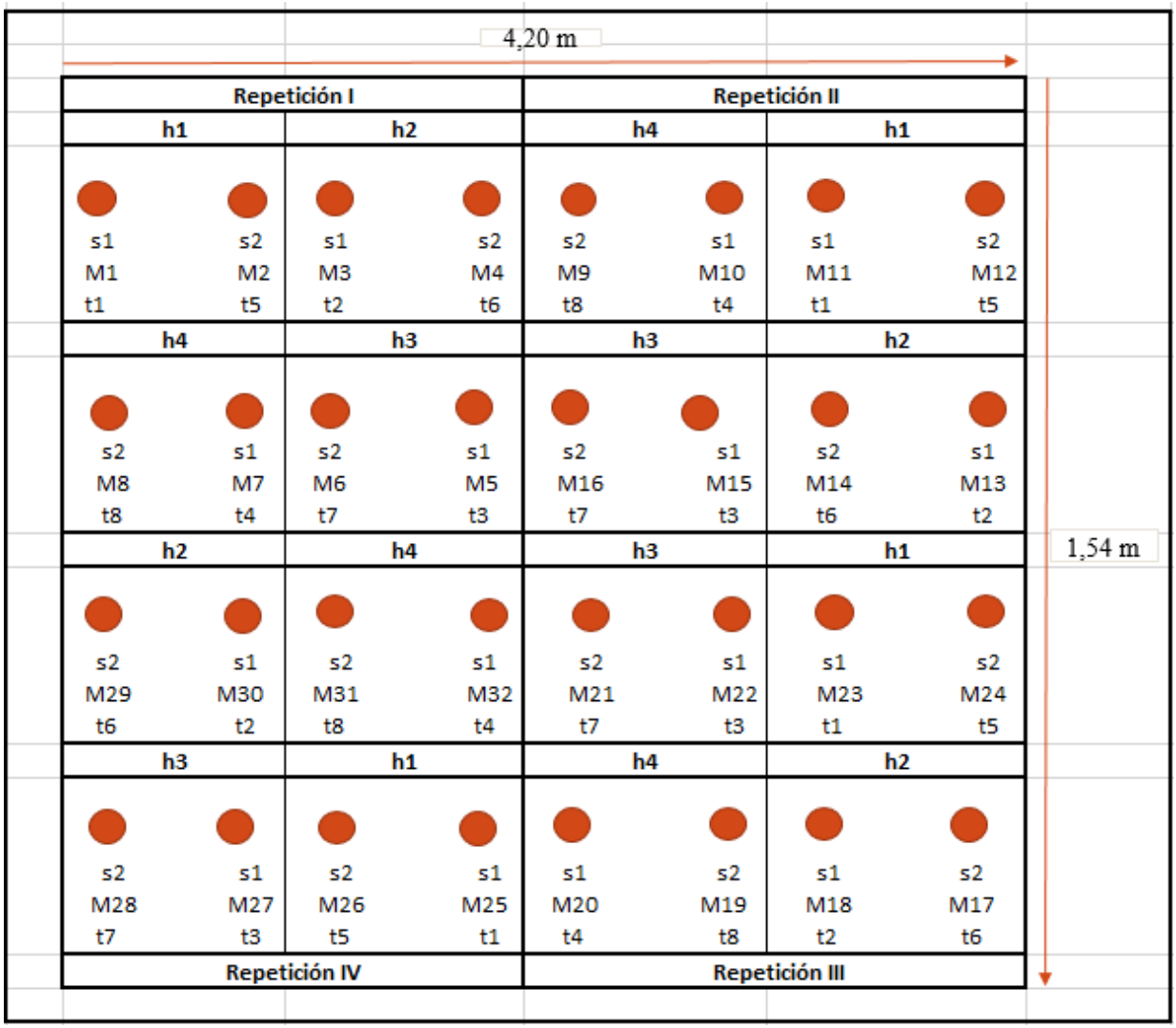
Tabla 14. *Tratamientos, tipos de suelo y humedad del suelo*

Tratamientos	Tipos de suelo	Humedad del suelo	Contenido de agua
t1	s1	h1	Franco 100%
t2	s1	h2	Franco 75%
t3	s1	h3	Franco 50%
t4	s1	h4	Franco 25%
t5	s2	h1	Arenoso 100%
t6	s2	h2	Arenoso 75%
t7	s2	h3	Arenoso 50%
t8	s2	h4	Arenoso 25%

9.4. Distribución de la parcela experimental y neta

En la Ilustración 1 se muestra la distribución de la parcela experimental en el invernadero, conformada por 32 unidades experimentales (macetas) distribuidas en cuatro repeticiones. En cada repetición se asignó aleatoriamente los ocho tratamientos producto de la combinación de los dos tipos de suelo: franco (s1) y arenoso (s2) con cuatro niveles de humedad del suelo (h1:100%, h2:75%, h3:50% y h4:25% de capacidad de campo).

Ilustración 1. *Distribución de la parcela experimental en invernadero*



9.4.1. Especificaciones del Campo Experimental

- **Número de tratamientos:** 8
- **Número de repeticiones:** 4
- **Número de Unidades Experimentales:** 32
- **Forma de parcela:** Rectangular
- **Área de parcela total:** 4,20 m x 1,54 m = 6,468 m^2
- **Área de parcela neta:** Área neta = 3,80 m x 1,14 m = 4,332 m^2
- **Densidad de siembra:** Siembra manualmente 6 semillas por maceta.

9.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

9.5.1. Observación visual del invernadero

Es de gran importancia realizar esta observación para poder evaluar los signos de estrés

que presente las plantas en aspectos físicos y las condiciones en las que se encuentra el invernadero.

9.5.2. Selección de muestras

Se realiza una selección de plantas dentro de cada bloque para evaluar las diferentes características de las plantas al estar expuestas a diferentes tipos de estrés hídrico (L1, L2, L3 y L4) de cada muestra.

9.5.3. Registro de datos

Los datos tomados en campo se llevaron a cabo utilizando una libreta de campo para luego pasarlo a una matriz en Excel para poder ordenar y guardar la información de las diferentes variables y con ello obtener dichos resultados de nuestra investigación.

9.5.4. Análisis estadístico

Con los datos registrados del libro de campo se realiza un análisis estadístico de los diferentes tratamientos, para ello, los datos se registraron en Excel y con el programa de InfoStat nos permitió que sea más fácil realizar el análisis estadístico interpretando mejor los resultados obtenidos y la comparación de las variables estudiadas en el experimento.

9.5.5. Fisher LSD

La prueba de Fisher LSD (Diferencia Mínima Significativa) es un método utilizado para comparar las medidas de los tratamientos después de realizar un análisis de varianza (ANOVA). Esta prueba permite identificar que tratamientos presentan diferencias significativas entre sí, contribuyendo a una mejor interpretación de los resultados experimentales (Lynne & Abdi, 2010).

9.5.6. Análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística empleada para evaluar las diferencias existentes entre las medidas de dos o más grupos. Este método nos permite determinar si los factores estudiados ejercen un efecto significativo sobre las variables de respuesta y analizar la influencia de uno o más tratamientos (Dagnino, 2014).

9.5.7. Cuadro Descriptivo

Los resultados obtenidos se presentaron mediante cuadros descriptivos, los cuales

permitieron resumir y organizar la información de manera clara y concisa, estos cuadros facilitaron la comprensión y comparación de los datos obtenidos a las variables evaluadas en la investigación.

9.5.8. Prueba de Shapiro -Wilk

Es una prueba estadística utilizada para determinar si una muestra de datos sigue una distribución normal. Fue desarrollada por Samuel Shapiro y Martin-Wilk en 1965 y se basa en la covarianza entre los valores ordenados de la muestra y los valores esperados bajo la hipótesis de normalidad. Si el p- valor es mayor que 0,05 no se rechaza la hipótesis nula, si p-valor es menor o igual a 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se considera que los datos no siguen una distribución normal (Shapiro & Wilk, 1965).

9.5.9. Prueba de Levene

Es una prueba estadística inferencial que fue propuesta por Howard Levene es utilizada para evaluar la homogeneidad de varianzas para una variable calculada para dos o más grupos. Su hipótesis nula establece que las varianzas poblacionales son iguales mientras que la hipótesis alternativa indica que al menos una de ellas difiera significativamente. Si el p-valor es mayor que 0,05, se acepta que las varianzas son homogéneas y si p-valor es menor o igual a 0,05 las varianzas son diferentes y no se cumple este supuesto (Llanes Hernández & Osuna Vergara, 2022).

9.6. Metodología del experimento

Objetivo 1:

9.6.1. Adecuación del Experimento

Para la adecuación del ensayo de investigación, se realizó la limpieza y acondicionamiento del área dentro del invernadero para garantizar una condición adecuada para el desarrollo del cultivo, donde se colocarían las 32 macetas. Estas macetas fueron previamente lavadas y desinfectadas para asegurar un ambiente libre de contaminantes. Se distribuyeron las unidades experimentales de acuerdo con el diseño experimental establecido, identificando cada tratamiento y repetición para facilitar el manejo y evaluación del ensayo, obteniendo unos resultados favorables del estudio de la variedad de trigo INIAP -YURAK 2024 bajo condiciones controladas.

9.6.2. Utilización de semillas

Se utilizó semillas de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024, proporcionadas por el Programa de Cereales del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), estas fueron previamente desinfectadas y se seleccionaron en base a su uniformidad física, sanidad y alto poder germinativo. Antes de la siembra, las semillas fueron revisadas para descartar aquellas que presentaban síntomas de enfermedades.

9.6.3. Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato, se recolectó muestras del suelo franco provenientes de del INIAP y muestras del suelo arenoso que se obtuvo de la provincia de Cotopaxi, parroquia de Guaytacama, barrio la Floresta, ambas muestras fueron secadas al aire y posteriormente tamizadas con el fin de eliminar impurezas y residuos vegetales. El sustrato se distribuyó en 32 macetas: 16 macetas con suelo franco, cada una con 2 kg de sustrato, y 16 macetas con suelo arenoso, cada una con 3 kg de sustrato, asegurándonos de que tengan el mismo volumen entre ellas mediante el uso de una balanza calibrada en kilogramos. Los sustratos fueron saturados con agua y se dejaron en reposo durante 48 horas para el suelo arenoso y 72 horas para el suelo franco antes de iniciar el ensayo.

9.6.4. Instalación del ensayo dentro del invernadero

Las macetas fueron distribuidas dentro del invernadero siguiente el diseño experimental establecido. Se identificó cada tratamiento mediante etiquetas y se mantuvo una adecuada separación entre macetas para evitar interferencia durante el desarrollo del cultivo, la aplicación del riego que le vamos a dar a cada uno y la toma de datos.

9.6.5. Fertilizante

Antes de proceder con la siembra, se aplicó un fertilizante con la fórmula 15-30-15 (Nitrógeno-Fósforo-Potasio) con una dosis de 5 gr/maceta. Este paso fue importante para favorecer un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas y fue removido en el sustrato para que este no se quede en la superficie.

9.6.6. Siembra

Una vez que tenemos las macetas etiquetadas con la información correspondiente del número de surco, lámina de riego, tratamiento y la repetición, la siembra se realizó en el mes

de noviembre del 2025, se realizó manualmente depositando 6 semillas de trigo previamente desinfectadas a una profundidad de 2 cm en cada maceta y se cubrieron con una capa ligera de sustrato.

9.6.7. Riego

Se determinó mediante diferencias de pesos registrados en cada maceta antes y después del riego, la cantidad de pérdida de peso es igual a la cantidad de agua al aplicarse. Los riegos se efectuaron tres veces por semana durante el desarrollo del cultivo. Así mismo, tres semanas antes de la cosecha se suspendió la aplicación de agua con el fin de favorecer el proceso de maduración y secado del trigo. Todos los datos relacionados con el manejo del riego fueron registrados y organizados en Excel, lo que permitió llevar un control preciso de las condiciones experimentales y asegurar el seguimiento de la información obtenida.

9.6.8. Control de malezas

El control de malezas se realizó manualmente durante todo el ciclo del cultivo, eliminando las especies que competían por agua, luz y nutrientes, con el fin de evitar efectos que pudieran alterar los resultados de la investigación.

9.6.9. Aplicación de Urea

La aplicación de Urea se realizó a los 45 días después de la siembra, se aplicó la solución 3 veces durante la etapa de macollamiento del cultivo. Para ello, se preparó una solución compuesta por 5 g de Urea disueltos en 2 L de agua. Después se aplicó 50 ml de esta solución en cada maceta, con el propósito de proporcionar nitrógeno suficiente para favorecer el crecimiento adecuado de las plantas y minimizar deficiencias nutricionales.

Objetivo 2:

9.6.10. Monitoreo y evaluación de variables

Durante el ciclo del cultivo se realizaron evaluaciones de las variables establecidas en la investigación, tales como días al espigamiento, altura de planta, número de macollos, número de espigas, longitud de las espigas, rendimiento, número de granos por espiga, peso de la materia seca y el tipo y color de grano del trigo. Los datos obtenidos fueron registrados y organizados para su análisis estadístico.

9.6.11. Cosecha y trilla

La cosecha se efectuó cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Posteriormente, las muestras fueron identificadas y etiquetadas por surcos, utilizando bolsas de papel para almacenar cada muestra cosechada. Cada muestra fue pesada mediante una blanca de precisión y los datos obtenidos fueron registrados para su análisis. A continuación, se realizó el trillado manual de las espigas para separar los granos, estos fueron limpiados, pesados y registrados para la determinación de las variables de rendimiento del cultivo. Finalmente, los granos fueron almacenados en bolsas de papel de menos tamaño, debidamente identificadas para su análisis.

9.7. Variables

9.7.1. Días al espigamiento

Para evaluar esta variable, se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de cada unidad experimental se visualice la espiga. Esta variable permitió determinar el efecto de los tratamientos de humedad sobre el desarrollo del cultivo.

9.7.2. Altura de la planta

La altura de la planta se determinó al momento de la cosecha utilizando una regla en centímetros. La medición se realizó desde la superficie del suelo hasta la parte superior de la espiga de cada planta, y los datos obtenidos fueron registrados para su análisis.

9.7.3. Longitud de la espiga

Esta variable es únicamente el tamaño final que ha alcanzado la espiga. Para la longitud de la espiga se utilizó una regla midiendo desde la base hasta el ápice de la espiga. Los datos obtenidos se registraron en centímetros.

9.7.4. Peso de la espiga

Esta variable se avaluó después de la cosecha, se pesó todas las espigas cosechadas de cada unidad experimental utilizando una balanza de precisión. Los resultados obtenidos se expresaron en gramos.

9.7.5. Número de granos por espiga

Esta variable se determinó mediante el conteo manual del número de granos por espiga.

Primero trillamos y eliminamos las impurezas que existan para que se nos sea más fácil el conteo.

9.7.6. Rendimiento

El rendimiento se determinó mediante el peso total de los granos cosechados en cada unidad experimental. Esta variable permitió evaluar la productividad del cultivo bajo diferentes niveles de humedad y tipos de suelo.

9.7.7. Peso de materia seca

Esta variable se obtuvo después de la cosecha, cuando el material vegetativo ya se encontró completamente seco. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en una balanza de precisión y los resultados se expresaron en gramos.

9.7.8. Tipo y color del grano

Esta variable se realizó una evaluación visual de las características físicas del grano cosechado, utilizamos el manual del INIAP, “Parámetros de Evaluación y Selección en Cereales”. Una vez que los granos fueron clasificados y etiquetados en sobres, se abrieron uno por uno para observar y registrar el color y tamaño de cada grano. Esta variable permitió identificar posibles cambios ocasionados por los tratamientos evaluados.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1. Medidas de resumen

10.1.1. Días al espigamiento

En la Tabla 15 se observa que la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 presento diferencias en el tiempo requerido para alcanzar el espigamiento según el tipo de suelo. En el suelo arenoso, las plantas alcanzaron el espigamiento a los 47 días, mientras que en suelo franco ocurrió a los 52 días, demostrando una diferencia de 5 días entre ambos suelos.

Tabla 15. *Promedio de días al espigamiento por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Tipo Suelo	Días al espigamiento (días)
Arenoso	47
Franco	52

En la Tabla 16 se observa que los días al espigamiento permanecieron constantes en todos los niveles de humedad evaluados, tanto en el suelo arenoso como en el suelo franco. En el suelo arenoso, las plantas alcanzaron el espigamiento a los 47 días en los niveles de humedad de 100%, 75%, 50% y 25%, mientras que en el suelo franco el espigamiento ocurrió a los 52 días en todos los tratamientos de humedad.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Tigse Quezada (2024), en su estudio sobre tolerancia a la sequía en trigo en diferentes variedades que alcanzó el espigamiento entre los 64 y 68 días, lo que sugiere que los cereales expuestos a condiciones de déficit hídrico pueden acelerar su desarrollo fenológico como un mecanismo de adaptación, adelantado su madurez. Así mismo Ponce-Molina et al., (2019) señala que los días al espigamiento está influenciado por factores ambientales, entre ellos la disponibilidad de agua, la sequía y las fluctuaciones de temperatura, las cuales pueden modificar el desarrollo fenológico del cultivo.

Tabla 16. *Promedio para Humedad de suelo en días al espigamiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad	Suelo	Variable	Mínimo	Máximo
25	Arenoso	Días floración	47	47
25	Franco	Días floración	52	52
50	Arenoso	Días floración	47	47
50	Franco	Días floración	52	52
75	Arenoso	Días floración	47	47
75	Franco	Días floración	52	52
100	Arenoso	Días floración	47	47
100	Franco	Días floración	52	52

10.1.2. Altura de planta

En el ADEVA Tabla 17 se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H); significancia estadística (0,01) para la interacción para tipo de suelo por humedad (S x H) y ninguna significación estadística (>0,05) para repeticiones y tipo de suelo (S). Por la alta significancia para humedad de suelo aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento de la altura de planta en diferentes niveles de humedad del suelo. La significancia estadística para la interacción tipos de suelo por la humedad del suelo nos indica que existe una relación o interacción entre ellos. El promedio general del experimento fue de 67,08 cm, con un coeficiente de variación de 8,84%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 17. *ADEVA para altura de planta a la cosecha en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	4010,32				
Repeticiones	3	93,04	31,01	0,88	0,4687	n.s.
Suelo (S)	1	306,96	306,96	10,11	0,0501	n.s.
Error (a)	3	91,06	30,35	0,86	0,4778	
Humedad (H)	3	2391,48	797,16	22,69	<0,0001	**
S x H	3	495,25	165,08	4,7	0,0136	*
Error	18	632,52	35,14			
Promedio (cm)	67,08					
CV (%)	8,84					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

A pesar de la no significancia estadística Tabla 18, el tipo de suelo con el mayor promedio de altura de planta se observó para el suelo arenoso con 70,18 cm, mientras que el suelo franco presentó 63,99 cm de altura.

Tabla 18. *Promedio de altura de planta por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Tipo Suelo	Altura planta (cm)
Arenoso	70,18
Franco	63,99

La prueba de Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 19, identificó dos rangos de significancia estadística, ubicándose en el primer rango (a) las humedades de 100, 75 y 50 % con valores entre 74,59 a 66,99 cm, respectivamente; mientras que en el último rango (b) se ubicó la humedad de 25% con un valor de 53,01 cm de altura.

Tabla 19. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo en altura de planta en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Altura planta (cm)	R. de significación
100	74,59	a
75	73,75	a
50	66,99	a
25	53,01	b

La prueba de Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 20, identificó cuatro rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo al 75% con un valor de 75,58 cm, mientras tanto que en el último rango (c) se ubicó el suelo franco por la humedad del 25% con 44,81 cm.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Nyaupane et al., (2024), quienes indican que la reducción de la disponibilidad de agua limita el crecimiento del trigo al disminuir la expansión y división celular, provocando una reducción significativa en la altura de las plantas. En este estudio, el mayor crecimiento se registró en el suelo franco con 75% de humedad, mientras que en el menor se observó en el mismo tipo de suelo con 25% de humedad, lo que evidencia el efecto negativo del déficit hídrico sobre el desarrollo vegetativo.

Tabla 20. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para altura de la planta en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Altura planta (cm)								
Tipo de suelo	**Humedad del suelo (%)**							
	25		50		75		100	
Arenoso	61,2	b	72,41	ab	71,92	ab	75,19	ab
Franco	44,81	c	61,56	ab	75,58	a	73,99	ab

10.1.3. Longitud de la espiga

En el ADEVA Tabla 21 no se observó ninguna significancia estadística (>0,05) para las repeticiones, el tipo de suelo (S), la humedad (H) ni para la interacción suelo por humedad (S x H). Por la no significancia estadística para tipo de suelo, humedad y la interacción suelo por humedad se acepta la hipótesis nula, la cual indica que la longitud de la espiga presentó un comportamiento similar en los diferentes niveles de los factores evaluados y su interacción. El promedio general del experimento para la longitud de la espiga fue de 14,33 cm, con un coeficiente de variación de 5,79%, valor que se considera bueno para este tipo de investigación.

Tabla 21. *ADEVA para longitud de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	**Grados de libertad**	**Suma de Cuadrados**	**Cuadrados Medios**	**F calculado**	**p-valor**	**R. significación**
Total	31	25,64				
Repeticiones	3	3,57	1,19	1,73	0,1961	n.s.
Suelo (S)	1	1,61	1,61	0,98	0,3957	n.s.
Error (a)	3	4,93	1,64	2,39	0,1026	
Humedad (H)	3	1,69	0,56	0,82	0,4998	n.s.
S x H	3	1,47	0,49	0,72	0,5556	n.s.
Error	18	12,37	0,69			
Promedio (cm)	14,33					
CV (%)	5,79					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

La significancia estadística para el tipo de suelo Tabla 22, con el mayor promedio de longitud de la espiga se observó para el suelo franco con 14,55 espigas, mientras que el suelo arenoso presentó 14,1 espigas.

Tabla 22. *Promedio para longitud de la espiga por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Longitud de la espiga (cm)
Franco	14,55
Arenoso	14,1

La prueba de Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 23, no identificó diferencias estadísticas entre ellos, ya que todos los niveles de humedad de 100 %, 75%, 50% y 25% se ubicaron en un mismo rango /a) de significancia estadística. Aunque la mayor longitud de espiga se registró con una humedad del 75% con un valor de 14,6 cm, seguido por los niveles de humedad del 100%, 50% y 25% con valores de 14,44, 14,29 y 13,98 cm, respectivamente.

Tabla 23. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para longitud de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Longitud de la espiga (cm)	R. de significación
75	14,6	a
100	14,44	a
50	14,29	a
25	13,98	a

La prueba de Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 24 no identificó significancia estadística entre sí, debido a que todas las combinaciones se ubicaron dentro del mismo rango de significación (a). Aunque el mayor valor de longitud de la espiga se obtuvo en el suelo franco con 75% de humedad con un valor de 15,04 cm y el menor valor se registró para el suelo franco con 25% de humedad con un valor de 13,96 cm.

Los resultados concuerdan con lo reportado por Serna (2024) donde señala que esta variable presentó una baja respuesta frente a los distintos niveles de humedad, mientras que en un estudio realizado en Perú con 15 líneas avanzadas de trigo evidenció que algunos genotipos

no mostraron diferencias significativas en la longitud de la espiga bajo déficit hídrico, lo que confirma que esta característica depende tanto de la intensidad del estrés como del genotipo evaluado.

Tabla 24. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para longitud de la espiga en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

	Longitud de la espiga (cm)							
Tipo de suelo	**Humedad del suelo (%)**							
	25		50		75		100	
Arenoso	14	a	14,25	a	14,17	a	14	a
Franco	13,96	a	14,33	a	15,04	a	14,88	a

10.1.4. Número de granos por espiga

En el ADEVA Tabla 25 se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H); y ninguna significancia estadística (>0,05) para repeticiones, tipo de suelo (S) y la interacción suelo por humedad (S x H). Por la alta significancia para humedad de suelo aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento de granos por espiga en diferentes niveles de humedad del suelo. La no significancia estadística para los factores tipo suelo y la interacción tipo de suelo por humedad del suelo nos indica que la respuesta fue similar. El promedio general del experimento fue de 26,93 granos, con un coeficiente de variación de 15,88%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 25. *ADEVA para la variable número de granos por espiga en estudio de la tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	1405,12				
Repeticiones	3	20,45	6,82	0,37	0,7736	n.s.
Suelo (S)	1	72,96	72,96	3,16	0,1736	n.s.
Error (a)	3	69,31	23,1	1,26	0,3167	

Humedad (H)	3	744,91	248,3	13,58	0,0001	**
S x H	3	168,31	56,1	3,07	0,0544	n.s.
Error	18	329,18	18,29			
Promedio (#)	26,93					
CV (%)	15,88					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

A pesar de que el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre los tipos de suelo Tabla 26, se observó que el suelo franco presentó el mayor promedio de número de granos por espiga con 28,44 granos, mientras que el suelo arenoso registró un promedio de 25,42 granos por espiga. Estos resultados indican una tendencia favorable del suelo franco para esta variable, aun que dicha referencia no fue suficiente para alcanzar significancia estadística.

Tabla 26. *Promedio de número de granos por espiga por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026***.**

Tipo de Suelo	Número de granos por espiga (#)
Franco	28,44
Arenoso	25,42

La prueba de Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 27, identificó dos rangos de significancia estadística. En el primer rango (a) se ubicaron los tratamientos con humedades del 100, 75 y 50 % que registraron promedios de entre 31,79 a 28,08 granos por espiga. Mientras que en el último rango (b) se ubicó un tratamiento con la humedad de 25% con un promedio de 18,92 granos por espiga.

Tabla 27. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo en número de granos por espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Número de granos por espiga (#)	R. de significación
100	31,79	a
75	28,92	a
50	28,08	a

25	18,92	b

La prueba de Tukey al 5% para la interacción entre tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 28, identificó seis rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo al 100% con un promedio de 34,33 granos por espiga, mientras tanto que en el último rango (c) se ubicó el suelo franco por la humedad del 25% con 17,08 granos por espiga.

Los resultados concuerdan con Vahamidis et al. (2019) demostraron que una menor disponibilidad de agua durante el desarrollo reproductivo disminuye significativamente el número de granos por espiga, debido a la reducción de la fertilidad floral y del establecimiento de los granos. Así mismo, Mabhaudi et al., (2022) indica que este componente del rendimiento es unos de los más sensibles a la sequía, con reducciones que pueden oscilar entre el 38% y el 50%.

Tabla 28. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para número de granos por espiga en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

	Número de granos por espiga (#)							
Tipo de suelo	**Humedad del suelo (%)**							
	25		50		75		100	
Arenoso	20,75	bc	27,17	abc	24,5	abc	29,25	ab
Franco	17,08	c	29	ab	33,33	a	34,33	a

10.1.5. Número de macollos

En el ADEVA Tabla 29 se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H); significancia estadística (0,01) para tipo de suelo (S) y la interacción suelo por humedad (S x H); y ninguna significancia estadística (>0,05) para repeticiones. Por la alta significancia para humedad de suelo y significancia para tipo de suelo y la interacción suelo por humedad aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento en el

número de macollos en diferentes niveles de humedad del suelo. El promedio general del experimento fue de 1,11 número de macollos, con un coeficiente de variación de 10,61%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 29. *ADEVA para número de macollos en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	1,14				
Repeticiones	3	0,04	0,01	0,9	0,459	n.s.
Suelo (S)	1	0,23	0,23	14,29	0,0324	*
Error (a)	3	0,05	0,02	1,19	0,3413	
Humedad (H)	3	0,38	0,13	9,08	0,0007	**
S x H	3	0,19	0,06	4,68	0,0138	*
Error	18	0,25	0,01			
Promedio (#)	1,11					
CV (%)	10,61					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

La significancia estadística para el tipo de suelo Tabla 30, con el mayor promedio de altura de planta se observó para el suelo franco con 1,19 número de macollos, mientras que el suelo arenoso presentó 1,02 número de macollos.

Tabla 30. *Promedio de número de macollos por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Número de macollos (#)
Franco	1,19
Arenoso	1,02

La prueba de Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 31, identificó tres rangos de significancia estadística, ubicándose en el primer rango (a) la humedad de 100 % con un valor de 1,27 número de macollos, el segundo rango (ab) la humedad de 75% con un valor de 1,13

número de macollos, mientras que el último rango (b) de las humedades 50 y 25% con valores entre 1,02 y 1 % número de macollos.

Tabla 31. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo en número de macollos en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad de suelo (%)	Número de macollos (#)	R. de significación
100	1,27	a
75	1,13	ab
50	1,02	b
25	1	b

Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 32, identificó tres rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo al 100% con un valor de 1,46 macollos. Los demás tratamientos, conformados por el suelo arenoso en todos los niveles de humedad 25%, 50%, 75% y 100% con valores de 1 y 1,09 y el suelo franco con humedades de 25% y 50% se ubicaron en el rango (b) con valores entre 1 y 1,04 macollos.

Estos resultados concuerdan con Shang et al., (2021), quienes indican que la disponibilidad de agua es unos de los principales factores que regulan la formación y supervivencia de los macollos, por lo que el déficit hídrico limita su desarrollo. De igual manera, Rawtiya y Kasal (2021) señalan que la reducción del contenido de humedad del suelo disminuye el crecimiento vegetativo y el número de macollos.

Tabla 32. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para número de macollos en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Numero de macollos (#)							
	Humedad del suelo (%)							
	25		50		75		100	
Arenoso	1	b	1	b	1	b	1,09	b
Franco	1	b	1,04	b	1,27	ab	1,46	a

10.1.6. Número de espigas

En el ADEVA Tabla 33 se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H) y significancia estadística (0,01) para tipo de suelo (S) y la interacción suelo por humedad (S x H); y ninguna significancia estadística (>0,05) para repeticiones. Por la alta significancia para humedad de suelo y significancia para tipo de suelo y la interacción suelo por humedad aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento de número de espigas en diferentes niveles de humedad del suelo. El promedio general del experimento fue de 6,63 número de espigas, con un coeficiente de variación de 11,32%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 33. *ADEVA para número de espigas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	1,14				
Repetición	3	0,04	0,01	0,9	0,459	n.s.
Suelo (S)	1	0,23	0,23	14,29	0,0324	*
Error (a)	3	0,05	0,02	1,19	0,3413	
Humedad (H)	3	0,38	0,13	9,08	0,0007	**
S x H	3	0,19	0,06	4,68	0,0138	*
Error	18	0,25	0,01			
Promedio (#)	6,63					
CV (%)	11,32					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

La significancia estadística para el tipo de suelo Tabla 34, con el mayor promedio de número de espigas se observó para el suelo franco con 1,19 espigas, mientras que el suelo arenoso presentó 1,02 espigas.

Tabla 34. *Promedio para número de espigas por tipo de suelo para número de espigas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Número de espigas (#)
Franco	7,06
Arenoso	6,19

La prueba de Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 35, identificó tres rangos de significancia estadística, ubicándose en el primer rango (a) la humedad de 100 % con un valor de 7,75 espigas, el segundo rango (ab) la humedad de 75% con un valor de 6,75 espigas, mientras que el último rango (b) de las humedades 50 y 25% con valores entre 6,13 y 5,88 % espigas.

Tabla 35. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad del suelo en número de espigas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Número de espigas (#)	R. de significación
100	7,75	a
75	6,75	ab
50	6,13	b
25	5,88	b

Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 36, identificó tres rangos de significación, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo al 100% con un valor de 9 espigas. Los demás tratamientos, conformados por el suelo arenoso en todos los niveles de humedad 100%, 75%, 50% y 25% con valores de 6 y 6,25 y el suelo franco con humedades de 25% y 50% se ubicaron en el rango (b) con valores entre 5,75 y 6,25 espigas.

Los resultados identificados en esta investigación concuerdan con Ghanem y Al-Farouk (2024) donde su estudio fue evaluar la respuesta de cuatro variedades egipcias de trigo harinero frente al estrés hídrico para identificar cuáles presentan mayor tolerancia a la sequía y pueden ser utilizadas en programas de mejoramiento genético y donde demuestra que el número de espigas es un componente altamente sensible al estrés hídrico. Ya que una disminución de este parámetro refleja que la sequía afectó la supervivencia de los macollos fértiles y, por lo tanto, se reduce el potencial del rendimiento. En cambio, si una variedad mantiene un mayor número de espigas bajo el estrés hídrico, puede considerarse que presenta una mejor capacidad de tolerancia a la sequía

Tabla 36. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para número de espigas en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Número de espigas (#)							
	Humedad del suelo (%)							
	25		50		75		100	
Arenoso	6	b	6	b	6,25	b	6,5	b
Franco	5,75	b	6,25	b	7,25	ab	9	a

10.1.7. Peso de la espiga

En el ADEVA Tabla 37 se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H) y ninguna significancia estadística (>0,05) para repeticiones, tipo de suelo (S) y la interacción suelo por humedad (S x H). Por la alta significancia para humedad de suelo aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento de peso de la espiga en diferentes niveles de humedad del suelo. Por la no significancia estadística para tipo de suelo y la interacción suelo por humedad se acepta la hipótesis nula, la cual indica que el peso de la espiga presentó un comportamiento similar en los diferentes niveles de los factores evaluados y su interacción. El promedio general del experimento fue de 1,32 g, con un coeficiente de variación de 19,66%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 37. *ADEVA para peso de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	7,58				
Repeticiones	3	0,02	0,01	0,08	0,969	n.s.
Suelo (S)	1	3,10	3,10	0,16	0,7153	n.s.
Error (a)	3	0,06	0,02	0,29	0,83	
Humedad (H)	3	6,02	2,01	30,03	<0,0001	**
S x H	3	0,28	0,09	1,38	0,2818	n.s.

Error	18	1,2	0,07
Promedio (g)	1,32		
CV (%)	19,66		

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

La significancia estadística para el tipo de suelo Tabla 38, con el mayor promedio de peso de la espiga se observó para el suelo arenoso con 1,33 g, mientras que el suelo franco presentó 1,31 g.

Tabla 38. *Promedio para peso de la espiga por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Peso espiga (g)
Arenoso	1,33
Franco	1,31

Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 39, identificó tres rangos de significancia estadística, ubicándose en el primer rango (a) la humedad de 100 % y 75% con un valor de 1,7 y 1,66% g, el segundo rango (b) la humedad de 50% con un valor de 1,28 g, mientras que el último rango (c) la humedad de 25% con un valor de 0,62 g.

Tabla 39. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para peso de la espiga en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Peso espiga (g)	R. de significación
100	1,7	a
75	1,66	a
50	1,28	b
25	0,62	c

Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 40, identificó cuatro rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo al 75% con un valor de 1,77 g, mientras tanto que en el último rango (c) se ubicó el suelo franco por la humedad del 25% con un valor de 0,47 g.

Los datos obtenidos en esta investigación se ajustan con lo que menciona Nyaupane et al. (2024), quienes indican que el estrés hídrico afecta negativamente el peso de la espiga al disminuir la actividad fotosintética y limitar el transporte de foto asimilados hacia los órganos reproductivos. Como consecuencia, la espiga acumula menor cantidad de materia seca, se afecta el llenado de los granos y disminuye su peso. Así mismo, Sallam et al. (2022) indica que el déficit hídrico afecta con mayor intensidad las etapas de espigamiento, floración y llenado de grano, provocando una disminución de la biomasa destinada a la espiga y como consecuencia, disminuyen el número de granos por espiga, el peso de los granos y el rendimiento final.

Tabla 40. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para peso de la espiga en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

	Peso espiga (g)							
Tipo de suelo	**Humedad del suelo (%)**							
	25		50		75		100	
Arenoso	0,76	bc	1,3	ab	1,54	a	1,7	a
Franco	0,47	c	1,27	ab	1,77	a	1,71	a

10.1.8. Rendimiento

En el ADEVA Tabla 41 se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H) y ninguna significancia estadística (>0,05) para repeticiones, tipo de suelo (S) y la interacción suelo por humedad (S x H). Por la alta significancia para humedad de suelo aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento en el rendimiento en diferentes niveles de humedad del suelo. Por la no significancia estadística para tipo de suelo y la interacción suelo por humedad se acepta la hipótesis nula, la cual indica que el rendimiento presentó un comportamiento similar en los diferentes niveles de los factores evaluados y su interacción. El promedio general del experimento fue de 26,93 g, con un coeficiente de variación de 28,25%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 41. *ADEVA para el rendimiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	4,7				
Repeticiones	3	0,1	0,03	0,5	0,6844	n.s.
Suelo (S)	1	0,01	0,01	2,2	0,2347	n.s.
Error (a)	3	0,02	0,01	0,09	0,9647	
Humedad	3	3,12	1,04	15	<0,0001	**
S x H	3	0,19	0,06	0,93	0,4459	n.s.
Error	18	1,25	0,07			
Promedio (g)	26,93					
CV (%)	28,25					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

La significancia estadística para el tipo de suelo Tabla 42, con el mayor promedio de rendimiento se observó para el suelo arenoso con 0,96 g, mientras que el suelo franco presentó 0,95 g.

Tabla 42. *Promedio para el rendimiento por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Rendimiento (g)
Arenoso	0,96
Franco	0,95

Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 43, identificó tres rangos de significancia estadística, ubicándose en el primer rango (a) la humedad de 100 % y 75% con un valor de 1,24 y 1,22 g, el segundo rango (b) la humedad de 50% con un valor de 0,95 g y el tercer rango (c) la humedad del 25% con un valor de 0,42 g.

Tabla 43. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para el rendimiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Rendimiento (g)	R. de significación
100	1,24	a
75	1,22	a
50	0,95	b
25	0,42	c

Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 44, identificó cinco rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo del 100% con un valor de 34,33 g, mientras tanto que en el último rango (c) se ubicó el suelo franco por la humedad del 25% con un valor de 17,08 g.

Los resultados identificados en esta investigación coinciden con lo reportado por Wan et al. (2022), quienes, mediante un metaanálisis de 48 estudios realizados en diferentes regiones del mundo, demostraron que la sequía reduce significativamente el rendimiento del trigo debido a la disminución del número de espigas, el número de granos por espiga, el peso del grano y la producción de biomasa. Así mismo, Sarto et al. (2017) indican que las mayores pérdidas de rendimiento ocurren cuando el déficit hídrico coincide con las etapas de espigamiento, floración y llenado del grano, ya que durante este período se define el potencial productivo del cultivo.

Tabla 44. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para el rendimiento en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

	Rendimiento (g)							
Tipo de suelo	Humedad del suelo (%)							
	25		50		75		100	
Arenoso	20,75	bc	27,17	abc	24,5	abc	29,25	ab
Franco	17,08	c	29	ab	33,33	a	34,33	a

10.1.9. Materia seca

En el ADEVA Tabla 45, se observa alta significancia estadística (<0.001) para humedad (H) y ninguna significancia estadística (>0,05) para repeticiones, tipo de suelo (S) y la interacción suelo por humedad (S x H). Por la alta significancia para humedad de suelo aceptamos la hipótesis alternativa que nos indica que existe diferente comportamiento de la materia seca en diferentes niveles de humedad del suelo. Por la no significancia estadística para tipo de suelo y la interacción suelo por humedad se acepta la hipótesis nula, la cual indica que la materia seca presentó un comportamiento similar en los diferentes niveles de los factores evaluados y su interacción. El promedio general del experimento fue de 7,52 g, con un coeficiente de variación de 22,84%, que resulta ser bueno para este tipo de investigación.

Tabla 45. *ADEVA para la materia seca en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Fuentes de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	p-valor	R. significación
Total	31	206,66				
Repeticiones	3	13,49	4,5	1,53	0,2417	n.s.
Suelo (S)	1	0,02	0,02	0,01	0,9466	n.s.
Error (a)	3	9,14	3,05	1,03	0,4011	
Humedad (H)	3	116,1	38,7	13,14	0,0001	**
S x H	3	14,89	4,96	1,69	0,2057	n.s.
Error	18	53,02	2,95			
Promedio (g)	7,52					
CV (%)	22,84					

**: Altamente significativo, *: Significativo y n.s.: no significativo

La significancia estadística para el tipo de suelo Tabla 46, con el mayor promedio de materia seca se observó para el suelo franco con 7,54 g, mientras que el suelo arenoso presentó 7,49 g.

Tabla 46. *Promedio para la materia seca por tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 224. Pichincha, 2026.*

Tipo de suelo	Materia seca (g)
Franco	7,54
Arenoso	7,49

Tukey al 5% para humedad del suelo Tabla 47, identificó dos rangos de significancia estadística, ubicándose en el primer rango (a) la humedad de 100 % y 75% con un valor de 9,69 y 9,01 g, el segundo rango (b) la humedad de 50% y 25% con un valor de 6,35 y 5,02 g de materia seca.

Tabla 47. *Promedio y Tukey al 5% para Humedad de suelo para la materia seca en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad del suelo (%)	Materia seca (g)	R. de significación
100	9,69	a
75	9,01	a
50	6,35	b
25	5,02	b

Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo Tabla 48, identificó cinco rangos de significación estadística, ubicándose en el primer rango (a) el suelo franco por la humedad del suelo del 100% con un valor de 10,88 g, mientras tanto que en el último rango (c) se ubicó el suelo franco por la humedad del 25% con un valor de 4,81 g.

El dato obtenido en esta investigación coincide con los señalado por Sallam et al. (2022), quienes indican que la producción de materia seca depende de la capacidad de la planta para mantener la fotosíntesis, el crecimiento y la absorción de nutrientes durante condiciones de déficit hídrico. Por eso las variedades tolerantes a la sequía suelen conservar una mayor producción de materia seca, ya que mantienen una mayor eficiencia en el uso del agua y una mejor actividad fisiológica durante el estrés. Por otra parte, Zhang et al. (2028), mediante un metaanálisis reportaron que la sequía reduce aproximadamente un 25% de biomasa del trigo, debido a la disminución de la actividad fotosintética y del crecimiento de la plata.

Tabla 48. *Promedios y Tukey al 5% para la interacción tipo de suelo por humedad de suelo para la materia seca en el estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Materia seca (g)								
Tipo de suelo	**Humedad del suelo (%)**							
	25		**50**		**75**		**100**	
Arenoso	5,23	c	6,8	abc	9,44	ab	8,49	abc
Franco	4,81	c	5,9	bc	8,57	abc	10,88	a

10.1.10. Tipo y color del grano

En la evaluación del tipo y color de grano de trigo de la variedad INIAP-YURAK 2024 Tabla 49, se observó que el color que más predomina fue el color blanco, presentándose variaciones principales en el tamaño y la calidad del grano. Los tratamientos t1 suelo franco al 100%, t3 suelo franco al 50%, t5 suelo arenoso al 100% y t6 suelo arenoso al 75% presentaron como 2B*, correspondiente a granos medianos, blancos y de buena calidad. El tratamiento t2 suelo franco al 75% registro granos 1B* que corresponde a grano grueso, blanco y de buena calidad. El tratamiento t7 suelo arenoso al 50% presento granos clasificados como 2B* y 2B+ correspondiente a granos medianos, blancos y de buena calidad y mala calidad. Los tratamientos t4 suelo franco al 25% y t8 suelo arenoso al 25% presentaron granos 3B+ que corresponde a granos pequeños, blancos y de mala calidad.

Tabla 49. *Tipo, color y forma del grano de trigo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Tratamientos	**Tipo de suelo - Humedad**	**Tipo, color y forma del grano**		
t1	franco, 100%	2B*		
t2	franco, 75%	1B*	2B*	
t3	franco, 50%	2B*		
t4	franco, 25%	3B+	2B*	2B+
t5	arenoso, 100%	2B*	3B+	
t6	arenoso,75%	2B*	1B*	
t7	arenoso, 50%	2B*	2B+	

t8	arenoso, 25%	3B+	2B*

En la tabla 50 presenta la escala utilizada para la clasificación y descripción de los granos de trigo de la variedad INIAP -YURAK 2024. La escala muestra las características del grano: tamaño, color y calidad.

El resultado de esta investigación el color del grano permaneció blanco en todos los tratamientos evaluados, lo que indica que el estrés hídrico no alteró esta característica. Este resultado coincide con Sallam et al. (2022) y Shewry y Hey (2015), quienes indican que el color del grano está determinado principalmente por la constitución genética de la variedad y presenta poca influencia de las condiciones ambientales, incluido el déficit hídrico. De igual manera, para el tipo de grano, se observó un predominio de granos de tamaño mediano lo que puede atribuirse al efecto del estrés hídrico sobre el proceso de llenado de grano. Wan et al. (2022) reportaron que la sequía disminuye el peso y el tamaño del grano debido a un llenado incompleto, aunque sin modificar significativamente su color.

Tabla 50. *Escala y descripción del grano de trigo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Escala	Descripción
2B*	Grano mediano, blanco, bueno
1B*	Grano grueso, blanco, bueno
3B+	Grano pequeño, blanco, malo
2B+	Grano mediano, blanco, malo

10.1.11. Pérdida de rendimiento

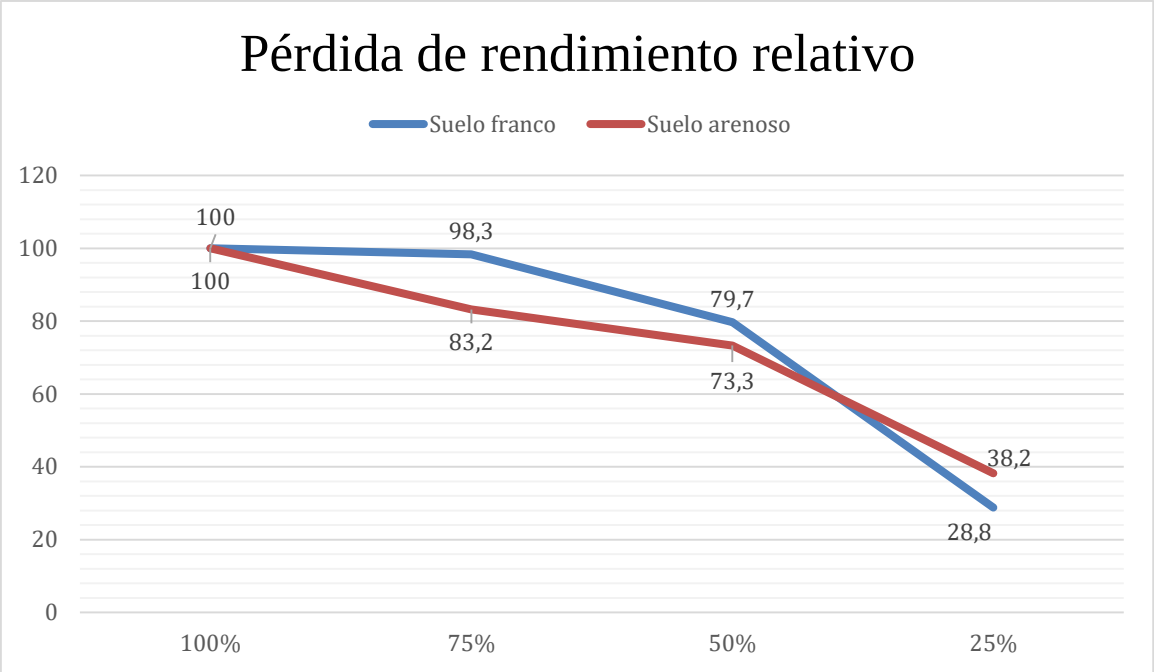
La pérdida del rendimiento Tabla 51, muestra que la disponibilidad de agua influyó en el comportamiento de las variables agronómicas de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024. El tratamiento con 100 % de humedad registró los mayores valores en todas las variables evaluadas, mientras que el tratamiento con 25 % de humedad presentó los valores más bajos. En general, se observó una disminución progresiva del crecimiento y del rendimiento del cultivo a medida que se redujo la humedad del suelo, evidenciando el efecto del déficit hídrico sobre el desarrollo de la planta.

Tabla 51. *Pérdida del rendimiento en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad (%)	Rendimiento relativo (%)	
	Arenoso	Franco
100	100,00	100,00
75	83,20	98,30
50	73,30	79,70
25	38,20	28,80

En el Gráfico 1 se observa que el rendimiento disminuyó progresivamente en ambos tipos de suelo. En el suelo franco disminuyó de 100% a 28,8% y en el suelo arenoso paso de 100% a 38,2%. Estos resultados muestran que el estrés hídrico afecto significativamente el rendimiento del cultivo, siendo más severa la pérdida bajo el nivel de humedad del 25%.

Gráfico 1. Pérdida del rendimiento relativo de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 bajo diferentes niveles de humedad del suelo



10.1.12. Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de las variables agronómicas

En la Tabla 52 presenta los resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene) aplicadas a las variables agronómicas evaluadas en el estudio. Los valores de significancia obtenidos fueron superiores a 0,05 en todas las variables, por lo que no se rechazó la hipótesis nula de ambas pruebas.

Tabla 52. *Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de las variables agronómicas en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Variables	Normalidad		Homogeneidad	
	P. Shapiro Wilks	R. significancia	P. Levene	R. significancia
Altura de planta	0,2115	n.s.	0,4558	n.s.
Longitud de espiga	0,9176	n.s.	0,1441	n.s.
Número de granos por espiga	0,2264	n.s.	0,1889	n.s.
Peso de espiga	0,7132	n.s.	0,0672	n.s.
Número de macollos	0,6564	n.s.	0,0538	n.s.

Número de espigas	0,2758	n.s.	0,1892	n.s.
Rendimiento	0,5637	n.s.	0,0712	n.s.
Peso materia seca	0,6065	n.s.	0,4354	n.s.

10.1.13. Resumen de tablas de las variables por el tipo de suelo

En la Tabla 53 presenta un resumen de los valores promedio de las variables agronómicas evaluadas según el tipo de suelo. El suelo franco registró mayores promedios en la longitud de espiga, número de granos por espiga, número de macollos y número de espigas, mientras que el suelo arenoso presentó una mayor altura de planta, peso de espigas y rendimiento. Las diferencias entre ambos tipos de suelo fueron mínimas, lo que indica un comportamiento agronómico similar de la variedad INIAP-YURAK 2024 en ambas condiciones edáficas.

Tabla 53. *Tipo de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

	Tipo de Suelo						
	Altura de planta (cm)	Longitud de espiga (cm)	Número de granos por espiga (#)	Número de macollos (#)	Número de espigas (#)	Peso de espigas (g)	Rendimiento (g)
s1 Franco	63,99	14,55	28,44	1,19	7,06	1,31	0,95
s2 Arenoso	70,18	14,1	25,42	1,02	6,19	1,33	0,96

10.1.14. Resumen de tablas de las variables por la humedad del suelo

En la Tabla 54 muestra el comportamiento de las variables agronómicas de la variedad INIAP-YURAK 2024 bajo diferentes niveles de humedad del suelo. En general, los mayores valores se registraron en los tratamientos con 100 % y 75 % de humedad, mientras que el tratamiento con 25 % presentó los valores más bajos en altura de planta, número de granos por espiga, peso de espigas, rendimiento y peso de materia seca. Estos resultados evidencian una tendencia de disminución del crecimiento y rendimiento del cultivo a medida que se redujo la disponibilidad de agua en el suelo.

Tabla 54. *Humedad de suelo en estudio de tolerancia a la sequía de la variedad INIAP-YURAK 2024. Pichincha, 2026.*

Humedad de suelo (%)								
	Altura de planta (cm)	Longitud de espiga (cm)	Número de granos por espiga (#)	Número de macollos (#)	Número de espigas (#)	Peso de espigas (g)	Rendimiento (g)	Peso Materia Seca (g)
100%	74,59	14,6	31,79	1,27	7,75	1,7	1,24	9,69
75%	73,75	14,44	28,92	1,13	6,75	1,66	1,22	9,01
50%	66,99	14,29	28,08	1,02	6,13	1,28	0,95	6,35
25%	53,01	13,98	18,92	1	5,88	0,62	0,42	5,02

11. CONCLUSIONES

- Los días al espigamiento, los diferentes niveles de humedad del suelo no modificaron el tiempo de espigamiento de la variedad INIAP-YURAK 2024. En el suelo arenoso, las plantas alcanzaron el espigamiento a los 47 días en todos los niveles de humedad, mientras que en el suelo franco la floración ocurrió a los 52 días. Esto indica que la disponibilidad de agua, en las condiciones evaluadas, no afectó el inicio de la etapa reproductiva del cultivo.

- En general, se observó que el suelo franco presentó para la mayoría de las variables relacionadas con el desarrollo reproductivo del cultivo, como la longitud de espiga, el número de granos por espiga, el número de macollos, el número de espigas y el peso de materia seca. En el suelo arenoso se registró una mayor altura de planta, un leve incremento en el peso de espiga y un rendimiento ligeramente superior. Sin embargo, las diferencias en rendimiento entre ambos tipos de suelo fueron mínimas, lo que sugiere que la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 presenta una buena capacidad de adaptación tanto a suelos francos como arenosos bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento.
- En las condiciones en las que se desarrolló acabo el estudio, el tipo de suelo no influyó significativamente en el crecimiento, desarrollo ni en el rendimiento de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024. Aunque se observaron pequeñas variaciones en los valores promedio de las variables evaluadas, estas no fueron suficientes para demostrar diferencias estadísticas entre el suelo franco y el suelo arenoso. Por lo tanto, se concluye

que la variedad mostró un desempeño agronómico estable en ambos tipos de suelo, lo que sugiere una buena adaptación en ambos tipos de suelo.

- Para el tipo y color de grano, se observó que todos los tratamientos produjeron granos de color blanco, lo que indica que esta característica se mantuvo constante independientemente del tipo de suelo y del nivel de humedad. Aunque predominó el grano mediano, también se identificaron granos gruesos y pequeños en algunos tratamientos. Estos resultados no permitieron ver que, aun que el color del grano no se vio afectado por las condiciones evaluadas, el tamaño y la calidad mostraron variación por el nivel de humedad y de las condiciones del cultivo.

- Los resultados mostraron que la disminución de la humedad del suelo incrementó la pérdida de rendimiento de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024 en ambos tipos de suelo. Ya que el contenido de humedad se redujo del 100 % al 25 %, el rendimiento relativo disminuyó progresivamente, siendo más marcada esta reducción bajo el 25 % de humedad, donde el rendimiento alcanzó el 38,2 % en suelo arenoso y el 28,8 % en suelo franco. Estos resultados demuestran que el déficit hídrico afecta de manera importante la productividad del cultivo y que una adecuada disponibilidad de agua es fundamental para reducir las pérdidas de rendimiento.

- Los resultados obtenidos muestran que la disponibilidad de agua en el suelo desempeñó un papel importante en el crecimiento y rendimiento de la variedad de trigo INIAP-YURAK 2024. En general, las plantas que se desarrollaron con una humedad del suelo del 100 % presentaron los mejores valores en altura, número de granos por espiga, peso de espigas, rendimiento y producción de materia seca. En cambio, conforme disminuyó la humedad del suelo, estas variables se redujeron progresivamente, siendo el tratamiento con el 25 % de humedad el que registró los valores más bajos. Esto pone de manifiesto que el déficit hídrico afecta el desarrollo y la productividad del cultivo, resaltando la importancia de mantener una adecuada disponibilidad de agua para favorecer un mejor desempeño agronómico de la variedad INIAP-YURAK 2024.

12. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

En la Tabla 55, se presenta el presupuesto requerido para la ejecución del proyecto de investigación.

Tabla 55. *Presupuesto del proyecto*

COSTOS DIRECTOS					
Fases y actividades	**Nombre**	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario USD**	**Subtotal USD**
Análisis de laboratorio					**56,30**
Análisis de suelo franco	Análisis	muestra	1	28,15	28,15
Análisis de suelo arenoso	Análisis	muestra	1	28,15	28,15
Recolección de sustrato					**40,00**
Sustrato textura franco	Sustrato	saco	1	20,00	20,00
Sustrato textura arenoso	Sustrato	saco	1	20,00	20,00
Materiales					**230,50**
Probeta graduada de 1000 mL	Probeta	Unidad	1	8,00	8,00
Probeta graduada de 100 mL	Probeta	Unidad	1	4,00	4,00
Macetas plásticas	Macetas	Unidad	32	2,50	80,00
Fundas de papel grandes	Fundas de papel	Unidad	32	0,75	24,00
Fundas de papel pequeñas	Fundas de papel	Unidad	32	0,50	16,00
Regla de madera (cm)	Regla	Unidad	1	3,00	3,00
Etiquetas plásticas	Etiquetas	Unidad	32	1,00	32,00
Balde 5 Galones	Balde	Unidad	1	3,50	3,50

Balanza de precisión	Balanza	Unidad	1	60,00	60,00
Siembra y fertilización					**3,00**
Semilla	INIAP-YURAK 2024	kg	1	1,00	1,00
Fertilizantes	15-30-15	kg	1	1,00	1,00
	Urea	kg	1	1,00	1,00
Seguimiento técnico					**1.800,00**
Supervisor Técnico INIAP	Mes	jornal	12	90,00	1.080,00
Tutorías	Mes	jornal	12	60,00	720,00
Publicación tesis					**25,00**
Empastados	Libros	Unidad	1	15,00	15,00
CD	CD	Unidad	1	10,00	10,00
		Subtotal Costos Directos			**2.154,80**
COSTOS INDIRECTOS					
Materiales de oficina	varios	Unidad	1	30,00	30,00
		Subtotal Costos Indirectos			**30,00**
COSTO TOTAL					**2.184,80**

En la Tabla 56 se presenta el financiamiento destinado para la ejecución del proyecto de investigación.

Tabla 56. *Financiamiento*

Financiamiento	**Valor (USD)**
Autofinanciamiento	81,30
INIAP	2.103,50
Total	2.184,80

13. RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda priorizar un adecuado manejo de la humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo de trigo, ya que la disponibilidad de agua fue el factor que mayor influencia tuvo sobre el crecimiento y el rendimiento de la variedad INIAP-YURAK 2024. Aunque la variedad mostró un comportamiento similar en los suelos franco y arenoso, mantener niveles adecuados de humedad permitirá expresar mejor su potencial productivo y reducir las pérdidas ocasionadas por el déficit hídrico.

- Así mismo, es recomendable continuar con investigaciones en condiciones de campo y en diferentes zonas productoras, con el fin de validar estos resultados y generar estrategias de manejo que contribuyan a una producción de trigo más eficiente y sostenible.

14. BIBLIOGRAFÍA

Abadía, B., Abbate, P., Álvarez, C., Aramburu, F., Barraco, M., Bartosik, R., Bujan, J., Campaña, L., Cardos, M., Cardoso, L., Carmona, D., Carmona, M., Calviño, P., Correndo, A., De la Torre, D., Divito, G., Ernst, O., Jesús, A., Fraschina, J., … Tulli, M. (2017). Manual de cultivo de trigo. In A. Guillermo & O. Fernando (Eds.), *IPNI*. file:///C:/Users/Dell/Downloads/ResumenManualTrigoIPNI.pdf

Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002). Wheat growth and physiology. En B. C. Curtis, S. Rajaram, & H. Gómez Macpherson (Eds.), *Bread wheat: Improvement and production* (FAO Plant Production and Protection Series No. 30). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/Y4011E/y4011e00.htm

Amado, A. (2021). “Identificación de fuentes de tolerancia a estrés hídrico en trigo harinero (Triticum aestivum L.) bajo condicones La Molina, Lima.” In *Universidad Nacional Agraria La Molina*. https://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/187/3/2017_Puicon_Evaluacion-resistencia-natural.pdf

Bielza, P., Tello, J. C., Torres, L. M., Molina, R., & Tapiador, I. (1998). Patógenos y depredadores naturales del trips del trigo, Haplothrips tritici (Kurdjumov), en Castilla-La Mancha. *Bol. San. Veg. Plagas*, *24*, 985–996.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_plagas/BSVP-24-04-Adenda-0985-0996.pdf

Blasco, J. (2013). *169 Triticum aestivum L.* 1–3. https://monteriza.aranzadi.eus/wp-content/uploads/flora/169.triticum-aestivum.pdf

Carmona, M., & Sautua, F. (2015). Manual práctico para el diagnóstico de enfermedades foliares y su control con fungicidas en los cultivos de trigo y cebada. In *Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires*. https://posgrado.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/92061/mod_resource/content/2/enfermedades-Trigo-Cebada-FAUBA-BASF.pdf

Castro, A. (2021). Trigo fideo. In *Cereales de invierno* (pp. 299–317). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/156535/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castro, M., Hoffman, E., Pérez, O., & Viega, L. (2014). Variabilidad en la respuesta al estrés hídrico de cultivares de trigo en Uruguay. *Seminario Internacional : Un Siglo de Mejoramiento de Trigo En La Estanzuela*, 78–86. https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/st-241-2018.p.78-86-Castro-et-al.pdf

Curtis, B. C., Rajaram, S., & Gómez Macpherson, H. (Eds.). (2002). *Bread wheat: Improvement and production* (FAO Plant Production and Protection Series No. 30). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/Y4011E/y4011e00.htm

Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, *43*(4), 306–310. https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf

Desirée, A., & Perera, S. (2009). *Resultados del seguimiento de plagas y enfermedades en cultivos de cereales en Tenerife. Camapaña 2009. Especial referencia al trigo.* https://agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_261_L_Plagas_enferm_cereales.pdf

Escalante, J., Ochoa, O., Saavedra, M., & Farfán, L. (2011). *El Trigo*. 157–160. https://repebis.upch.edu.pe/articulos/antoniano/v21n119/a4.pdf

Estrada, D., Martínez, J., Iglesias, L., & Paz, E. (2014). *Caracterización del trigo Jupateco*

Jinotegano. https://www.researchgate.net/profile/David-Estrada-Santana/publication/303312567_Caracterizacion_agronomica_y_economica_del_Trigo_Triticum_aestivum_variedad_Jupateco_en_la_comunidad_La_Colmena_Jinotega_Nicaragua/links/573c7fb508ae298602e587a6/Caracterizac

FAO. (2005). *Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture*. https://www.fao.org/4/ag125e/AG125E23.htm

FAO. (2021). *Standard operating procedure for soil pH determination*. *31*(1), 23. https://www.fao.org/3/cb3637en/cb3637en.pdf

Fernández Gallego, J. A. (2019). *Image processing techniques for plant phenotyping using RGB and thermal imagery = Técnicas de procesamiento de imágenes RGB y térmicas como herramienta para fenotipado de cultivos* (Tesis doctoral, Universitat de Barcelona). Repositorio Digital de la Universitat de Barcelona. https://hdl.handle.net/2445/164725

Gabriel, J., Castro, C., Valverde, A., & Indacochea, B. (2017). *Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios* (1.ª ed.). Grupo COMPAS; Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM). https://www.researchgate.net/publication/315098225_Disenos_experimentales_Teoria_y_practica_para_experimentos_Agropecuarios

Garófalo, J., Ponce, L., & Noroña, P. (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

Garófalo Sosa, J. A., Noroña Zapata, P. J., Ponce Molina, L. J., Campaña Cruz, D. F., Jiménez Merino, C. A., Velásquez Carrera, J. S., Villacrés Póveda, C. E., Nieto Beltrán, M. R., López Guerrero, V. A., Camacho Viterí, J. G., Yumisaca Jiménez, S. F., & Falconí Castillo, C. E. (2024, agosto). *INIAP-YURAK 2024*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6441

Ghanem, H. E., & Al-Farouk, M. O. (2024). Wheat Drought Tolerance: Morpho-Physiological Criteria, Stress Indexes, and Yield Responses in Newly Sand Soils. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*(7), 2234–2250. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11259-1

Gil, R. (2000). El agua del suelo. In *Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos*. https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/agua-edafica.pdf

Gutiérrez, J. (2021). Estrategia operativa para el manejo fitosanitario del cultivo de trigo panificable en apoyo a la producción para el bienestar. In *Dirección General de Sanidad vegetal* (Vol. 28, pp. 1–13). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/640488/EO2021-TRIGO-25-05.pdf

Herrera, Y. (2024). *"Evaluación del comportamiento agronómico de cuatro líneas promisorias y una variedad de trigo durum bajo las condiciones agroclimáticas de la Estación Experimental Santa Cantalina-INIAP."* https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/41ef0d79-132b-4b59-9060-a9ded7a4c2bd/content

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC 2024).* https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2024/

Juárez, Z. N., Bárcenas-Pozos, M. E., & Hernández, L. R. (2014). El grano de trigo : características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingenieria de Alimentos*, *8*(1), 79–92. https://www.udlap.mx/TSIA/assets/files/volumen8-1/TSIA-Vol8-No1-Juarez-et-al-2014.pdf

Lynne, J. W., & Abdi, H. (2010). *Fisher's least significant difference (LSD) test*. En N. Salkind (Ed.), *Encyclopedia of Research Design*. Sage Publications. https://personal.utdallas.edu/~herve/abdi-LSD2010-pretty.pdf

Llanes Hernández, Y. Y., & Osuna Vergara, I. S. (2022). *Prueba de homogeneidad de varianza (prueba de Levene)* [Informe académico]. Universidad de Córdoba. Scribd. https://es.scribd.com/document/557975312/INFORME-PRUEBA-DE-LEVENE

Mendoza, G. L., Jaramillo, R., Autores, V., Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Velásquez, J., Noroña, P., & Jiménez, C. (2023). Manual para la producción sostenible de trigo en la Sierra ecuatoriana. In *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias* (Issue 132).

Miller, T. D. (2000). Estadios de crecimiento del cultivo de trigo. *Inpofos*, 4. http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/5c1e5e74ae5d78aa8525799c0058efb6/$file/estadiofeekes.pdf

Moreno, I., Ramírez, A., Plana, R., & L., I. (2001). El cultivo del trigo algunos resultados de su producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, *22*, 55-67-.

https://www.redalyc.org/pdf/1932/193230162009.pdf

Ponce, L., Garófalo, J., Campaña, D., & Noroña, P. (2019). Parámetros de Evaluación y Selección en Cereales. In *INIAP Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias, EC)* (INIAP, Vol. 1, Issue 111). https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5391

Ponce, L., Garófalo, J., & Noroña, P. (2022). Trigo (Triticum aestivum L.) Manual de manejo del cultivo y conservación de suelos. In *KOPIA, INIAP* (Vol. 4). https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstreams/3a24581d-bacb-47cb-b7fb-0cfba4198e6a/download

Pozo, J. (2024). *Evaluación agronómica de 18 variedades mejoradas de trigo (Triticum aestivum L.) del INIAP, en la Granja Experimental la Pradera, Chaltura-Imbabura*. https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15586/2/03 AGP 408 TRABAJO DE GRADO.pdf

Ramirez, N. (2022). *Evaluación del comportamiento agronómico y calidad tecnológica de trigos (Triticum aestivum L. y Triticum durum L.) cultivados en la ascensión, Aramberri, Nuevo León.* http://eprints.uanl.mx/25422/1/1080328799.pdf

Royero-Mesino, S., Zapata Hernández, R., Fonseca-Campuzano, R., & Domínguez-Haydar, Y. (2025). Manejo del suelo y su efecto en la macrofauna edáfica del departamento del Atlántico, Colombia. *Ciencia del Suelo, 43*(2). https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672025000200206

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). *An analysis of variance test for normality (complete samples)*. *Biometrika*, *52*(3–4), 591–611. https://doi.org/10.2307/2333709

Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. In *Journal of Structural Engineering* (Vol. 141, Issue 9). repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf

Simón, M. R. (2022). *CAPÍTULO 3 Trigo : crecimiento y desarrollo : etapa reproductiva y llenado del grano* (pp. 34–59). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/156677/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sourour, A., Mohsen, R., Afef, O., Mounir, R., Hiba, T., Jaime A., Teixeira-da Silva Mongi, B. Y., & Hamadi, Ben Salah Mohamed, K. (2017). *Respuesta al estrés hídrico de trigos duros (Triticum turgidum ssp. durum) y harineros (Triticum aestivum L.) de Túnez*. *51*, 13–26. https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1275/1275

Uranga, J., & Voisin, A. (2022). Manejo de plagas. In *Cereales de invierno* (pp. 186–198). https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/156682/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vadillo, J. (1989). *La calidad de los trigos*. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_02.pdf

Velásquez, J., Araujo, A., Cruz, E., Monteros, A., & Tapia, C. (2025). *Semillas; tenoclogía de producción y conservación* (2da Edición). INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6453

Zadocks, J., Chang, T., & Konzak, C. (1974). Un código decimal para las etapas de crecimiento de cereales. Obtenido de https://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/zadoks.pdf