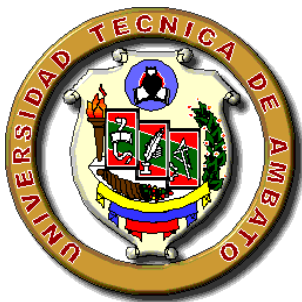




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA

**Efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento
post-priming sobre la germinación y vigor de semillas de maíz
criollo variedad Chazo en la Sierra ecuatoriana**

**DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

Autor: Saltos Cañizares Enrique Augusto

Tutor: Ing. Mg. Velástegui Espín Giovanny Patricio

CEVALLOS – ECUADOR

2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del Trabajo de Titulación sobre el tema: **“Efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la germinación y vigor de semillas de maíz criollo variedad Chazo en la Sierra ecuatoriana”** del alumno Saltos Cañizares Enrique Augusto, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo, expongo que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en su totalidad, el mismo que responde a las normas establecidas en el **Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato**.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para ser sometido a la evaluación de los profesores calificadores designados por **Consejo Directivo de la Facultad**.

Cevallos, junio 2026



Ing. Mg. Velástegui Espín Giovanny Patricio.

TUTOR

AUTORÍA TRABAJO DE TITULACIÓN

El suscrito, **Enrique Augusto Saltos Cañizares**, portador de cédula de ciudadanía número: 1724127582, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: **“Efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la germinación y vigor de semillas de maíz criollo variedad Chazo en la Sierra”** es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.

Cevallos, junio de 2026



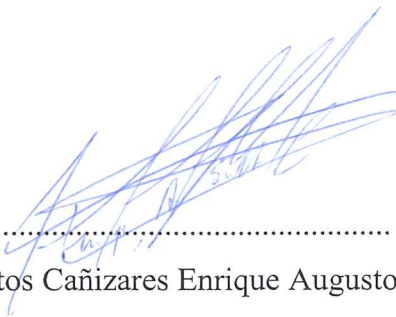
.....
Saltos Cañizares Enrique Augusto

AUTOR

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “**Efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la germinación y vigor de semillas de maíz criollo variedad Chazo en la Sierra ecuatoriana**” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad. Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial. Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.

Cevallos, junio de 2026



.....
Saltos Cañizares Enrique Augusto

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Trabajo de Titulación, “**Efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la germinación y vigor de semillas de maíz criollo variedad Chazo en la Sierra ecuatoriana**” de Saltos Cañizares Enrique Augusto, estudiante de la carrera de Agronomía, de la Facultad Ciencias Agropecuarias de conformidad con el Reglamento para la Titulación de Grado para obtener el título terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, una vez revisado y calificado.

Cevallos, junio de 2026

REVISADO POR

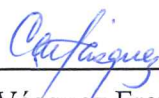


Ing. Mg. Velástegui Espín Giovanny Patricio

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN

Para constancia firman:



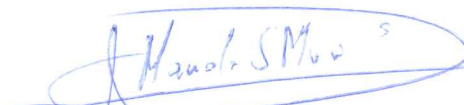
Ing. PhD. Vásquez Freytez Carlos

PRESIDENTE



Ing. Mg. Santana Mayorga Rita C.

MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO



Ing. PhD. Muñoz Espinoza Manolo S.

MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico con todo mi corazón a mi mami, por ser el motor incondicional de mi vida. A mis pilares fundamentales, mis hermanas y mis hermanos , quienes han sido el soporte, la guía constante y el refugio seguro en cada paso de este camino. A todos aquellos que creyeron en mí cuando yo mismo dudé de mi propia capacidad; su fe inquebrantable fue el impulso que me llevo a seguir día a día. A la vida misma, por sus valiosas lecciones que me enseñaron a madurar y por sus maravillosos regalos; gracias por aquellos caminos difíciles que, aunque parecieron inalcanzables, me han traído a destinos fantásticos, gratos y que siempre llevaré guardados con profunda gratitud en mi memoria. A mi propia capacidad de levantarme, de reencontrar la fortaleza en la adversidad, de perdonar y de continuar siempre adelante con la frente en alto. Este logro, más que ser individualmente mío, le pertenece a cada una de las personas que estuvieron a mi lado, brindándome su sabiduría, sus enseñanzas y su confianza absoluta.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, expreso mi sincera gratitud a la Universidad Técnica de Ambato y de manera especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por abrirme sus puertas y ser el escenario de mi formación profesional. A cada uno de los ingenieros y docentes que compartieron generosamente sus conocimientos en las aulas y laboratorios, sembrando en mí la semilla de la curiosidad y transformándome en el hombre analítico e investigador que soy hoy. Un profundo agradecimiento especial al Ing. Carlos Vásquez que a más de ser un estupendo mentor es un grato amigo, al Ing. Jorge Dobronski; sus cátedras y guía me permitieron aprender a identificar mis verdaderas ganas de profundizar en el conocimiento de las semillas, revelándome lo fascinante, noble y vital que es esta rama de la agronomía. A mis compañeros y amigos, la familia que la vida me dio la bendición de elegir. Gracias por demostrarme que existen lazos de amistad tan puros y reales que se transforman en hermandad. Finalmente, mi gratitud eterna a mi mentor en cada paso de este trayecto, el Dr. Roberto Alvarado, quien con su admirable resiliencia y apoyo constante me alentó incansablemente a buscar y defender mi verdadera pasión profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHO DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Antecedentes investigativos	3
1.2 Bases conceptuales.....	6
1.1.1 1.2.1. Acondicionamiento pregerminativo (cebado de semillas)	6
1.2.2. Hidrocebado o Hidropriming	7
1.2.3. Mecanismos de resecado (back-drying) y estabilidad fisiológica.....	8
1.2.4. Fisiología de la germinación bajo priming	8
1.2.5. Fisiología del deterioro durante el almacenamiento post-priming	9
1.2.6. Vigor de semillas	10

1.2.7. Almacenamiento post-priming (secado posterior)	10
1.2.8. Sistemas antioxidantes y respuesta al estrés ambiental	10
1.2.9. Importancia del vigor en la adaptación del maíz criollo	11
1.2.10. Maíz criollo variedad chazo y contexto altoandino.....	11
1.3 Objetivos:.....	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
CAPÍTULO II	14
METODOLOGÍA	14
2.1 Ubicación del estudio	14
2.2 Modalidad de la investigación	14
2.3 Tipo de investigación	14
2.4 Equipos y materiales	14
2.4.1. Equipos	14
2.4.2. Materiales	15
2.5 Factores de estudio	16
Tabla 1.....	16
Tabla 2.....	17
2.6 Diseño experimental.....	17
2.7 Hipótesis.....	17
2.8 Manejo del experimento.....	18
2.8.1. Prueba de humedad inicial (método de estufa)	18
<i>Tabla 3.</i>	19
2.8.2. Protocolo de desinfección de semillas.....	19

2.8.3. Protocolo de hidropriming para el maíz criollo variedad Chazo.....	20
2.9. Variables respuesta.....	24
2.9.1. Porcentaje de germinación final y velocidad.....	24
2.9.2. Morfometría y vigor de plántulas	25
2.9.3. Recolección y registro de datos	27
2.10. Análisis estadístico.....	27
CAPÍTULO III.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	28
3.1 Análisis estadístico y discusión de los resultados	28
3.1.1 El efecto de distintos tiempos de hidropriming (0, 12, 24, 36 y 48 horas) sobre porcentajes e índices de germinación y vigor	28
3.1.2 Influencia del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la viabilidad y vigor de la semilla.	36
3.1.3 Interacción entre tiempo de hidropriming y tiempo de almacenamiento para identificar combinaciones óptimas.....	40
CAPÍTULO IV.....	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
4.1 Conclusiones en relación con los objetivos	48
4.1.1 Efecto del hidropriming, se determinó el efecto de distintos tiempos de hidropriming (0, 12, 24, 36 y 48 horas) sobre porcentajes e índices de germinación y vigor.....	48
4.1.2 Influencia del tiempo de almacenamiento, se evaluó la influencia del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la viabilidad y vigor de la semilla.	48
4.1.3 Análisis de la interacción para combinaciones óptimas, se analizó la interacción entre tiempo de hidropriming y tiempo de almacenamiento para identificar combinaciones óptimas.....	49

4.1.4 Desarrollo de alternativas tecnológicas	49
4.2 Recomendaciones.....	49
4.2.1 Combinación óptima de factores	49
4.2.2 Planificación de calendarios de siembra	50
4.2.3 Ampliación de los horizontes de almacenamiento	50
4.2.4 Validación en condiciones reales de campo.....	50
4.2.5 Estandarización del proceso de resecado (Back-drying).....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Esquema de la distribución para la aplicación de los tratamientos en el ensayo.....</i>	16
Tabla 2. <i>Esquema de los tratamientos en el ensayo.....</i>	17
Tabla 3. <i>Registro de humedad inicial (método de estufa).....</i>	19
Tabla 4. <i>Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, peso inicial.....</i>	22
Tabla 5. <i>Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, Monitoreo diario de germinación y % germinación al 7mo día</i>	24
Tabla 6. <i>Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, Tabla de porcentaje de MGT y IVG</i>	25
Tabla 7. <i>Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, Tabla morfometría (al día 7).....</i>	26
Tabla 8. <i>Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1, índice de vigor</i>	27
Tabla 9. <i>Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, uniformidad de emergencia</i>	27
Tabla 10. <i>% Germinación de Hidropriming, Almacenamiento y H*A</i>	28
Tabla 11. <i>IVG de Hidropriming, Almacenamiento y H*A</i>	30
Tabla 12. <i>MGT de Hidropriming, Almacenamiento y H*A</i>	31
Tabla 13. <i>Longitud radicular de Hidropriming, Almacenamiento y H*A</i>	32
Tabla 14. <i>Longitud de la plúmula de Hidropriming, Almacenamiento y H*A</i>	33
Tabla 15. <i>Índice de vigor de Hidropriming, Almacenamiento y H*A</i>	34
Tabla 16. <i>Uniformidad de emergencia de Hidropriming, Almacenamiento y H*A.</i>	35
Tabla 17. <i>% de germinación de almacenamiento</i>	36
Tabla 18. <i>IVG de almacenamiento.....</i>	37
Tabla 19. <i>MGT de almacenamiento</i>	38
Tabla 20. <i>Longitud radicular de almacenamiento</i>	39
Tabla 21. <i>Longitud de la plúmula de almacenamiento</i>	39
Tabla 22. <i>Índice de vigor de almacenamiento</i>	40
Tabla 23. <i>Longitud radicular de H*A.....</i>	42
Tabla 24. <i>Longitud de plúmula de H*A</i>	42
Tabla 25. <i>Índice de vigor de H*A</i>	44

Tabla 26. <i>IVG de H*A</i>	45
Tabla 27. <i>MGT de H*A</i>	46
Tabla 28. <i>% de Germinación de H*A</i>	61
Tabla 29. <i>Uniformidad de emergencia H*A</i>	74
Tabla 30. <i>% de germinación de hidropriming</i>	77
Tabla 31. <i>IVG de hidropriming</i>	78
Tabla 32. <i>MGT de hidropriming</i>	80
Tabla 33. <i>Longitud radicular de hidropriming</i>	81
Tabla 34. <i>Longitud de la plúmula de hidropriming</i>	83
Tabla 35. <i>Índice de vigor de hidropriming</i>	84
Tabla 36. <i>Uniformidad de emergencia de hidropriming</i>	86

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. <i>Ecuación porcentaje de humedad.....</i>	54
ANEXO 2. <i>Prueba de humedad inicial (método de estufa)</i>	54
ANEXO 3. <i>Protocolo de hidropriming para el maíz criollo variedad Chazo, división del lote en grupos correspondientes a los diferentes tratamientos, uso de mallas debidamente etiquetadas</i>	55
ANEXO 4. <i>Secado de semillas, realizada en una incubadora regulada a 25 °C, en donde se realizaron pesajes periódicos hasta el descenso de la humedad.....</i>	55
ANEXO 5. <i>Proceso de etiquetado, siembra de tratamientos después de tiempo de almacenamiento</i>	55
ANEXO 6. <i>Proceso de germinación, se colocaron 20 semillas/unidad en cada placa Petri con papel filtro humedecido; se incubaron a 25 ± 1 °C; se realizaron conteos diarios durante 7 días</i>	56
ANEXO 7. <i>Medición de longitudes radicales y plumbeares al día 7 por cada tratamiento</i>	56
ANEXO 8. <i>Secuencia evolutiva de la semilla del maíz criollo variedad Chazo entre el primer día al sexto día</i>	57
ANEXO 9. <i>Análisis de varianza diseño completamente al azar</i>	60
ANEXO 10. <i>Análisis de varianza factorial</i>	76
ANEXO 11. <i>PROTOCOLO OPERATIVO PRÁCTICO: HIDROPRIMING EN MAÍZ CRIOLLO VARIEDAD CHAZO.....</i>	88

RESUMEN

El maíz (*Zea mays L.*) variedad Criollo "Chazo" constituye un recurso estratégico para la seguridad alimentaria en la región andina ecuatoriana; no obstante, su establecimiento en campo suele verse afectado por una germinación irregular debido a las bajas temperaturas de las zonas de altura. Con el objetivo de mitigar esta limitante, la presente investigación evaluó el efecto del acondicionamiento hídrico (hidropriming) empleando cinco tiempos de inmersión (0, 12, 24, 36 y 48) combinados con tres periodos de almacenamiento post-tratamiento (10, 20 y 30 días) sobre la calidad fisiológica de la semilla. El experimento se realizó con un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x3+1 en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato. Los análisis de varianza determinaron que el hidropriming como factor aislado no incrementa significativamente el porcentaje de germinación final, pero optimiza de manera crítica la uniformidad de la emergencia ($p = 0,0488$) al concentrar la actividad metabólica celular. Por su parte, el tiempo de almacenamiento post-acondicionamiento ejerció el mayor impacto individual ($p < 0,05$), evidenciando que un reposo prolongado de 30 días actúa como un proceso de maduración complementario, elevando la viabilidad media al 62,83% y duplicando el índice de vigor global en comparación con los almacenamientos cortos. La interacción factorial calcula que el tratamiento H3A3 (36 horas de inmersión y 30 días de almacenamiento) es el óptimo para el establecimiento general del cultivo, maximizando la germinación real (68,00%), el desarrollo morfométrico radicular (46,58 mm) y la sincronía del brote (1,29). No obstante, cuando se requiere precocidad en campo, la combinación H2A2 (24 horas de inmersión y 20 días de almacenamiento) proporciona una alternativa de alta eficiencia cinética al registrar el menor tiempo medio de germinación con solo 3,01 días. Se concluye que el manejo acoplado del hidro-acondicionamiento y el reposo representa una herramienta biotecnológica de bajo costo, viable y reproducible para potenciar el vigor inicial de este ecotipo en el ecosistema altoandino.

Palabras clave: *Zea mays*, acondicionamiento fisiológico, viabilidad, maduración complementaria, vigor inicial, sincronía de emergencia, Hidropriming.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays L.*) Creole variety "Chazo" constitutes a strategic resource for food security in the Ecuadorian Andean region; however, its field establishment is often hindered by irregular germination due to low temperatures in high-altitude zones. To mitigate this limitation, this research evaluated the effect of hydro-priming using five immersion times (0, 12, 24, 36, and 48 hours) combined with three post-treatment storage periods (10, 20, and 30 days) on the physiological quality of the seed. The experiment was conducted under a completely randomized design with a 4x3+1 factorial arrangement at the Technical University of Ambato laboratories. Analysis of variance determined that hydro-priming as an isolated factor does not significantly increase the final germination percentage, but critically optimizes emergency uniformity ($p = 0.0488$) by concentrating cellular metabolic activity. Furthermore, post-conditioning storage time exerted the greatest individual impact ($p < 0.05$), revealing that a prolonged 30-day rest period acts as a complementary ripening process, raising mean viability to 62.83% and doubling the global vigor index compared to short storage periods. The factorial interaction determined that the H3A3 treatment (36 hours of immersion and 30 days of storage) is optimal for general crop establishment, maximizing real germination (68.00%), radicle morphometric development (46.58 mm), and sprout synchrony (1.29). Nonetheless, when field precocity is required, the H2A2 combination (24 hours of immersion and 20 days of storage) provides a highly efficient kinetic alternative, registering the lowest mean germination time at only 3.01 days. It is concluded that the coupled management of hydro-priming and rest periods represents a low-cost, viable, and reproducible biotechnological tool to enhance the initial vigor of this ecotype in the high Andean ecosystem.

Keywords: *Zea mays*, seed priming, viability, back-drying, seedling vigor, emergency uniformity, hydro-priming

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) constituye, histórica y económicamente, el eje fundamental de la seguridad alimentaria y la soberanía nutricional de las poblaciones rurales en la Sierra ecuatoriana. Esta gramínea no solo representa una fuente principal de ingresos para los pequeños agricultores de la zona y áreas circunvecinas, sino que actúa como un vector de identidad cultural y de agrobiodiversidad, este maíz ha sido preservado a través del tiempo y de selección tradicional. En la provincia de Chimborazo, la parroquia San José de Chazo se distingue de otras por la producción del maíz criollo variedad Chazo, este es un recurso fitogenético valorado por sus excepcionales características organolépticas y su alta demanda en mercados regionales, como el de Riobamba, donde se les comercializa con respecto a las otras variedades industriales.

De acuerdo con información de la comunidad, la cadena productiva del maíz en esta zona atraviesa una crisis de competitividad. El sistema de cultivo de secano se encuentra severamente condicionado por los cambios climáticos en la zona. Como señala **(Lozano-Povis et al., 2021)**, al mismo tiempo se puede agregar información relevante producto del empirismo, los relatos recogidos en la zona de parte de un técnico, el señor Jonathan Muyulema, donde este manifiesta, que la agricultura Andina presenta una vulnerabilidad creciente frente al cambio climático, manifestándose en heladas frecuentes en las épocas de diciembre, un ejemplo reciente la del 2025, inclusive también mencionó sobre los efectos de las sequías estacionales y también, otro factor que influye mucho, es la degradación acelerada del suelo que dificulta la emergencia de la plántula. Específicamente, en San José de Chazo, él aseveró que se ha observado una ventana de germinación errática que puede extenderse hasta los 7 días, incrementando la exposición de la semilla al ataque de patógenos del suelo y al endurecimiento de la costra superficial, factores que merman drásticamente la densidad poblacional y, por ende, el rendimiento final.

Ante este escenario, realizándose varias lecturas previas de como ubicar una posible solución a esta situación de las ventanas de germinación, se encontró que una de las posibles soluciones que se pudiera ofrecer es el priming o acondicionamiento de semillas, una forma de acondicionar fisiológicamente la semilla y que se ha consolidado a nivel mundial como una tecnología de bajo costo y alto impacto. **Marthandan et al. (2020)** definen el hidropriming como una técnica biotecnológica que permite la hidratación controlada de la semilla hasta activar las fases iniciales del metabolismo germinativo, síntesis de proteínas, reparación de ADN y movilización de reservas, sin alcanzar la protusión radicular que esto corresponde a la fase II de la germinación. Este mejoramiento prepara a la semilla para una emergencia rápida y uniforme lo cual representa un factor determinante para garantizar la supervivencia del cultivo bajo estrés abiótico.

Sin embargo, a pesar de la cantidad de información sobre eficacia del hidropriming, existe una falta de conocimiento respecto a la estabilidad del beneficio fisiológico que se le pudiera conferir a la semilla del maíz criollo variedad Chazo en condiciones reales de almacenamiento después de su mejoramiento, ya que existen varios factores a considerar que influye en el estado óptimo de la semilla.

En la Sierra ecuatoriana, el productor local no siempre dispone de infraestructura tecnológica para la siembra inmediata tras el hidropriming, dependiendo a menudo de sistemas de almacenamiento tradicionales como el soberado (técnica ancestral, cultural realizada por una gran mayoría de los agricultores la cual se basa en colocar las mazorcas en las terrazas de las casas para que puedan secarse mediante la exposición de las semillas al sol para después de un tiempo aproximadamente de 6 meses las puedan usar para sembrarla). Por lo tanto, la presente investigación no solo pretende evaluar el vigor y la uniformidad de germinación del maíz criollo variedad Chazo, sino que también va a procurar introducir una variable de validación logística indispensable: el efecto del tiempo de almacenamiento post-priming.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto la importancia del presente estudio radica en la premisa del acondicionamiento de la semilla para que pueda ser adoptada por el

sector campesino, debe ser técnica y operativamente viable por lo que es imprescindible que podamos demostrar metódica y científicamente cuántos días puede conservarse el efecto vigorizante del tratamiento sin perder viabilidad, lo que le permitirá entonces al agricultor de San José de Chazo optimizar sus tiempos de labor y proteger su inversión económica.

Cómo se ha venido argumentando la adopción de tecnologías de bajo costo como el hidropriming no debe analizarse únicamente de forma aislada en el laboratorio, sino dentro del marco de la resiliencia sistémica de la agricultura familiar andina. Retomando lo expresado en el texto de **Altieri & Nicholls (2020)**, los sistemas agrícolas tradicionales de la Sierra ecuatoriana dependen de la optimización de los flujos de energía interna y de la conservación de la agrobiodiversidad *in situ*. Fortalecer la semilla del maíz criollo variedad Chazo a través de métodos biotecnológicos apropiados y reproducibles permite a las comunidades rurales mitigar los riesgos climáticos sin generar dependencia de insumos químicos externos, alineándose con los principios de soberanía alimentaria y sustentabilidad ecológica que rigen los agroecosistemas de altura.

Por lo tanto, en el presente estudio se pretende evaluar el efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la germinación y el vigor de semillas de maíz criollo variedad Chazo en la Sierra ecuatoriana.

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Notablemente el maíz (*Zea mays L.*) constituye uno de los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria y la economía agrícola de la región andina. En la Sierra ecuatoriana, el maíz suave harinoso forma parte fundamental de los sistemas productivos campesinos. Esta especie se cultiva principalmente en pequeñas fincas familiares bajo condiciones de manejo tradicional. Este cultivo aporta una

proporción significativa de energía a la dieta de la población rural y representa una fuente importante de ingresos para muchas familias agricultoras, por lo que la disponibilidad de semilla de buena calidad es esencial para garantizar el establecimiento del cultivo y la estabilidad productiva **(Lozano-Povis et al., 2021)**.

Dentro de este contexto, los maíces criollos poseen un papel relevante en la agricultura tradicional de la región andina. Estas variedades han sido conservadas mediante procesos de selección con técnicas empíricas de la población campesina durante generaciones, lo que les ha permitido desarrollar adaptaciones específicas a condiciones ambientales particulares como altitudes, amplitud térmica y suelos de fertilidad variable. Además de su importancia productiva, las variedades nativas constituyen reservorios de diversidad genética fundamentales para la conservación *in situ* y para programas de mejoramiento participativo orientados al fortalecimiento de la soberanía alimentaria **(Zambrano et al., 2021; Caviedes-Cepeda et al., 2022)**.

Entre los materiales cultivados en la Sierra central del Ecuador destaca el maíz blanco harinoso conocido como maíz criollo variedad Chazo. Este material es ampliamente cultivado en provincias como Tungurahua y Chimborazo, donde se reconoce por su rusticidad y capacidad de adaptación a condiciones edafoclimáticas de altura. Su grano presenta buena aceptación para consumo humano y se utiliza en diversas preparaciones tradicionales, lo que le otorga un valor cultural y alimentario significativo dentro de las comunidades rurales **(Zambrano et al., 2021; Caviedes-Cepeda et al., 2022)**.

Sin embargo, el éxito productivo del cultivo depende en gran medida de la calidad fisiológica de la semilla utilizada. En sistemas agrícolas tradicionales, las semillas criollas suelen almacenarse en condiciones domésticas como sacos, bodegas o habitaciones con ventilación limitada, donde se producen fluctuaciones de temperatura y humedad. Estas condiciones en ocasiones pueden favorecer el deterioro fisiológico de la semilla, afectando la integridad de las membranas celulares, aumentando el estrés oxidativo y reduciendo la capacidad germinativa y el vigor de las plántulas **(Xing et al., 2025)**.

En este sentido el deterioro de la semilla se manifiesta principalmente en una emergencia lenta y desuniforme de las plántulas, lo que genera problemas en la densidad final de las plantas en el campo y aumenta la susceptibilidad a factores de estrés ambiental. Estas condiciones luego pueden traducirse en una reducción del rendimiento y en pérdidas económicas para los agricultores. Por ello, muchas instituciones de investigación agrícola del Ecuador han destacado la necesidad de fortalecer la calidad fisiológica de la semilla como base para mejorar el establecimiento del cultivo en la Sierra (**Zambrano et al., 2021**).

Ante estas condiciones excepcionales y si se quiere problemáticas para la siembra en la región, se ha planteado el uso de técnicas de acondicionamiento pregerminativos de las semillas como una alternativa para mejorar la germinación y el vigor de las plántulas. Entre estas técnicas destaca el hidropriming, el cual consiste en hidratar las semillas en agua durante un período determinado y posteriormente secarlas hasta alcanzar nuevamente su contenido de humedad inicial. Este proceso permite activar mecanismos metabólicos previos a la germinación sin que ocurra la emergencia de la radícula (**Marthandan et al., 2020**).

No obstante, la literatura científica señala que las semillas sometidas a priming pueden presentar una menor longevidad durante el almacenamiento si las condiciones ambientales no son adecuadas. Algunos procesos metabólicos permanecen parcialmente activados después del tratamiento, lo que puede aumentar la sensibilidad al deterioro fisiológico cuando el almacenamiento se prolonga o cuando las semillas se conservan en ambientes cálidos y húmedos (**Hasanović et al., 2025; Mitchener et al., 2025**). En este sentido, existe una limitada información científica sobre el efecto combinado del hidropriming y el tiempo de almacenamiento posterior en semillas de maíz criollo adaptadas a las condiciones de la Sierra ecuatoriana.

1.2 Bases conceptuales

1.1.1 1.2.1. Acondicionamiento pregerminativo (cebado de semillas)

Este procedimiento también es conocido en el medio como seed priming, el cual es la técnica de hidratación controlada que permite a la semilla alcanzar un estado fisiológico avanzado sin llegar a la emergencia de la radícula, mediante la hidratación controlada antes de la siembra. Técnicamente, el priming ocurre y se detiene dentro de la Fase II. La protrusión radicular conocida también como la ruptura de la cubierta esto marca el inicio de la Fase III por lo que el proceso se detiene antes de la fase III de la germinación o sea de la protrusión, permitiendo que la semilla mantenga la desecación para su posterior manejo (**Marthandan et al., 2020**).

Al respecto este mecanismo de acción se basa en la semilla cuando absorbe agua hasta un punto específico y luego se somete a un secado regulado para devolverla a su humedad original de manejo o almacenamiento con el objetivo de permitir que la semilla, adelante sus procesos de preparación interna, de modo que al ser sembrada responda con mayor rapidez y uniformidad.

Desde la perspectiva de **Pérez & Martínez, (1994)** en el libro titulado la Introducción a la Fisiología Vegetal, el hidropriming opera como un modulador cinético de las fases de imbibición celular. Las semillas secas se encuentran en un estado de quiescencia metabólica regulado por la balanza hormonal, específicamente por la relación entre el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (GA). Al inducir una hidratación controlada, se desencadena la Fase I que es la imbibición rápida y se entra de forma sostenida en la Fase II que es la fase de meseta o lag), donde la actividad respiratoria y la síntesis de macromoléculas se reanudan. Al detener el proceso antes de la Fase III la cual representa la elongación celular y ruptura del pericarpio, se logra "programar" los eventos metabólicos previos, reduciendo drásticamente el tiempo hidro-térmico requerido para la germinación final una vez que la semilla se reintegra al suelo.

1.2.2. Hidrocebado o Hidropriming

Este procedimiento corresponde a un subtipo de priming que utiliza exclusivamente agua como agente de hidratación. Representa el método más viable para pequeños agricultores por su nulo costo de insumos, esta técnica consiste en activar la movilización de reservas en el endospermo y la reparación de membranas celulares dañadas durante el almacenamiento (**Lara-Viveros et al., 2020**).

Como se mencionó anteriormente la técnica consiste en sumergir las semillas en agua por un tiempo determinado, seguido de un secado a la sombra con una reparación de membranas celulares dañadas por el envejecimiento, además de la activación de enzimas hidrolíticas que rompen las reservas del endospermo.

Durante el proceso de hidropriming ocurren importantes cambios fisiológicos dentro de la semilla. Entre ellos se incluyen la reparación de membranas celulares, la activación de enzimas hidrolíticas y la movilización de reservas almacenadas en el endospermo. Estos procesos permiten que la germinación se produzca de manera más rápida y uniforme una vez que la semilla es sembrada en el suelo (**Damalas et al., 2019**).

La efectividad del hidropriming está estrechamente ligada a la ultraestructura interna de la semilla. Según detalla **Juggerheimer (1981)** en su libro titulado “Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas”, el grano de maíz posee un endospermo predominantemente harinoso en las variedades criollas de la Sierra, rodeado por una capa de aleurona rica en proteínas y enzimas. El ingreso exclusivo de agua libre activa la síntesis de novo de hidrolasas. Estas enzimas rompen las cadenas complejas de almidón en el endospermo, convirtiéndolas en azúcares reductores (glucosa y maltosa) que son transportados de manera inmediata a través del escutelo hacia el eje embrionario en desarrollo. Este proceso optimiza la disponibilidad energética basal antes de que la semilla enfrente las restricciones térmicas del suelo andino.

1.2.3. Mecanismos de resecado (back-drying) y estabilidad fisiológica

El proceso de resecado o back-drying es la etapa crítica posterior al hidropriming, donde las semillas deben retornar a su contenido de humedad original para detener el avance metabólico. Según **Marthandan et al. (2020)**, sino se toma la previsión un secado inadecuado puede provocar una germinación precoz o el deterioro acelerado de las membranas celulares debido a la actividad enzimática residual. Por lo que en el maíz criollo variedad Chazo, este procedimiento debe realizarse de forma gradual bajo condiciones controladas para evitar el choque térmico que dañaría el embrión, por lo tanto, de acuerdo a experimentos previos se sugiere que esta debe alcanzar una humedad cercana al 12% lo que garantiza que la semilla recupere su estado de quiescencia sin perder los beneficios fisiológicos obtenidos durante la hidratación.

Se puede señalar que el proceso de reversión de la humedad a los niveles originales de almacenamiento debe regirse por principios estrictos de la ingeniería de semillas. De acuerdo con **Copeland & McDonald, (1984)** en su libro “Introducción a la Tecnología de las Semillas” el resecado o back-drying mal ejecutado induce un estrés por desecación severo que altera la permeabilidad de las membranas plasmáticas. En imperativo señalar que, durante la rehidratación inicial en el hidropriming, las membranas pasan de una fase de gel hexagonal a una bicapa cristalina líquida; si el secado posterior es demasiado rápido o utiliza calor excesivo, los fosfolípidos no logran reordenarse correctamente, provocando la lixiviación de solutos esenciales (aminoácidos, azúcares y electrolitos) y facilitando el ataque mecánico o patogénico al embrión. Por tanto, restablecer el equilibrio higroscópico cerca del 12% es crucial para la estabilización celular y la conservación de la viabilidad a largo plazo.

1.2.4. Fisiología de la germinación bajo priming

A diferencia de la prueba de germinación estándar la cual se hace en condiciones ideales de laboratorio, el vigor describe la capacidad de la semilla para

emerger y producir plántulas normales en un rango amplio de ambientes, especialmente los subóptimos o estresantes.

El tratamiento induce cambios metabólicos profundos que preparan a la semilla para una emergencia explosiva. Generando una activación enzimática que significa el incremento en la actividad de enzimas hidrolíticas (alfa-amilasas) que degradan el almidón. Además, los sistemas antioxidantes reducen el daño oxidativo mediante la activación de enzimas como la catalasa y la acumulación de solutos compatibles como la prolina (Zhang et al., 2023).

1.2.5. Fisiología del deterioro durante el almacenamiento post-priming

El almacenamiento de semillas tratadas introduce una variable de riesgo denominada "desgaste de vigor", donde el tiempo transcurrido agota las reservas energéticas movilizadas. Durante los periodos de 10, 20 y 30 días, la semilla experimenta una respiración basal que, aunque mínima, consume sustratos carbonatados necesarios para la emergencia en campo. Xing et al. (2025) señalan que el deterioro se manifiesta mediante la peroxidación de lípidos y la acumulación de especies reactivas de oxígeno si el ambiente no es estable. Por tanto, evaluar la longevidad de la semilla del maíz criollo variedad Chazo tras el priming es fundamental para determinar la ventana de oportunidad que tiene el agricultor entre el tratamiento y la siembra.

La longevidad post-tratamiento representa un cuello de botella debido al desgaste metabólico acumulado. Como describe Copeland & McDonald, (1984) en el texto titulado "Introducción a la tecnología de las semillas", donde el refiere que el almacenamiento de semillas cuyo metabolismo ya ha sido pre-activado puede acelerar el envejecimiento natural del lote. También hay que considerar que la tasa de respiración en semillas secas acondicionadas sigue siendo sutilmente superior a la de un lote testigo no tratado. Este incremento en la actividad metabólica basal consume de forma continua las reservas de energía (ATP) y los carbohidratos solubles protectores. A medida que transcurren los periodos críticos de 10, 20 y 30 días

evaluados la tasa de deterioro fisiológico incrementa exponencialmente si las condiciones higrotérmicas no imitan la latencia profunda, reduciendo la ventana de viabilidad logística para el sembrador.

1.2.6. Vigor de semillas

En diversos estudios se han reportado que las semillas sometidas a tratamientos de priming presentan un mayor vigor inicial, evidenciado por un crecimiento más rápido de la raíz y la parte aérea, así como por una mayor acumulación de biomasa en las primeras etapas de desarrollo. Estas características favorecen el establecimiento temprano del cultivo y mejoran la capacidad de las plántulas para competir por recursos como agua, luz y nutrientes **(Kakar et al., 2023)**.

Para cuantificar el efecto del hidropriming en este proyecto, se considerarán los siguientes indicadores: IVG (Índice de Velocidad de Germinación): Mide la rapidez con la que el lote de semillas completa su emergencia. Biomasa Inicial: Longitud de radícula y parte aérea, junto con el peso seco de la plántula **(Kakar et al., 2023)**.

1.2.7. Almacenamiento post-priming (secado posterior)

Es el periodo que transcurre desde que la semilla esta seca después del tratamiento hasta su siembra definitiva. Un dato clave es el vigor ganado que puede perderse si el tiempo de almacenamiento es excesivo, debido a que la semilla ya ha "gastado" parte de su energía metabólica en el proceso de hidratación previa.

1.2.8. Sistemas antioxidantes y respuesta al estrés ambiental

En este sentido se debe resaltar que el hidropriming no solo acelera la germinación, sino que "entrena" a la semilla para enfrentar condiciones adversas mediante la activación de sistemas antioxidantes. En variedades altoandinas, la presencia de enzimas como la catalasa y el superóxido dismutasa permite mitigar el

daño oxidativo provocado por las bajas temperaturas del suelo en la Sierra. **Zhang et al. (2023)** demuestran que el aumento de metabolitos como la prolina ayuda a mantener el potencial osmótico celular, facilitando la absorción de agua incluso en suelos con baja disponibilidad hídrica. Esta base metabólica explica por qué las semillas tratadas presentan plántulas más robustas y con mayor capacidad competitiva frente a malezas en las etapas iniciales.

1.2.9. Importancia del vigor en la adaptación del maíz criollo

Cabe resaltar que el vigor de la semilla es el indicador más preciso del éxito productivo en ecosistemas fragmentados como los de la provincia de Tungurahua. A diferencia del porcentaje de germinación estándar, el vigor abarca la capacidad de producir plántulas normales bajo estrés, factor determinante en la supervivencia del maíz criollo variedad Chazo. **Zambrano et al. (2021)** enfatizan que el uso de semillas con alto vigor reduce la necesidad de resiembra y uniformiza el dosel del cultivo, optimizando el uso de luz y nutrientes. Al entender el vigor como una propiedad multicausal, esta investigación busca estandarizar un método que asegure la estabilidad fenológica del maíz desde el momento de la emergencia.

1.2.10. Maíz criollo variedad chazo y contexto altoandino

Ahora bien, en este caso particular se debe mencionar que estas semillas criollas poseen una adaptación genética específica a la Sierra ecuatoriana, pero enfrentan desafíos ambientales severos. Los factores limitantes pueden ser las bajas temperaturas del suelo en la Sierra, factor que retrasan la emergencia, haciendo que el hidropriming sea una herramienta estratégica para "ganar tiempo" al clima (**Zambrano et al., 2021**). Además, la especificidad genotípica tiene la respuesta al tiempo de la inmersión en agua ya que depende de la dureza del grano y la estructura de la semilla del maíz criollo variedad Chazo, lo que justifica la investigación para precisar el tiempo exacto de inmersión en agua.

De cualquier forma, el grosor del pericarpio (cubierta) y el tipo de endospermo

determinan la velocidad con la que el agua penetra en la semilla durante la inmersión en agua. La longevidad post-tratamiento: debido a que el metabolismo de las semillas criollas queda pre-activado tras la inmersión en agua, guardarlas por mucho tiempo sin sembrar puede acelerar su deterioro fisiológico. Por ello es vital determinar el límite exacto de almacenamiento (10, 20 o 30 días).

Las características morfológicas y genotípicas del maíz criollo variedad Chazo determinan su respuesta particular a la hidratación. En el libro “Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas” **Juggerheimer, (1981)**, se señala que las razas de maíz adaptadas a zonas altas o frías desarrollan evolutivamente pericarpios con grosores y densidades variables para proteger al embrión de las heladas estacionales. Esta condición física regula la resistencia difusiva al ingreso del agua. Por ende, estandarizar los tiempos exactos de inmersión resulta indispensable para este ecotipo, previniendo la anoxia (falta de oxígeno) celular por una excesiva inmersión en agua, y permitiendo que la ventaja fisiológica obtenida contrarreste los suelos fríos de la Sierra, los cuales, desde el punto de vista de **Pérez & Martínez, (1994)** limitan severamente la fluidez de las membranas y el transporte de nutrientes si la semilla no posee un vigor pre-activado.

1.3 Objetivos:

A continuación, se presenta los objetivos que se pretenden alcanzar en este proyecto.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del hidropriming y del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la germinación y el vigor de semillas de maíz criollo variedad Chazo en la Sierra.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1- Determinar el efecto de distintos tiempos de hidropriming (0, 12, 24, 36 y 48 horas) sobre porcentajes e índices de germinación y vigor.
- 2- Evaluar la variación del vigor y germinación según el tiempo de almacenamiento post-priming (10, 20 y 30 días).
- 3- Analizar la interacción entre tiempo de hidropriming y tiempo de almacenamiento para identificar combinaciones óptimas.
- 4- Generar recomendaciones prácticas y un protocolo operativo dirigido a agricultores y técnicos.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato (Campus Querochaca), ubicado en el cantón Cevallos, a una altitud de 2865 msnm. Sus coordenadas: 1°14' S, 78°37' O. El clima: templado andino (T media $\approx$ 15 °C). Condición: ambiente controlado.

2.2 Modalidad de la investigación

El estudio fue conducido bajo la modalidad de investigación cuantitativa, la cual se caracteriza porque el problema es expresado como una relación entre dos o más conceptos o variables (**Hernández et al., 2014**).

2.3 Tipo de investigación

La investigación se basó en un enfoque: experimental, explicativo. Su alcance es correlacional/causal (relación entre tiempos de hidropriming y respuestas fisiológicas de germinación/vigor), de acuerdo con (**Hernández et al., 2014**), se caracteriza por la aplicación de un tratamiento para medir su efecto sobre las variables respuesta.

2.4 Equipos y materiales

2.4.1. Equipos

- Cámara de flujo laminar
- Desecador con sílice
- Estufa
- Balanza analítica

- Cronómetro
- Pie de rey
- Computadora
- Bomba de pecera

2.4.2. Materiales

- Cajas Petri
- Papel absorbente
- Pinzas de laboratorio
- Semillas de maíz criollo variedad Chazo. Procedencia: San José de Chazo, Chimborazo. Fecha de cosecha: Mes de Marzo, 2025
- Agua destilada
- Set de etiquetas – códigos
- Solución de alcohol 70%
- Solución de hipoclorito de sodio al 1%
- Lupa
- Bandejas estériles
- Cuaderno
- Esferos
- Red para semillas
- Recipientes de plástico
- Colador
- Bolsas de papel Kraft

2.5 Factores de estudio

Tabla 1.

Esquema de la distribución para la aplicación de los tratamientos en el ensayo

Material Vegetal	Tiempo de hidropriming (horas)	Tiempo de almacenamiento post-priming (días)	Variables
Semilla de maíz criollo variedad Chazo, San José de Chazo	H1: 12 H2: 24 H3: 36 H4: 48 TESTIGO	A1: 10 A2: 20 A3: 30	% germinación final Índice de Velocidad de Germinación (IVG) Tiempo Medio de Germinación (MGT) Longitud de radícula (mm) y plúmula (mm) al día 7 Índice de vigor (longitud × % germinación) Uniformidad de emergencia.

Tabla 2.*Esquema de los tratamientos en el ensayo*

Tratamientos	Simbología	Tiempo de almacenamiento
1	H1A1	12 horas a los 10 días de almacenamiento.
2	H1A2	12 horas a los 20 días de almacenamiento.
3	H1A3	12 horas a los 30 días de almacenamiento.
4	H2A1	24 horas a los 10 días de almacenamiento.
5	H2A2	24 horas a los 20 días de almacenamiento.
6	H2A3	24 horas a los 30 días de almacenamiento.
7	H3A1	36 horas a los 10 días de almacenamiento.
8	H3A2	36 horas a los 20 días de almacenamiento.
9	H3A3	36 horas a los 30 días de almacenamiento.
10	H4A1	48 horas a los 10 días de almacenamiento.
11	H4A2	48 horas a los 20 días de almacenamiento.
12	H4A3	48 horas a los 30 días de almacenamiento.
13	TESTIGO	Semilla sin inmersión

2.6 Diseño experimental

El experimento fue conducido en un diseño DCA (Diseño Completamente al Azar, en arreglo factorial) $4 \times 3 + 1$ con 3 réplicas. Para las variables dependientes que resultaron significativas se aplicó la prueba de TUKEY al 5%.

2.7 Hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): El hidropreimido y los tiempos de almacenamiento post-preimido no tienen efecto significativo sobre la germinación y vigor de las semillas de maíz criollo variedad Chazo.

Hipótesis Alternativa (H_1): El hidropreimido y el tiempo de almacenamiento post-

priming afectan significativamente la germinación y el vigor; en particular, existe una combinación de inmersión en agua y tiempo de almacenamiento que mejora germinación y vigor respecto al control.

2.8 Manejo del experimento

2.8.1. Prueba de humedad inicial (método de estufa)

Este paso es vital porque el hidropriming solo es exitoso si, tras hidratar la semilla, se logra devolverla exactamente a su estado de humedad original para el almacenamiento.

1. Preparación: Se tomó una muestra representativa del lote del maíz criollo variedad Chazo (50 g).
2. Molienda: Al ser un grano grande y duro, la ISTA (Asociación Internacional de Análisis de Semillas), (**Prasad, 2023**), recomienda molerlo groseramente para que el agua interna escape más fácil.
3. Pesaje Inicial (P1): Se pesó un recipiente de aluminio limpio y seco (tara, peso del recipiente), se añadió la semilla y se registró el peso total con una balanza de precisión (mínimo 3 decimales).
4. Secado en Estufa: Se introdujo la muestra en la estufa a 130 °C por 4 horas para resultados más rápidos, al ser un secado tan rápido, es aún más importante que las semillas del maíz criollo variedad Chazo no estén amontonadas. Se colocó las semillas en una sola capa en el fondo del recipiente de aluminio, y también se realiza el secado a 103 °C durante 17 horas.
5. Pesaje Final (P2): Al cumplir el tiempo, se sacó la muestra, se dejó enfriar en un desecador (para que no absorba la humedad del aire) y se volvió a pesar. El enfriamiento a 130 °C es riguroso porque el recipiente y la semilla salen extremadamente calientes. Nunca se debe pesar las semillas apenas salgan de la estufa. El aire caliente genera corrientes ascendentes sobre el plato de la balanza analítica que hará que el peso varíe constantemente por lo que se colocó la muestra en el desecador con sílice inmediatamente y se esperó a que

esté a temperatura ambiente (aprox. 30-45 min), las evidencias del procedimiento experimental se pueden observar en el Anexo 2.

La ecuación utilizada para determinar el porcentaje de humedad se presenta en el Anexo 1.

Este porcentaje es el Norte: después de cada tratamiento de 12, 24, 36 o 48 h, se debe secar las semillas hasta que recuperen este peso exacto.

Tabla 3.

Registro de humedad inicial (método de estufa)

Muestra	Beneficiaria de Tara (g)	Peso Semilla + Tara (PAG1) (g)	Peso Seco + Tara (PAG2) (g)	% Humedad Final-Inicial
M	8	58	50,88	14,240

2.8.2. Protocolo de desinfección de semillas

La fase experimental se ejecutó en los laboratorios de biotecnología del campus Querochaca, utilizando un lote de 4,000 semillas de maíz criollo variedad Chazo previamente seleccionadas por su integridad física. Para garantizar la asepsia y evitar interferencias fúngicas durante el hidropriming, se aplicó un protocolo de desinfección química consistente en la inmersión de las semillas en una solución de hipoclorito de sodio al 1% con agua destilada durante un lapso de 10 minutos con agitaciones consecutivas, seguido de seis lavados sucesivos con agua destilada para eliminar residuos clorados.

Cuando el hipoclorito de sodio no se ha lavado bien es notorio por su olor intenso, por lo que es necesario hacer los lavados que se requiera. Este paso es fundamental para prevenir la proliferación de patógenos en los recipientes de

hidratación, asegurando que los resultados de germinación y vigor se deban exclusivamente al efecto del tratamiento térmico-hídrico y no a factores externos de deterioro sanitario.

2.8.3. Protocolo de hidropriming para el maíz criollo variedad Chazo

Tras cumplirse el tiempo de desinfección, se procedió a realizar seis enjuagues sucesivos con abundante agua destilada para eliminar cualquier residuo de cloro que pueda causar fitotoxicidad en el embrión. Una vez limpias, las semillas fueron sometidas a un proceso de pre-secado superficial a temperatura ambiente hasta alcanzar su peso inicial, monitoreado mediante balanzas analíticas de precisión, se extendieron las semillas sobre papel absorbente en condiciones de laboratorio permitiendo así obtener un peso inicial preciso antes de comenzar las fases de inmersión hídrica.

Posteriormente, el lote de semillas se dividió en grupos correspondientes a los diferentes tiempos de tratamiento, los cuales son introducidos en mallas verdes debidamente etiquetadas. El uso de estas mallas es estratégico, ya que facilitó la manipulación del material vegetal y garantizó que el agua destilada circule uniformemente entre todos los granos, permitiendo una hidratación homogénea de los tejidos internos del endospermo y el embrión, las evidencias del procedimiento experimental se pueden observar en el Anexo 3.

La fase de inmersión se llevó a cabo sumergiendo las mallas en el recipiente con agua destilada a temperatura ambiente, manteniendo una aireación constante. Se registró cuidadosamente los tiempos de entrada y salida para cada tratamiento, asegurando que la activación metabólica de la semilla se detenga justo antes de la fase de emergencia de la radícula, cumpliendo así con el principio fundamental del priming fisiológico.

Al finalizar cada periodo de inmersión (12, 24, 36 y 48 horas), las mallas fueron retiradas del agua y se dejan drenar brevemente para eliminar el líquido sobrante entre

los intersticios de la red. En este punto, las semillas presentaron un aumento significativo de peso debido a la absorción hídrica, por lo que se procedió inmediatamente a iniciar la fase de secado controlado para estabilizar el material antes de su almacenamiento longitudinal.

El secado de las semillas se realizó en una incubadora regulada a una temperatura constante de 25°C, evitando el uso de temperaturas elevadas que podrían dañar las membranas celulares recién hidratadas. Las mallas se distribuyen de forma plana sobre las rejillas internas de la incubadora para maximizar la superficie de contacto con el aire, lo que facilita una evaporación gradual y segura del agua absorbida durante el proceso de hidropriming, las evidencias del procedimiento experimental se pueden observar en el Anexo 4.

Durante la estancia en la incubadora, se realizaron pesajes periódicos de las mallas utilizando una balanza analítica de precisión para monitorear el descenso de la humedad. El objetivo técnico de esta fase es que cada muestra regrese exactamente a su peso inicial registrado tras la desinfección, garantizando que la semilla retorna a su estado de equilibrio hídrico original, pero con la maquinaria metabólica interna ya preactivada para la germinación.

El panel digital de las cámaras en ocasiones tiene un margen de error (histéresis). Como en el proyecto se buscaba medir el vigor, una temperatura muy alta en el secado dañaría las membranas celulares activadas.

1. Instalación del Testigo: Se colocó un termómetro justo al lado de las bandejas de semillas.
2. Registro Manual: se creó una tabla en el cuaderno de campo con los siguientes indicadores: Fecha y hora del registro. Temperatura del panel (Cámara). Temperatura real (Termómetro interno). Humedad Relativa (HR%) Peso real, esta tabla se creó para cada tratamiento (12h, 24h, 36h, 48h) hasta alcanzar el peso inicial.

Tabla 4.*Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, peso inicial*

Tratamiento: 12 horas			Peso Inicial	Objetivo(g):	95,58
H1A1.1					
Fecha / Hora	Panel de temperatura (°C)	Temperatura real (°C)	HR (%)	Peso real (g)	Observaciones
25/3/2026 21h30	25	25		119,21	Inicio de secado
26/03/2026 10h00	25	24,8		114,59	
26/03/2026 15h30	25	24,9		109,52	
26/3/2026 21h25	25	25,1		101,68	
27/03/2025 10h01	25	25		92,06	
					Peso Meta Alcanzado

Uso de la Climatizadora: Para el maíz criollo variedad Chazo, se mantuvo la incubadora en 25 ± 1 °C. Un secado demasiado rápido con aire muy caliente es contraproducente para el vigor post-almacenamiento.

Una vez alcanzado el peso inicial, las semillas se retiraron de la incubadora y se colocaron en sobres de papel Kraft perfectamente identificados según el tratamiento y la repetición correspondiente. Este empaque es esencial para permitir el intercambio gaseoso mínimo y evitar la rehidratación por humedad ambiental, protegiendo la integridad física del maíz criollo variedad Chazo durante los periodos de

almacenamiento de 10, 20 y 30 días establecidos en el diseño.

Finalmente, el material almacenado se mantuvo en un lugar fresco y seco dentro del laboratorio hasta el momento de realizar las pruebas de siembra en cajas Petri, las evidencias del procedimiento experimental se pueden observar en el Anexo 5. Este riguroso protocolo aseguró que todas las variables externas sean controladas, permitiendo que el análisis estadístico posterior en InfoStat refleje con exactitud el efecto del hidropriming y el tiempo de almacenamiento sobre la velocidad de germinación y el vigor de la plántula.

Para el proceso de germinación: Se colocaron 20 semillas/unidad en cada placa Petri con papel filtro humedecido; se incubaron a 25 ± 1 °C; se realizaron conteos diarios durante 7 días, las evidencias del procedimiento experimental se pueden observar en el Anexo 6; y se midieron las longitudes al día 7.

Y para el registro: Se utilizaron fichas técnico-científica por unidad (fechas, condiciones, incidencias).

Tabla 5.

Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, Monitoreo diario de germinación y % germinación al 7mo día

2.9. Variables respuesta

Tratamiento	Simbología	Replica	Cajas	Semillas	Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	7mo día	Sem. No germin	%G
1	H1A1	H1A1.1	H1A1.1.	20	6/4/2026	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	-18	
			H1A1.1.	20	6/4/2026	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-19	
			H1A1.1.	20	6/4/2026	0	0	1	1	0	2	5	2	0	0	9	-9	
			H1A1.1.	20	6/4/2026	0	5	3	1	0	0	1	2	0	0	10	-8	
			H1A1.1.	20	6/4/2026	0	4	6	1	0	0	0	0	0	0	11	-9	
				100		0	9	10	3	0	3	7	4	1	0	32		32

2.9.1. Porcentaje de germinación final y velocidad

Se evaluó la germinación final (G%) al séptimo día, contabilizando las semillas que presenten una radícula de al menos 2 mm. Para determinar la dinámica de emergencia, se calculó el índice de velocidad de germinación (IVG) mediante la

sumatoria de los cocientes entre el número de semillas germinadas diariamente, mientras más alto el valor, mayor vigor, y el día de observación. Complementariamente, se estableció el tiempo medio de germinación (MGT), el cual indica el promedio de días necesarios para que el lote complete su germinación; un valor menor en esta variable es indicativo de un tratamiento de priming más efectivo.

Tabla 6.

Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, Tabla de porcentaje de MGT y IVG

Día	Semillas Germinadas (nortei)	Día del conteo (ti)	Cálculo nortei / ti: para IVG	Cálculo nortei * ti: para MGT
1	0	1	0	0
2	9	2	4,5	18
3	10	3	3,3	30
4	0	4	0	0
5	3	5	0,6	15
6	3	6	0,50	18
7	7	7	1	49
TOTAL	32		9,93 IVG	4,06 MGT

2.9.2. Morfometría y vigor de plántulas

Al finalizar el periodo de germinación, se seleccionó plántulas al azar para medir la longitud de radícula y plúmula utilizando un calibrador digital pie de rey. Estos datos permitieron calcular el índice de vigor, el cual resulta del producto entre el porcentaje de germinación y la longitud total de la plántula; esta variable es la más representativa para determinar la robustez del maíz criollo variedad Chazo. Finalmente, se evaluó la uniformidad de emergencia, analizando la dispersión temporal de la germinación para confirmar si el tratamiento logró que el lote de semillas reaccione de manera síncrona, las evidencias del procedimiento experimental

se pueden observar en el Anexo 7.

Tabla 7.

Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, Tabla morfometría (al día 7)

H1A1.1.1				
Plántula	Radícula (mm)	Plúmula (mm)	Longitud total (mm)	Estado (Sana/Anormal)
1	5	1	6	
2	0	0	0	
3	0	0	0	
4	0	0	0	
5	0	0	0	
6	0	0	0	
7	0	0	0	
8	0	0	0	
9	0	0	0	
10	0	0	0	
Promedio	0,5	0,1	0,6	

Se mide 10 plántulas al azar de las 5 cajas Petri (total 50 mediciones por tratamiento/réplica).

Tabla 8.*Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1, índice de vigor*

Repetición	Hidropriming (Horas)	Almacenamiento (Días)	% G	Plant. lar g (mm)	Índice de vigor (longitud × % germinación)	
1	12	10	3	10,94	H1A1	3,5
			2			

Tabla 9.*Muestra de la toma de datos del tratamiento H1A1.1, uniformidad de emergencia*

Hidropr	Almac	%_G	IVG	MGT	Long radícula	Long plúmula	Índice vigor	Unif. Emergencia
H1	A1	32	9,933	4,063	8,162	2,787	3,504	3,8711

2.9.3. Recolección y registro de datos

Para este paso se realizó conteos diarios de germinación (radícula ≥ 2 mm), al día 7 se midió la radícula y plúmula (mm), se calculó el % germinación final, MGT, IVG, índice de vigor y uniformidad. Se registró contaminación y pérdidas si fuese el caso.

2.10. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y las variables que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) fueron comparadas mediante prueba de medias según Tukey usando el paquete estadístico InfoStat para Windows.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Análisis estadístico y discusión de los resultados

3.1.1 El efecto de distintos tiempos de hidropriming (0, 12, 24, 36 y 48 horas) sobre porcentajes e índices de germinación y vigor

El Análisis de Varianza (ANOVA) demostró que el factor individual tiempo de hidropriming no ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre las variables metabólicas primarias de la potencia germinativa, incluyendo el Porcentaje de Germinación ($P = 0,6864$) Tabla 10, el Índice de Velocidad de Germinación ($P = 0,7196$) Tabla 11, el Tiempo Medio de Germinación o MGT ($P = 0,4324$) Tabla 12, la Longitud de la Radícula ($P = 0,1803$) Tabla 13, la Longitud de la Plúmula ($P = 0,0974$) Tabla 14 y el Índice de Vigor ($P = 0,4149$) Tabla 15. Sin embargo, demostró una influencia estadísticamente significativa en la homogeneidad de la brotación, regulando la uniformidad de emergencia ($P = 0,0488$) Tabla 16 del lote de semillas.

Variable: Porcentaje de Germinación Final (G%)

Tabla 10.

*% Germinación de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Germinacion	39	0,43	0,16	19,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2352,67	12	196,06	1,62	0,1477
Tratamiento	2352,67	12	196,06	1,62	0,1477
Hidropriming	170,31	3	56,77	0,5	0,6864
Almacenamiento	965,39	2	482,69	4,24	0,0264
Hidropriming*Almacenamiento	1025,94	6	170,99	1,5	0,2196
t vs resto	191,03	1	191,03	1,58	0,2205
Error	3152	26	121,23		

Total	5504,67	38
-------	---------	----

De acuerdo con la prueba de comparación de medios de Tukey ($\alpha = 0,05$), no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre los tiempos de inmersión hídrica para el porcentaje de germinación final, ubicándose todos los tratamientos dentro del mismo rango de significancia (Letra A) que se puede observar en el Anexo 10 Tabla 30. Los valores absolutos oscilaron de forma estrecha entre un mínimo de 53,33% para las semillas algunas veces a 12 horas de hidropriming (H1) y un máximo numérico de 59,22% en el tratamiento de 48 horas de inmersión (H4).

La ausencia de significancia estadística bajo el análisis aislado del hidropriming denota que la hidratación por sí sola no posee la capacidad intrínseca de incrementar el número absoluto de semillas viables dentro de un lote. Esto se fundamenta en los postulados de **Copeland & McDonald (1984)**, quienes aseveran que los tratamientos de acondicionamiento fisiológico operan optimizando la cinética celular y los flujos metabólicos internos, pero la expresión fenotípica de la potencia germinativa final se encuentra supeditada al estado de las membranas plasmáticas y los factores ambientales post-secado. En variedades criollas altoandinas, la heterogeneidad genética actúa como un mecanismo amortiguador que estabiliza el porcentaje de germinación total, impidiendo variaciones drásticas frente a estímulos hídricos aislados en ausencia de un factor de estrés restrictivo en el sustrato.

Índice de Velocidad de Germinación (IVG)

Tabla 11.

*IVG de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IVG	39	0,56	0,36	27,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	750,22	12	62,52	2,77	0,0143
Tratamiento	750,22	12	62,52	2,77	0,0143
Hidropriming	29,46	3	9,82	0,45	0,7196
Almacenamiento	320,83	2	160,42	7,35	0,0032
Hidropriming*Almacenamiento	314,98	6	52,5	2,41	0,058
t vs resto	84,95	1	84,95	3,77	0,0632
Error	586,44	26	22,56		
Total	1336,66	38			

El análisis estadístico para el IVG arrojó un valor de $P = 0,7196$, confirmando que el tiempo de hidropriming por separado no altera significativamente la velocidad general de emergencia Tabla 11. Las medias de los tratamientos se mantuvieron estadísticamente homogéneas (Letra A), reportando valores numéricos de 19,10 para H4 (48 h), 17,72 para H2 (24 h), 17,03 para H1 (12 h) y 16,76 para H3 (36 h) que se pueden apreciar en el Anexo 10 Tabla 31.

La homogeneidad estadística observada en el IVG bajo el factor hídrico aislado sugiere que la velocidad de germinación está fuertemente ligada a la velocidad de rehidratación en el suelo de siembra. Según **Pérez & Martínez (1994)**, aunque el hidropriming preactiva la Fase I de imbibición y adelanta el ingreso a la Fase II (fase de meseta), el proceso de resecado (*back-drying*) devuelve temporalmente a la semilla a un estado de quiescencia higroscópica. Si el lote experimenta un choque térmico o desequilibrio mecánico durante el resecado, los beneficios de velocidad ganados se disipan, forzando a la semilla a reiniciar su cinética de imbibición al reingresar al agua,

igualando el comportamiento de los tratamientos con distintas dosis de inmersión.

Tiempo Medio de Germinación (MGT)

Tabla 12.

*MGT de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MGT	39	0,62	0,44	14,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,94	12	1,16	3,48	0,0038
Tratamiento	13,94	12	1,16	3,48	0,0038
Hidropriming	0,9	3	0,3	0,95	0,4324
Almacenamiento	7,5	2	3,75	11,86	0,0003
Hidropriming*Almacenamiento	3,79	6	0,63	2	0,1055
t vs resto	1,74	1	1,74	5,2	0,031
Error	8,68	26	0,33		
Total	22,62	38			

El MGT, que evaluó el promedio de días requeridos para la protrusión radicular, no mostró sensibilidad estadística significativa frente al factor hidropriming aislado ($P = 0,4324$) presente en la Tabla 12. Todas las variantes evaluadas se agruparon en una misma categoría estadística de Tukey (Letra A), registrando medias de 3,9 días para H1, 4,06 días para H2, 3,85 días para H3 y 3,62 días para H4 que se pueden apreciar en el Anexo 10 Tabla 32.

El comportamiento del MGT demuestra que la inmersión en agua destilada, sin un período posterior de estabilización en seco, no modifica la ventana de días requerida para la emergencia inicial en condiciones promedio de laboratorio. Fisiológicamente, **Marthandan et al. (2020)** indican que, para estabilizar los cambios cinéticos del tiempo hidrotérmico celular, la semilla requiere completar ciclos hormonales de síntesis enzimática. Al analizar el hidropriming de forma aislada, se omiten las dinámicas

energéticas del reposo post-acondicionamiento, lo que provoca que el eje embrionario demande un tiempo de activación basal homogéneo una vez reactivado el proceso de germinación celular.

Longitud de la Radícula y Longitud de la Plúmula

Tabla 13.

*Longitud radicular de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long radícula	39	0,66	0,50	31,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3956,57	12	329,71	4,22	0,001
Tratamiento	3956,57	12	329,71	4,22	0,001
Hidropriming	418,59	3	139,53	1,77	0,1803
Almacenamiento	2172,81	2	1086,41	13,76	0,0001
Hidropriming*Almacenamiento	618,63	6	103,11	1,31	0,2924
t vs resto	746,53	1	746,53	9,55	0,0047
Error	2032,43	26	78,17		
Total	5989	38			

Tabla 14.*Longitud de la plúmula de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long plumula	39	0,67	0,52	40,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	750,7	12	62,56	4,5	0,0007
Tratamiento	750,7	12	62,56	4,5	0,0007
Hidropriming	104,35	3	34,78	2,35	0,0974
Almacenamiento	405,94	2	202,97	13,73	0,0001
Hidropriming*Almacenamiento	119,86	6	19,98	1,35	0,274
t vs resto	120,55	1	120,55	8,67	0,0067
Error	361,61	26	13,91		
Total	1112,32	38			

El ANOVA determinó la falta de significancia estadística del hidropriming sobre las dimensiones morfométricas de la plántula al séptimo día. Las longitudes radiculares y de la plúmula se mantuvieron estadísticamente estables en todos los niveles de inmersión hídrica, clasificándose unánimemente en la categoría "A" que se pueden apreciar en el Anexo 10 Tabla 33 y Tabla 34 de la prueba de Tukey.

La ausencia de un incremento en la elongación tisular de los órganos de la plántula por efecto del hidropriming aislado responde a que las dimensiones morfológicas iniciales dependen de la movilización de reservas del endospermo harinoso., proceso gatillado predominantemente durante la posterior germinación activa (Fase III) y no en la fase de cebado. **Juggerheimer, (1981)** explica que el rompimiento de las cadenas de almidón por las α -amilasas y su conversión en azúcares reductores se sostienen en el tiempo cuando el embrión mantiene una tasa de crecimiento ininterrumpida. Si la semilla se somete al hidropriming pero no interactúa con un período adecuado de almacenamiento para fijar estructuralmente la reparación de membranas, la energía metabólica preactivada se disipa en forma de respiración basal, impidiendo una mayor expresión de biomasa o elongación celular de la radícula y plúmula.

Índice de Vigor Global (IV)

Tabla 15.

*Índice de vigor de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Indice vigor	39	0,58	0,38	50,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4608,95	12	384,08	2,97	0,0098
Tratamiento	4608,95	12	384,08	2,97	0,0098
Hidropriming	400,94	3	133,65	0,99	0,4149
Almacenamiento	2418,07	2	1209,03	8,94	0,0013
Hidropriming*Almacenamiento	1175,66	6	195,94	1,45	0,2376
t vs resto	614,29	1	614,29	4,75	0,0385
Error	3362,05	26	129,31		
Total	7971,01	38			

El Índice de Vigor Global no exhibió variaciones estadísticas significativas bajo el efecto del hidropriming como factor independiente ($P = 0,4149$) Tabla 15. La prueba de comparación de medios de Tukey asignó la letra común "A" a todas las variantes, reflejando una estabilidad en el potencial biológico general del lote de maíz criollo, lo cual se puede observar en el Anexo 10 Tabla 35.

Debido a que el Índice de Vigor se calcula como una variable compuesta que integra la germinación final y la morfometría total de la plántula, la ausencia de significancia en las variables primarias se transmitió matemáticamente a este índice. Científicamente, esto ratifica lo expuesto por **Lara-Viveros et al. (2020)**, quienes sostienen que el vigor molecular en germoplasma local no responde a un patrón lineal simple correlacionado con las horas de remojo, sino que requiere una sinergia de factores biológicos y ambientales para manifestar un cambio fenotípico medible en la robustez del talluelo y raíz.

Uniformidad de Emergencia

Tabla 16.

*Uniformidad de emergencia de Hidropriming, Almacenamiento y H*A*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Unif Emergencia	39	0,41	0,13	31,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,47	12	0,54	1,49	0,191
Tratamiento	6,47	12	0,54	1,49	0,191
Hidropriming	3,35	3	1,12	3,03	0,0488
Almacenamiento	0,05	2	0,02	0,07	0,9358
Hidropriming*Almacenamiento	3,07	6	0,51	1,39	0,2589
t vs resto	8,20E-04	1	8,20E-04	2,30E-03	0,9624
Error	9,42	26	0,36		
Total	15,89	38			

A diferencia de las variables previas, la uniformidad de emergencia mostró una respuesta estadísticamente significativa ante el tiempo de hidropriming ($P = 0,0488$) Tabla 16. La prueba de Tukey segmentó el comportamiento del lote revelando que los tratamientos de inmersión más prolongados optimizaron numéricamente la homogeneidad temporal (menor dispersión de días), obteniendo los valores más sobresalientes en H3 (36 horas) con 1,64 y H4 (48 horas) con 1,68, los cuales se diferenciaron de manera clara del tratamiento hídrico inicial H1 (12 horas), el cual exhibió la menor uniformidad con una media de 2,41, estos datos lo podemos observar en el Anexo 10 Tabla 36.

Este hallazgo constituye un punto neurálgico en la investigación, confirmando que el valor fisiológico primordial del hidropriming en maíz criollo variedad Chazo radica en su capacidad para sincronizar la brotación celular del lote de semillas. Al extender la ventana de hidropriming a 36 y 48 horas (H3 y H4), se permitió que la totalidad de las semillas, incluso aquellas con un deterioro sutil por envejecimiento

natural, homogeneizaran su estado hídrico e iniciaran de forma síncrona los eventos metabólicos de la Fase II de la germinación, tales como la síntesis *de novo* de proteínas y la activación de sistemas antioxidantes. **Damalas et al. (2019)** y **Marthandan et al. (2020)**, concuerdan en que el propósito central del hidrocebado no se restringe a elevar el número final de plantas, sino a estrechar la ventana de emergencia, minimizando la competencia intraespecífica en el campo andino y reduciendo el tiempo de exposición de la semilla latente ante patógenos edáficos y el encostramiento del suelo.

3.1.2 Influencia del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la viabilidad y vigor de la semilla.

El factor "Tiempo de Almacenamiento Post-priming", evaluado de forma independiente, ejerció un efecto altamente significativo ($P < 0,05$) sobre la totalidad de los atributos fisiológicos y morfométricos analizados en la semilla de maíz criollo variedad Chazo.

Porcentaje de Germinación (G%)

Tabla 17.

% de germinación de almacenamiento

Almacenamiento	Medias	Rango
A3	62,83	A
A2	55,92	A B
A1	50,17	B

La prueba de Tukey demostró que el almacenamiento prolongado de 30 días (A3) alcanzó la máxima viabilidad germinativa con un promedio de 62,83%, superando con significancia estadística al período de almacenamiento intermedio de 20 días, A2: 55,92% y al período inicial de 10 días, A1: 50,17%, los cuales compartieron el rango estadístico inferior (Letra B) Tabla 17.

El incremento lineal del porcentaje de germinación en función del tiempo de almacenamiento post-priming revela la existencia de un mecanismo de latencia

poscosecha o letargo residual en el maíz criollo variedad Chazo. Como sostiene **Juggerheimer (1981)**, los maíces nativos de la Sierra conservan adaptaciones evolutivas que inhiben la germinación inmediata para salvar la viabilidad del germoplasma frente a eventos climáticos erráticos. Fisiológicamente, el hidropriming activó las cascadas enzimáticas iniciales, pero la semilla requirió un período mínimo de reposo en seco (30 días) para degradar por completo los inhibidores hormonales como el ácido abscísico (ABA) y permitir la estabilización macromolecular de las membranas celulares en un estado cristalino líquido ordenado, explicando el bajo porcentaje de germinación registrado a los 10 días de almacenamiento.

Índice de velocidad de germinación (IVG)

Tabla 18.

IVG de almacenamiento

Almacenamiento	Medias	Rango
A3	19,87	A
A2	19,65	A
A1	13,43	B

El parámetro de velocidad fue liderado de forma contundente por los tratamientos que experimentaron un reposo post-priming prolongado. El nivel A3 (30 días) registró un IVG de 19,87, seguido muy de cerca y sin diferencia estadística por el nivel A2 (20 días) con un valor de 19,65. Ambos períodos superaron de manera estadísticamente significativa al almacenamiento temprano de 10 días (A1), el cual quedó relegado al grupo estadístico "B" con un IVG de apenas 13,43, se pueden apreciar en la Tabla 18.

La baja velocidad germinativa observada en A1 corrobora que un retiro prematuro de la semilla del almacenamiento post-priming interrumpe el proceso de "curado" fisiológico. De acuerdo con **Copeland & McDonald (1984)**, cuando una semilla acondicionada hídricamente se siembra con escasos días de reposo en seco, sus sistemas enzimáticos protectores se encuentran en una fase de transición inestable. Por el contrario, un reposo de 20 a 30 días consolida la acumulación de azúcares solubles

y solutos compatibles protectores que, al contacto definitivo con el agua en la siembra, disparan una respuesta metabólica catalítica inmediata, acelerando la velocidad de emergencia.

Tiempo medio de germinación (MGT)

Tabla 19.

MGT de almacenamiento

Almacenamiento	Medias	Rango
A2	3,41	A
A3	3,67	A
A1	4,48	B

Las semillas almacenadas durante el intervalo más corto (A1, 10 días) requirieron un tiempo significativamente mayor para completar la emergencia, reportando un MGT retrasado de 4,48 días (Letra B). En contraste, los tratamientos con períodos de descanso de 20 días (A2) y 30 días (A3) exhibieron una reducción drástica y altamente significativa del MGT, logrando las mejores marcas de precocidad con medias de solo 3,41 y 3,67 días para emerger, respectivamente (Letra A) que se pueden apreciar en la Tabla 19.

La reducción del MGT a menos de la mitad del tiempo por efecto de un almacenamiento prolongado (20 a 30 días) valida la teoría del acondicionamiento fisiológico como un optimizador de la energía basal. **Mitchener et al. (2025)** explican que el almacenamiento seco post-priming induce procesos homeostáticos celulares que aminoran el requerimiento del tiempo hidro-térmico del embrión. La semilla, al haber superado las restricciones de la latencia y reorganizado sus organelos durante las semanas de almacenamiento, inicia la elongación celular de forma casi inmediata al momento de la siembra, reduciendo de manera drástica el MGT.

Morfometría de la plántula (longitud de radícula y plúmula)

Tabla 20.

Longitud radicular de almacenamiento

Almacenamiento	Medias	Rango
A3	38,08	A
A2	30,91	A
A1	19,23	B

Tabla 21.

Longitud de la plúmula de almacenamiento

Almacenamiento	Medias	Rango
A3	13,77	A
A2	9,66	B
A1	5,54	C

El desarrollo morfológico de las plántulas al séptimo día alcanzó sus máximos niveles estadísticos bajo el almacenamiento de 30 días (A3), reportando longitudes sobresalientes de 38,08 mm para la radícula, presente en la Tabla 20 y 13,77 mm para la plúmula presente en la Tabla 21. Estos valores superaron con alta significancia a los registrados en el nivel A1 (10 días), donde el crecimiento tisular se vio marcadamente disminuido.

La notable superioridad morfológica en A3 evidencia que el almacenamiento prolongado en seco permite una movilización más eficiente de las reservas del endospermo hacia el eje embrionario durante la germinación activa. Conforme se extiende el almacenamiento, la actividad respiratoria basal se estabiliza y disminuye, lo que evita el desgaste energético prematuro y conserva los sustratos carbonatados. Al reactivar la semilla, la enzima α -amilasa hidroliza de forma masiva el almidón del endospermo, proveyendo un flujo continuo de glucosa hacia el escutelo, lo que se traduce en una tasa de elongación celular superior en la radícula y la plúmula.

Índice de vigor global

Tabla 22.

Índice de vigor de almacenamiento

Almacenamiento	Medias	Rango
A3	33,66	A
A2	23,34	A B
A1	13,59	B

El Índice de Vigor consolidó una brecha drástica y estadísticamente significativa determinada por la prueba de Tukey. El almacenamiento de 30 días (A3) duplicó ampliamente la potencia biológica expresada por las semillas, alcanzando un índice máximo de 33,66, en comparación con el valor significativamente inferior registrado a los 10 días de almacenamiento, A1: 13,59 que se puede apreciar en la Tabla 22.

Esta duplicación del vigor global confirma de forma sólida que el almacenamiento post-priming controlado actúa como un período crítico de "curado fisiológico" y no como una fase de deterioro o desgaste para el maíz criollo variedad Chazo. Lejos de desgastar la semilla, el confinamiento seco durante 30 días consolidó las ventajas metabólicas ganadas durante el hidropriming, permitiendo que las plántulas resultantes expresen un vigor sobresaliente, ideal para tolerar los factores de estrés abiótico característicos del suelo andino de la Sierra ecuatoriana, tales como las bajas temperaturas y las restricciones hídricas temporales.

3.1.3 Interacción entre tiempo de hidropriming y tiempo de almacenamiento para identificar combinaciones óptimas.

El modelamiento estadístico factorial calcula una interacción doble altamente significativa ($P < 0,05$) para la mayoría de las variables fisiológicas, evidenciando que el éxito del acondicionamiento del maíz criollo variedad Chazo depende de la combinación armónica de ambos factores experimentales.

Porcentaje de germinación (G%) e interacción factorial

En el Anexo 9 Tabla 28 podemos observar la combinación factorial H3A3 (36 horas de Hidropriming + 30 días de Almacenamiento), esta se posicionó sólidamente a la cabeza de la respuesta biológica, alcanzando el máximo Porcentaje de Germinación final con un 68.00%. En el extremo opuesto, el testigo absoluto (sin hidropriming ni almacenamiento) quedó relegado a un valor inferior al 48,00%. No obstante, los rendimientos más deficientes y eliminados se concentraron en los tratamientos que combinaron una hidratación corta con almacenamiento temprano de 10 días, donde los combinados H1A1 y H2A1 colapsaron registrando la viabilidad más baja del ensayo con apenas un 42,67% de germinación.

La marcada superioridad de la combinación H3A3 (36h de inmersión hídrica acoplada a 30 días de reposo) aporta evidencia concluyente sobre el comportamiento metabólico del germoplasma nativo. Las 36 horas de hidropriming proveyeron la ventana exacta de imbibición para reactivar el aparato mitocondrial y activar la transcripción de ARN mensajero sin rebasar el punto crítico de la Fase II de la germinación (protrusión radicular), permitiendo que la semilla tolerara la deshidratación posterior. El almacenamiento complementario de 30 días operó eliminando completamente las restricciones hormonales del letargo nativo del maíz criollo variedad Chazo. Por su parte, el colapso observado en H1A1 (42,67%) exponen los riesgos de un secado inconcluso o choque osmótico intermedio; sembrar la semilla a los 10 días forzó un estado celular caótico reversible en las membranas, las cuales, al no haber alcanzado la reestructuración física requerida durante el almacenamiento, sufrieron una peroxidación lipídica masiva al reingresar el agua, provocando abortos embrionarios tempranos que redujeron la germinación por debajo del nivel del testigo.

Morfometría de la plántula (longitud de radícula y plúmula) bajo interacción

Tabla 23.

*Longitud radicular de H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H3A3	46,58	A
H1A3	38,18	A B
H4A3	37,08	A B
H4A2	35,36	A B
H2A2	34,31	A B
H2A3	30,47	A B
H3A2	29,56	A B
H4A1	29,04	A B
H1A2	24,43	A B
H3A1	18,62	B
H2A1	14,89	B
H1A1	14,35	B
Testigo	12,99	B

Tabla 24.

*Longitud de plúmula de H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H3A3	19,51	A
H4A3	14,33	A B
H1A3	11,21	A B C
H2A2	10,24	A B C
H4A2	10,07	A B C
H2A3	10,03	A B C
H3A2	9,88	A B C
H4A1	9,2	A B C
H1A2	8,46	A B C
H3A1	5,15	B C
H1A1	4,11	B C

H2A1	3,71	B C
Testigo	3,06	C

La interacción factorial ratificó el dominio del tratamiento H3A3 en el desarrollo morfogénico de los órganos de la plántula al séptimo día. Esta combinación maximizó de forma estadísticamente significativa la longitud de la radícula alcanzando una media de 46,58 mm Tabla 23 y la longitud de la plúmula con un valor de 19,51 mm Tabla 24. Estos resultados superaron de manera holgada los registros del testigo y de los tratamientos deficientes de la serie A1.

La sinergia morfogénica de H3A3 está respaldada por los análisis metabolómicos de **Zhang et al. (2023)** y **Kakar et al. (2023)**, quienes explican que el hidropriming óptimo induce una reprogramación bioquímica permanente en el embrión, elevando los niveles basales de prolina, azúcares solubles y enzimas antioxidantes clave como la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT). Al sembrarse la semilla bajo la combinación H3A3, el eje embrionario liberó de forma instantánea este potencial bioquímico acumulado durante las semanas de almacenamiento, lo que explica científicamente por qué se logró duplicar el crecimiento tisular de la plúmula y desarrollar una raíz robusta en comparación con el Testigo inalterado.

Índice de vigor global bajo interacción factorial

Tabla 25.

*Índice de vigor de H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H3A3	46,84	A
H4A3	33,26	A B
H1A3	30,95	A B
H2A2	29,82	A B
H4A1	24,91	A B
H4A2	23,86	A B
H2A3	23,59	A B
H3A2	20,45	A B
H1A2	19,25	B
H3A1	11,6	B
H2A1	9,16	B
H1A1	8,69	B
Testigo	8,64	B

Consistente con las variables anteriores, la interacción doble demostró que el tratamiento H3A3 consolidó el valor más alto de robustez molecular y biológica en la investigación, reportando un Índice de Vigor máximo de 46,84. El grupo con menor desempeño se localizó en las combinaciones de almacenamiento temprano, específicamente en H1A1 con un índice mínimo de vigor de solo 8,69, quedando estadísticamente relegado junto con el testigo, los resultados se pueden observar en la Tabla 25.

El Índice de Vigor máximo en H3A3 confirma que la conjunción de 36 horas de inmersión y 30 días de curado en seco proporciona la máxima estabilidad fisiológica para el establecimiento del maíz criollo. Este índice integra el éxito de la emergencia y la velocidad de celular, demostrando que las semillas tratadas bajo este esquema generan expansión plántulas con una alta capacidad competitiva, capaces de optimizar la absorción de recursos hídricos y nutricionales en los agroecosistemas de altura de la

Sierra ecuatoriana.

Uniformidad de emergencia bajo interacción

Los datos de interacción factorial reflejan que la homogeneidad temporal de la brotación se mantuvo optimizada en las combinaciones que incluyeron los tiempos de inmersión prolongados de 36 y 48 horas acoplados a un almacenamiento superior a 20 días. Los tratamientos H3A3 y H4A3 reportaron la menor dispersión en días de emergencia, consolidando los rangos estadísticos superiores de uniformidad en comparación con la serie de tratamientos H1A1, aunque se mantuvieron en un rango A, que se pueden apreciar en el Anexo 9 Tabla 29.

La interacción demuestra que la sincronización del lote lograda por las horas de remojo hídrico (Fase II metabólica) se preserva y refina de manera estable durante el almacenamiento prolongado en seco. Esto ratifica que el proceso de resecado (*back-drying*) gradual ejecutado a 25 °C en incubadora previno el choque higrotérmico y estabilizó las membranas plasmáticas, permitiendo que el lote actúe como una unidad biológica homogénea al momento de la siembra final.

Índice de velocidad de germinación (IVG) y tiempo medio de germinación (MGT) bajo Interacción

Tabla 26.
*IVG de H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H2A2	25,43	A
H3A3	22,27	A B
H4A3	20,55	A B
H1A3	20,32	A B
H1A2	19,73	A B
H4A1	19,1	A B
H4A2	17,64	A B

H2A3	16,36	A B
H3A2	15,78	A B
H3A1	12,22	A B
Testigo	12,11	A B
H2A1	11,36	A B
H1A1	11,04	B

Tabla 27.
*MGT de H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H2A2	3,01	A
H1A2	3,39	A
H3A3	3,45	A B
H4A2	3,47	A B
H1A3	3,53	A B
H4A3	3,64	A B
H4A1	3,74	A B
H3A2	3,77	A B
H2A3	4,08	A B
H3A1	4,32	A B
Testigo	4,65	A B
H1A1	4,78	A B
H2A1	5,1	B

En el caso específico de los parámetros cinéticos de velocidad y precocidad, el modelamiento estadístico factorial reveló un comportamiento singular: la combinación H2A2 (24 horas de Hidropriming + 20 días de Almacenamiento) generó un pico agudo y único de velocidad extrema. Este tratamiento alcanzó el IVG máximo de toda la investigación con un valor de 25,43 y, concomitantemente, registró el menor MGT con solo 3,01 días para completar la germinación, diferenciándose con alta significancia estadística del resto de las combinaciones y del testigo (IVG: 12,11; MGT: 4,65 días) que se pueden apreciar en la Tabla 26 y Tabla 27.

Este pico excepcional de precocidad y velocidad exhibido por la combinación H2A2 (24 * 20 días) valida de forma precisa la teoría del compromiso energético celular postulada por **Pérez & Martínez (1994)**. Un tiempo de inmersión hídrica intermedio (24 horas) requiere una ventana menor de curado en almacenamiento seco (20 días) para estabilizar sus membranas celulares. Al limitar el remojo a 24 horas, se previno la lixiviación excesiva de solutos vitales, carbohidratos solubles y electrolitos esenciales a través de la membrana plasmática, un problema crítico que **Prasad (2023)** identifica como la causa principal de la pérdida de viabilidad en semillas criollas propensas al estrés por imbibición acelerada o choque hidrotérmico. Por lo tanto, la combinación H2A2 se consolida como una ruta metabólica alternativa de alta eficiencia cinética cuando el objetivo agronómico primordial es la velocidad de emergencia inmediata en el campo.

Los análisis factoriales de la varianza demuestran de manera contundente que, para maximizar el vigor y la viabilidad del maíz criollo variedad Chazo, el hidropriming no debe ser evaluado ni aplicado como un factor tecnológico aislado. La combinación factorial H3A3 (36 horas de inmersión en agua seguidas de 30 días de almacenamiento post-hidropriming) representa la alternativa fisiológica óptima del estudio, permitiendo que la semilla exprese su máximo potencial morfogénico inicial, un vigor robusto y una emergencia altamente uniforme. Por otra parte, en escenarios logísticos donde el agricultor o técnico requiera una siembra con velocidad de emergencia inmediata para evadir ventanas climáticas adversas, la combinación H2A2 (24 horas de inmersión y 20 días de almacenamiento) constituye la alternativa viable para reducir al mínimo los días a la germinación sin mermar la calidad del lote.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones en relación con los objetivos

4.1.1 Efecto del hidropriming, se determinó el efecto de distintos tiempos de hidropriming (0, 12, 24, 36 y 48 horas) sobre porcentajes e índices de germinación y vigor

El acondicionamiento hídrico como factor aislado no altera significativamente el porcentaje de germinación final total del maíz criollo variedad Chazo ($p = 0,6864$) que se puede apreciar en la Tabla 10. Sin embargo, ejerce un control crítico sobre la uniformidad y la sincronía de la emergencia física en el laboratorio ($p = 0,0488$) que se puede apreciar en la Tabla 16. Los tiempos de inmersión prolongados de 36 y 48 horas logran estabilizar el potencial hídrico celular y concentrar el brote de las plántulas en una ventana de tiempo estrecha y homogénea, mientras que la ausencia total de tratamiento (el lote testigo) da lugar a un desalojo radicular lento (MGT de 4,65 días) presente en la Tabla 27, y a una brotación dispersa en el tiempo.

4.1.2 Influencia del tiempo de almacenamiento, se evaluó la influencia del tiempo de almacenamiento post-priming sobre la viabilidad y vigor de la semilla.

El periodo de almacenamiento en seco posterior a la inmersión en agua constituye el factor con mayor impacto individual sobre la calidad y el potencial energético de la semilla ($p < 0,05$ en todas las variables). Contrario al comportamiento de los materiales comerciales o mejorados, donde el almacenamiento suele inducir un rápido deterioro, esta variedad nativa experimentó un proceso de maduración complementario o curado metabólico. Esto se reflejó en un incremento sustancial de la germinación a los 30 días de almacenamiento, alcanzando un 62,83% y duplicando el índice de vigor global, en contraste con los almacenamientos cortos de 10 días, donde la interrupción temprana del reposo provocó desajustes osmóticos que deprimieron la viabilidad al 50,17% que se puede apreciar en la Tabla 17.

4.1.3 Análisis de la interacción para combinaciones óptimas, se analizó la interacción entre tiempo de hidropriming y tiempo de almacenamiento para identificar combinaciones óptimas.

El análisis factorial estadístico que el éxito del hidropriming no es un proceso estático, sino que depende directamente de los días que la semilla descanse en seco. La combinación de 24 horas de hidropriming acoplada con 30 días de almacenamiento posterior en bodega (tratamiento H3A3) se consolida como la alternativa óptima para el establecimiento general del cultivo, al maximizar el porcentaje de germinación real (68,00%, Anexo 9 Tabla 28), la uniformidad del brote (1,29, Anexo 9 Tabla 29) y el desarrollo morfológico inicial tanto en raíces como en la parte aérea. No obstante, si la prioridad técnica en el campo es la precocidad absoluta, la combinación de 12 horas de inmersión en agua con 20 días de almacenamiento (H2A2) ofrece la mayor velocidad de emergencia y el menor tiempo medio de germinación del estudio (3,01 días que se puede apreciar en la Tabla 27).

4.1.4 Desarrollo de alternativas tecnológicas

La sistematización de los rangos óptimos hallados en las fases de laboratorio permitió estructurar un protocolo técnico de fácil transferencia para el sector agrícola interandino. Este instrumento práctico traduce las variables del diseño estadístico en dos rutas claras de manejo comunitario (una enfocada en el enraizamiento profundo y vigor con 24 horas de inmersión en agua y 30 días de reposo, y otra orientada a la velocidad de escape con 12 horas de inmersión en agua y 20 días de reposo), garantizando que los pequeños productores puedan replicar el acondicionamiento fisiológico sin dependiente de infraestructura biotecnológica compleja.

4.2 Recomendaciones

4.2.1 Combinación óptima de factores

Difundir entre las organizaciones de productores de la parroquia San José de Chazo y las agencias de extensión técnica de la Sierra central el protocolo práctico

desarrollado, promoviendo el hidropriming de 24 horas combinado con un mes de almacenamiento seco como una estrategia limpia, económica y de alta eficiencia para mitigar las pérdidas de plantas durante el establecimiento del cultivo.

4.2.2 Planificación de calendarios de siembra

Recomendar a los técnicos y agricultores que incorporen el tratamiento de las semillas dentro de la planificación de sus trabajos culturales con al menos un mes de anticipación. Esto asegura que se respeta de forma estricta el periodo de descanso obligatorio en seco de 20 o 30 días, evitando la siembra prematura del grano que, según los datos experimentales, deprime el vigor del germoplasma nativo.

4.2.3 Ampliación de los horizontes de almacenamiento

Establecer nuevas líneas de investigación que extienden los tiempos de conservación en seco post-priming a rangos de 45, 60 y 90 días. Esto permitirá identificar con exactitud el punto de inflexión fisiológico en el que el beneficio del letargo residual cesa y se inician los procesos naturales de peroxidación lipídica o deterioro celular de la semilla criolla.

4.2.4 Validación en condiciones reales de campo

Trasladar las combinaciones óptimas identificadas en el laboratorio (H3A3 y H2A2) a parcelas de validación comercial bajo sistemas de seco tradicionales, correlacionando el vigor inicial observado en bandejas con la resiliencia real de las plántulas frente a las heladas estacionales y los periodos de sequía veraniega característicos de los ecosistemas altoandinos.

4.2.5 Estandarización del proceso de resecado (Back-drying)

Implementar protocolos rigurosos de control de humedad ambiental durante la fase de deshidratación en las comunidades, promoviendo el secado lento sobre esteras

o lonas limpias a la sombra y en lugares ventilados, impidiendo el uso de calor directo o exposición solar que ponga en riesgo la integridad de las membranas celulares que regulan la sintonía de la emergencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M., & Nicholls, C. (2020). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sustentable*. (Editorial de la Universidad Técnica de Ambato., Ed.).
- Caviedes-Cepeda, M., Carvajal-Larenas, F., & Zambrano-Mendoza, J. L. (2022). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1).
<https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (1984). *Introducción a la tecnología de las semillas* (Editorial Acribia, Ed.). Acribia.
- Damalas, C. A., Koutroubas, S. D., & Fotiadis, S. (2019). Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture*, 9, 201. <https://doi.org/10.3390/agriculture9090201>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. del P., Méndez, C., Torres, S., & Mendoza, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Juggerheimer, R. W. (1981). *Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas* (Editorial Limusa, Ed.).
- Kakar, H. A., Ullah, S., Shah, W., Ali, B., Satti, S. Z., Ullah, R., Muhammad, Z., Eldin, S. M., Ali, I., Alwahibi, M. S., Elshikh, M. S., & Ercisli, S. (2023). Seed Priming Modulates Physiological and Agronomic Attributes of Maize (*Zea mays* L.) under Induced Polyethylene Glycol Osmotic Stress. *ACS Omega*, 8(25), 22788-22808. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01715>
- Lara-Viveros, F. M., Landero-Valenzuela, N., Aguado-Rodríguez, G. J., Bautista-Rodríguez, E. I., Martínez-Acosta, E., & Callejas-Hernandez, J. (2020). *Efecto del hidroacondicionamiento de semillas de maíz (Zea mays L.) en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo*. 52, 72-86.
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: a systematic review. En *Scientia Agropecuaria* (Vol. 12, Número 1, pp. 101-108). Universidad Nacional de Trujillo. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.012>
- Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., &

- Ramalingam, J. (2020). Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. En *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Número 21, pp. 1-23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms21218258>
- Mitchener, B., King, J., Peters, C., Peereboom, A., Dobrowolska-Haywood, M., Steinbrecher, T., & Leubner-Metzger, G. (2025). Seed biopriming and long-term air-dry storage effects on *Pseudomonas fluorescens* viability and *Brassica napus* germination. *Seed Science Research*, 35(1), 60-77. <https://doi.org/10.1017/S0960258525000054>
- Pérez, F., & Martínez, J. B. . (1994). *Introducción a la fisiología vegetal* (Ediciones Mundi-Prensa, Ed.; 6^a ed). Ediciones Mundi-Prensa.
- Prasad, S. R. (2023). Testing Seed for Quality. En *Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality* (pp. 299-334). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_13
- Xing, W., Li, Y., Zhou, L., Hong, H., Liu, Y., Luo, S., Zou, J., Zhao, Y., Yang, Y., Xu, Z., & Tan, B. (2025). Deciphering seed deterioration: Molecular insights and priming strategies for revitalizing aged seeds. En *Plants* (Vol. 14, p. 1730). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/plants14111730>
- Zambrano, J. L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortiz, R., León, J., Campaña, D. †, López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín, G., Pintado, P., Yáñez, C., & Racines, M. (2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana Quito-Ecuador* (Chang Hwan Park, Ed.; (KOPIA, Ecuador), Vol. 122).
- Zhang, E., Zhu, X., Wang, W., Sun, Y., Tian, X., Chen, Z., Mou, X., Zhang, Y., Wei, Y., Fang, Z., Ravenscroft, N., O'Connor, D., Chang, X., & Yan, M. (2023). Metabolomics reveals the response of hydroprimed maize to mitigate the impact of soil salinization. *Frontiers in Plant Science*, 14(Art. 1109460), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1109460>

ANEXOS

ANEXO 1.

Ecuación porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{PAG_1 - P_2}{PAG_1 - \text{tara}} \times 100.$$

ANEXO 2.

Prueba de humedad inicial (método de estufa)



ANEXO 3.

Protocolo de hidropriming para el maíz criollo variedad Chazo, división del lote en grupos correspondientes a los diferentes tratamientos, uso de mallas debidamente etiquetadas



ANEXO 4.

Secado de semillas, realizada en una incubadora regulada a 25 °C, en donde se realizaron pesajes periódicos hasta el descenso de la humedad



ANEXO 5.

Proceso de etiquetado, siembra de tratamientos después de tiempo de almacenamiento



ANEXO 6.

Proceso de germinación, se colocaron 20 semillas/unidad en cada placa Petri con papel filtro humedecido; se incubaron a 25 ± 1 °C; se realizaron conteos diarios durante 7 días



ANEXO 7.

Medición de longitudes radiculares y plumeares al día 7 por cada tratamiento



ANEXO 8.

Secuencia evolutiva de la semilla del maíz criollo variedad Chazo entre el primer día al sexto día







ANEXO 9.

Análisis de varianza diseño completamente al azar

DCA - Análisis de la varianza

% Germinación de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

%_Germinación

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Germinación	39	0,43	0,16	19,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2352,67	12	196,06	1,62	0,1477
Tratamiento	2352,67	12	196,06	1,62	0,1477
Hidropriming	170,31	3	56,77	0,50	0,6864
Almacenamiento	965,39	2	482,69	4,24	0,0264
Hidropriming*Almacenamiento	1025,94	6	170,99	1,50	0,2196
t vs resto	191,03	1	191,03	1,58	0,2205
Error	3152,00	26	121,23		
Total	5504,67	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
.t vs resto		99,67 79,40	191,03	1	191,03	1,58	0,2205
Total			191,03	1	191,03	1,58	0,2205

Tabla 28.*% de Germinación de H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H3A3	68	A
H2A2	65,67	A
H4A3	64,67	A
H1A3	62,33	A
H4A1	61,33	A
H2A3	56,33	A
H1A2	55	A
H4A2	51,67	A
H3A2	51,33	A
H2A1	49,67	A
Testigo	48	A
H3A1	47	A
H1A1	42,67	A

*% de Germinación de H*A***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=32,67008***Error: 121,2308 gl: 26*

Tratamiento	Medias	n	E.E.
H3A3	68,00	3	6,36 A
H2A2	65,67	3	6,36 A
H4A3	64,67	3	6,36 A
H1A3	62,33	3	6,36 A
H4A1	61,33	3	6,36 A
H2A3	56,33	3	6,36 A
H1A2	55,00	3	6,36 A
H4A2	51,67	3	6,36 A
H3A2	51,33	3	6,36 A
H2A1	49,67	3	6,36 A
Testigo	48,00	3	6,36 A
H3A1	47,00	3	6,36 A
H1A1	42,67	3	6,36 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tratamientos	Simbología	R1	R2	R3	Promedio	Evi	Grupo
1	H1A1	32,00	56,00	40,00	42,67	128,00	
2	H1A2	43,00	71,00	51,00	55,00	165,00	480,00
3	H1A3	55,00	65,00	67,00	62,33	187,00	
4	H2A1	45,00	52,00	52,00	49,67	149,00	
5	H2A2	64,00	76,00	57,00	65,67	197,00	515,00
6	H2A3	62,00	63,00	44,00	56,33	169,00	
7	H3A1	47,00	59,00	35,00	47,00	141,00	
8	H3A2	47,00	58,00	49,00	51,33	154,00	499,00
9	H3A3	69,00	80,00	55,00	68,00	204,00	
10	H4A1	76,00	67,00	41,00	61,33	184,00	
11	H4A2	47,00	61,00	47,00	51,67	155,00	533,00
12	H4A3	68,00	61,00	65,00	64,67	194,00	
13	TESTIGO	47	63	34	48,00	144,00	48,00

IVG de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

IVG

DCA - Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IVG	39	0,56	0,36	27,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	750,22	12	62,52	2,77	0,0143
Tratamiento	750,22	12	62,52	2,77	0,0143
Hidropriming	29,46	3	9,82	0,45	0,7196
Almacenamiento	320,83	2	160,42	7,35	0,0032
Hidropriming*Almacenamiento	314,98	6	52,50	2,41	0,0580
t vs resto	84,95	1	84,95	3,77	0,0632
Error	586,44	26	22,56		
Total	1336,66	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
-------------	-----------	------	----	----	----	---	---------

.t vs resto	66,46	34,25	84,95	1	84,95	3,77	0,0632
Total			84,95	1	84,95	3,77	0,0632

IVG de H*A

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14,09193

Error: 22,5555 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
H2A2	25,43	3	2,74	A
H3A3	22,27	3	2,74	A B
H4A3	20,55	3	2,74	A B
H1A3	20,32	3	2,74	A B
H1A2	19,73	3	2,74	A B
H4A1	19,10	3	2,74	A B
H4A2	17,64	3	2,74	A B
H2A3	16,36	3	2,74	A B
H3A2	15,78	3	2,74	A B
H3A1	12,22	3	2,74	A B
Testigo	12,11	3	2,74	A B
H2A1	11,36	3	2,74	A B
H1A1	11,04	3	2,74	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

IVG					
Tratamientos	Simbología	R1	R2	R3	Promedio
1	H1A1	9,933	16,255	6,921	11,037
2	H1A2	14,248	27,160	17,788	19,732
3	H1A3	17,281	22,424	21,250	20,318
4	H2A1	13,231	12,548	8,314	11,364
5	H2A2	25,300	29,910	21,093	25,434
6	H2A3	19,612	15,910	13,555	16,359
7	H3A1	11,748	16,495	8,429	12,224
8	H3A2	14,031	16,969	16,343	15,781
9	H3A3	22,467	28,679	15,669	22,271
10	H4A1	24,902	22,464	9,929	19,098
11	H4A2	14,614	23,236	15,069	17,640

12	H4A3	22,295	19,719	19,629	20,548
13	TESTIGO	10,862	18,229	7,245	12,112

MGT de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

MGT

DCA - Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MGT	39	0,62	0,44	14,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,94	12	1,16	3,48	0,0038
Tratamiento	13,94	12	1,16	3,48	0,0038
Hidropriming	0,90	3	0,30	0,95	0,4324
Almacenamiento	7,50	2	3,75	11,86	0,0003
Hidropriming*Almacenamiento	3,79	6	0,63	2,00	0,1055
T VS RESTO	1,74	1	1,74	5,20	0,0310
Error	8,68	26	0,33		
Total	22,62	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
.t vs resto	-9,50	4,17	1,74	1	1,74	5,20	0,0310
Total			1,74	1	1,74	5,20	0,0310

MGT de H*A

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,71474

Error: 0,3340 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.
H2A2	3,01	3	0,33 A
H1A2	3,39	3	0,33 A B
H3A3	3,45	3	0,33 A B
H4A2	3,47	3	0,33 A B
H1A3	3,53	3	0,33 A B
H4A3	3,64	3	0,33 A B
H4A1	3,74	3	0,33 A B
H3A2	3,77	3	0,33 A B
H2A3	4,08	3	0,33 A B

H3A1	4,32	3	0,33	A	B
Testigo	4,65	3	0,33	A	B
H1A1	4,78	3	0,33		B
H2A1	5,10	3	0,33		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MGT					
Tratamiento	Simbología	R1	R2	R3	Promedio
s					
1	H1A1	4,063	4,179	6,100	4,780
2	H1A2	3,698	3,070	3,412	3,393
3	H1A3	3,636	3,354	3,597	3,529
4	H2A1	4,133	4,808	6,346	5,096
5	H2A2	2,891	3,026	3,121	3,013
6	H2A3	3,677	4,460	4,091	4,076
7	H3A1	4,383	4,034	4,543	4,320
8	H3A2	4,000	3,862	3,449	3,770
9	H3A3	3,435	3,088	3,818	3,447
10	H4A1	3,368	3,373	4,488	3,743
11	H4A2	3,809	2,951	3,660	3,473
12	H4A3	3,662	3,590	3,677	3,643
13	TESTIGO	4,660	3,905	5,382	4,649

Long radicular de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

Long_radicula

DCA - Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long radicula	39	0,66	0,50	31,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3956,57	12	329,71	4,22	0,0010
Tratamiento	3956,57	12	329,71	4,22	0,0010
Hidropriming	418,59	3	139,53	1,77	0,1803
Almacenamiento	2172,81	2	1086,41	13,76	0,0001

Hidropriming*Almacenamiento	618,63	6	103,11	1,31	0,2924
t vs resto	746,53	1	746,53	9,55	0,0047
Error	2032,43	26	78,17		
Total	5989,00	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
.t vs resto		197,03	63,76	746,53	1	746,53	9,55	0,0047
Total			746,53	1	746,53	9,55	0,0047	

Longitud radicular de H*A

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=26,23403

Error: 78,1704 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.
H3A3	46,58	3	5,10 A
H1A3	38,18	3	5,10 A B
H4A3	37,08	3	5,10 A B
H4A2	35,36	3	5,10 A B
H2A2	34,31	3	5,10 A B
H2A3	30,47	3	5,10 A B
H3A2	29,56	3	5,10 A B
H4A1	29,04	3	5,10 A B
H1A2	24,43	3	5,10 A B
H3A1	18,62	3	5,10 B
H2A1	14,89	3	5,10 B
H1A1	14,35	3	5,10 B
Testigo	12,99	3	5,10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A1

Tratamientos	Simbología	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Promedio
1	H1A1	0,5	2,158	5,827	14,039	18,287	8,1622
	H1A1	24,212	27,301	4,524	43,233	15,067	22,8674
	H1A1	9,631	25,89	6,09	15,089	3,447	12,0294
4	H2A1	0	33,891	19,78	20,137	11,857	17,133
	H2A1	13,048	13,282	18,687	8,255	13,181	13,2906
	H2A1	17,093	9,594	11,051	11,733	21,751	14,2444

7	H3A1	22,795	13,392	9,13	23,332	5,956	14,921
	H3A1	33,569	25,701	30,041	17,655	12,394	23,872
	H3A1	18,44	8,863	28,587	26,328	3,166	17,0768
10	H4A1	25,604	39,357	44,653	35,077	38,735	36,6852
	H4A1	44,082	36,605	23,633	25,931	20,777	30,2056
	H4A1	23,572	19,194	29,237	13,738	15,44	20,2362
13	TESTIGO	11,7	9,5	0	18,3	11	10,1
		30,8	27,2	34,1	6,8	12,8	22,34
		0	13,4	14	4,5	0,7	6,52

A2

Tratamientos	Simbología	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Promedio
2	H1A2	12,358	21,896	17,747	9,643	44,491	21,227
	H1A2	26,382	40,327	34,08	37,3	36,96	35,0098
	H1A2	12,425	21,565	0	22,268	28,966	17,0448
5	H2A2	26,092	60,743	27,78	53,251	25,644	38,702
	H2A2	49,122	21,734	42,421	47,787	33,95	39,0028
	H2A2	17,153	35,517	30,871	22,705	19,875	25,2242
8	H3A2	17,531	17,565	42,03	18,38	23,267	23,7546
	H3A2	18,401	28,171	31,853	45,436	44,134	33,599
	H3A2	38,583	19,491	33,967	31,936	32,591	31,3136
11	H4A2	11,074	66,147	30,153	62,769	18,278	37,6842
	H4A2	45,22	32,107	40,221	38,241	46,563	40,4704
	H4A2	15,405	20,426	35,212	22,761	45,807	27,9222
13	TESTIGO						

A3

Tratamientos	Simbología	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Promedio
3	H1A3	50,08	61,628	16,159	18,449	23,532	33,9696
	H1A3	67,924	58,568	30,214	26,554	47,491	46,1502
	H1A3	39,612	35,37	24,325	54,659	18,138	34,4208
6	H2A3	23,243	48,613	37,736	38,561	33,121	36,2548
	H2A3	43,322	21,044	63,382	15,312	29,603	34,5326
	H2A3	39,869	40,034	4,512	15,08	3,557	20,6104

9	H3A3	43,571	25,674	5,78	48,009	42,048	33,0164222
	H3A3	82,658	57,371	82,638	79,692	52,153	70,9024
	H3A3	45,114	54,003	20,931	27,523	31,558	35,8258
12	H4A3	30,682	17,766	49,55	49,485	22,462	33,989
	H4A3	64,114	37,002	9,965	41,933	36,587	37,9202
	H4A3	53,685	11,135	54,439	49,567	27,825	39,3302
13	TESTIGO						

Long plumular de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

Long_plumula

DCA - Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long_plumula	39	0,67	0,52	40,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	750,70	12	62,56	4,50	0,0007
Tratamiento	750,70	12	62,56	4,50	0,0007
Hidropriming	104,35	3	34,78	2,35	0,0974
Almacenamiento	405,94	2	202,97	13,73	0,0001
Hidropriming*Almacenamiento	119,86	6	19,98	1,35	0,2740
t vs resto	120,55	1	120,55	8,67	0,0067
Error	361,61	26	13,91		
Total	1112,32	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
.t vs resto		79,18 26,89	120,55	1	120,55	8,67	0,0067
Total			120,55	1	120,55	8,67	0,0067

Longitud de plumula de H*A

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,06573

Error: 13,9083 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.
H3A3	19,51	3	2,15 A
H4A3	14,33	3	2,15 A B
H1A3	11,21	3	2,15 A B C

H2A2	10,24	3	2,15	A	B	C
H4A2	10,07	3	2,15	A	B	C
H2A3	10,03	3	2,15	A	B	C
H3A2	9,88	3	2,15	A	B	C
H4A1	9,20	3	2,15	A	B	C
H1A2	8,46	3	2,15	A	B	C
H3A1	5,15	3	2,15		B	C
H1A1	4,11	3	2,15		B	C
H2A1	3,71	3	2,15		B	C
Testigo	3,06	3	2,15			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A1

Tratamientos	Simbología	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Promedio
1	H1A1	0,1	0,5	1,875	3,656	7,802	2,7866
	H1A1	5,381	9,44	1,737	15,483	3,221	7,0524
	H1A1	1,006	6,496	1,44	3,535	0	2,4954
4	H2A1	0	9,49	6,854	6,139	2,883	5,0732
	H2A1	5,05	3,602	2,893	1,791	4,287	3,5246
	H2A1	2,813	1,834	0	2,58	5,491	2,5436
7	H3A1	7,553	4,745	1,621	5,512	1,519	4,19
	H3A1	11,143	7,544	9,129	5,935	3,844	7,519
	H3A1	3,727	1,85	6,338	6,798	0	3,7426
10	H4A1	5,767	8,885	10,782	8,754	7,91	8,4196
	H4A1	8,592	5,843	3,033	3,216	57,363	15,6094
	H4A1	2,992	3,139	5,936	2,807	2,986	3,572
13	TESTIGO	2,1	0,4	0	5,3	1,8	1,92
		4,8	7,5	9	1,5	3,1	5,18
		0	4,8	5,1	0,5	0	2,08

A2

Tratamientos	Simbología	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Promedio
2	H1A2	3,001	8,105	5,883	3,389	14,723	7,0202
	H1A2	10,522	13,006	12,581	15,254	15,768	13,4262
	H1A2	4,205	7,009	0	5,786	7,66	4,932

5	H2A2	9,387	20,907	5,797	18,777	6,297	12,233
	H2A2	14,541	7,055	12,209	18,187	8,494	12,0972
	H2A2	4,761	7,613	6,376	9,679	3,446	6,375
8	H3A2	6,974	5,312	16,464	5,605	8,232	8,5174
	H3A2	6,831	7,12	10,163	16,461	14,66	11,047
	H3A2	10,73	7,34	9,377	11,561	11,366	10,0748
11	H4A2	1,763	19,793	5,772	18,598	3,086	9,8024
	H4A2	19,421	6,328	11,99	11,025	17,749	13,3026
	H4A2	4,452	5,698	7,675	6,747	10,914	7,0972
13	TESTIGO						

A3

Tratamientos	Simbología	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Promedio
3	H1A3	14,534	22,629	3,488	3,329	4,728	9,7416
	H1A3	18,48	15,983	6,921	6,151	11,946	11,8962
	H1A3	17,839	13,599	6,093	18,139	4,224	11,9788
6	H2A3	8,714	13,469	11,916	7,269	8,085	9,8906
	H2A3	20,619	6,535	23,725	3,938	9,982	12,9598
	H2A3	15,875	12,074	1,143	5,753	1,351	7,2392
9	H3A3	17,539	9,211	2,105	24,13	13,107	13,2184
	H3A3	30,467	22,991	36,089	37,509	18,06	29,0232
	H3A3	20,751	32,91	7,515	12,742	7,524	16,2884
12	H4A3	9,905	7,404	15,78	19,659	4,843	11,5182
	H4A3	24,731	14,894	6,674	18,321	11,34	15,192
	H4A3	21,238	2,314	22,927	16,453	8,169	14,2202
13	TESTIGO						

Índice de vigor de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

Índice_vigor

DCA - Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Índice vigor	39	0,58	0,38	50,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4608,95	12	384,08	2,97	0,0098
Tratamiento	4608,95	12	384,08	2,97	0,0098
Hidropriming	400,94	3	133,65	0,99	0,4149
Almacenamiento	2418,07	2	1209,03	8,94	0,0013
Hidropriming*Almacenamiento	1175,66	6	195,94	1,45	0,2376
t vs resto	614,29	1	614,29	4,75	0,0385
Error	3362,05	26	129,31		
Total	7971,01	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
.t	vs resto	178,73	82,00	614,29	1	614,29	4,75	0,0385
Total			614,29	1	614,29	4,75	0,0385	

Índice de vigor de H*A

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=33,74112

Error: 129,3098 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.
H3A3	46,84	3	6,57 A
H4A3	33,26	3	6,57 A B
H1A3	30,95	3	6,57 A B
H2A2	29,82	3	6,57 A B
H4A1	24,91	3	6,57 A B
H4A2	23,86	3	6,57 A B
H2A3	23,59	3	6,57 A B
H3A2	20,45	3	6,57 A B
H1A2	19,25	3	6,57 A B
H3A1	11,60	3	6,57 B
H2A1	9,16	3	6,57 B
H1A1	8,69	3	6,57 B
Testigo	8,64	3	6,57 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A1

TESTIGO	7,7
H1A1	3,5
H1A1	16,8

H1A1	5,8
H2A1	10,0
H2A1	8,7
H2A1	8,7
H3A1	9,0
H3A1	18,5
H3A1	7,3
H4A1	34,3
H4A1	30,7
H4A1	9,8

A2

TESTIGO	0,0
H1A2	12,1
H1A2	34,4
H1A2	11,2
H2A2	31,4
H2A2	38,8
H2A2	18,0
H3A2	15,2
H3A2	25,9
H3A2	20,3
H4A2	22,3
H4A2	32,8
H4A2	16,5

A3

TESTIGO	0,0
H1A3	24,0
H1A3	37,7
H1A3	31,1
H2A3	28,6
H2A3	29,9
H2A3	12,3

H3A3	31,3
H3A3	79,9
H3A3	28,7
H4A3	30,9
H4A3	32,4
H4A3	34,8

Uniformidad de emergencia de Hidropriming, Almacenamiento y H*A

Unif_Emergencia

DCA - Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Unif Emergencia	39	0,41	0,13	31,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,47	12	0,54	1,49	0,1910
Tratamiento	6,47	12	0,54	1,49	0,1910
Hidropriming	3,35	3	1,12	3,03	0,0488
Almacenamiento	0,05	2	0,02	0,07	0,9358
Hidropriming*Almacenamiento	3,07	6	0,51	1,39	0,2589
t vs resto	8,2E-04	1	8,2E-04	2,3E-03	0,9624
Error	9,42	26	0,36		
Total	15,89	38			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
.t vs resto		0,21 4,34	8,2E-04	1	8,2E-04	2,3E-03	0,9624
Total			8,2E-04	1	8,2E-04	2,3E-03	0,9624

Tabla 29.
*Uniformidad de emergencia H*A*

Tratamiento	Medias	Rango
H3A3	1,29	A
H2A2	1,36	A
H4A1	1,43	A
H4A2	1,78	A
H3A1	1,8	A
H4A3	1,82	A
H3A2	1,83	A
H2A1	1,86	A
Testigo	1,89	A
H1A3	2,07	A
H2A3	2,43	A
H1A2	2,45	A
H1A1	2,7	A

Uniformidad de emergencia de H*A

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,78588

Error: 0,3623 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.
H3A3	1,29	3	0,35 A
H2A2	1,36	3	0,35 A
H4A1	1,43	3	0,35 A
H4A2	1,78	3	0,35 A
H3A1	1,80	3	0,35 A
H4A3	1,82	3	0,35 A
H3A2	1,83	3	0,35 A
H2A1	1,86	3	0,35 A
Testigo	1,89	3	0,35 A
H1A3	2,07	3	0,35 A
H2A3	2,43	3	0,35 A
H1A2	2,45	3	0,35 A
H1A1	2,70	3	0,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tratamiento	Hidropr	Almac	%_G	IVG	MGT	Long rad	Long plum	Indice vigor	Unif Emergencia
H1A1	H1	A1	32	9,933	4,063	8,162	2,787	3,504	3,8711
H1A1	H1	A1	56	16,255	4,179	22,867	7,052	16,755	2,9324
H1A1	H1	A1	40	6,921	6,100	12,029	2,495	5,810	1,2900
H1A2	H1	A2	43	14,248	3,698	21,227	7,020	12,146	2,8156
H1A2	H1	A2	71	27,160	3,070	35,010	13,426	34,390	2,0091
H1A2	H1	A2	51	17,788	3,412	17,045	4,932	11,208	2,5167
H1A3	H1	A3	55	17,281	3,636	33,970	9,742	24,041	2,2314
H1A3	H1	A3	65	22,424	3,354	46,150	11,896	37,730	2,1363
H1A3	H1	A3	67	21,250	3,597	34,421	11,979	31,088	1,8525
H2A1	H2	A1	45	13,231	4,133	17,133	5,073	9,993	2,5156
H2A1	H2	A1	52	12,548	4,808	13,291	3,525	8,744	2,5399
H2A1	H2	A1	52	8,314	6,346	14,244	2,544	8,730	0,5340
H2A2	H2	A2	64	25,300	2,891	38,702	12,233	32,598	1,0974
H2A2	H2	A2	76	29,910	3,026	39,003	12,097	38,836	1,6835
H2A2	H2	A2	57	21,093	3,121	25,224	6,375	18,012	1,3130
H2A3	H2	A3	62	19,612	3,677	36,255	9,891	28,610	2,1540
H2A3	H2	A3	63	15,910	4,460	34,533	12,960	29,920	2,0897
H2A3	H2	A3	44	13,555	4,091	20,610	7,239	12,254	3,0372
H3A1	H3	A1	47	11,748	4,383	14,921	4,190	8,982	1,8108
H3A1	H3	A1	59	16,495	4,034	23,872	7,519	18,521	1,8633
H3A1	H3	A1	35	8,429	4,543	17,077	3,743	7,287	1,7339
H3A2	H3	A2	47	14,031	4,000	23,755	8,517	15,168	2,3404
H3A2	H3	A2	58	16,969	3,862	33,599	11,047	25,895	1,5672
H3A2	H3	A2	49	16,343	3,449	31,314	10,075	20,280	1,5943
H3A3	H3	A3	69	22,467	3,435	33,016	13,218	31,902	1,2892
H3A3	H3	A3	80	28,679	3,088	70,902	29,023	79,940	1,2798
H3A3	H3	A3	55	15,669	3,818	35,826	16,288	28,663	1,3124
H4A1	H4	A1	76	24,902	3,368	36,685	8,420	34,280	0,9958
H4A1	H4	A1	67	22,464	3,373	30,206	15,609	30,696	1,6667
H4A1	H4	A1	41	9,929	4,488	20,236	3,572	9,761	1,6157

H4A2	H4	A2	47	14,614	3,809	37,684	9,802	22,319	2,2825
H4A2	H4	A2	61	23,236	2,951	40,470	13,303	32,802	1,0959
H4A2	H4	A2	47	15,069	3,660	27,922	7,097	16,459	1,9692
H4A3	H4	A3	68	22,295	3,662	33,989	16,288	34,189	2,1650
H4A3	H4	A3	61	19,719	3,590	37,920	11,518	30,157	1,7501
H4A3	H4	A3	65	19,629	3,677	39,330	15,192	35,439	1,5418
Testigo			47	10,862	4,660	10,100	1,920	5,649	1,4160
Testigo			63	18,229	3,905	22,340	5,180	17,338	1,7687
Testigo			34	7,245	5,382	6,520	2,080	2,924	2,4715

ANEXO 10.

Análisis de varianza factorial

FACTORIAL - Análisis de la varianza

% Germinación

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% Germinación	36	0,44	0,19	19,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		2161,64	11	196,51	1,73	0,1271
Hidropriming		170,31	3	56,77	0,50	0,6864
Almacenamiento		965,39	2	482,69	4,24	0,0264
Hidropriming*Almacenamient..		1025,94	6	170,99	1,50	0,2196
Error		2730,00	24	113,75		
Total		4891,64	35			

Tabla 30.*% de germinación de hidropriming*

Hidropriming	Medias	Rango
H4	59,22	A
H2	57,22	A
H3	55,44	A
H1	53,33	A

% de germinación de Hidropriming**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=13,86946***Error: 113,7500 gl: 24*

Hidropriming	Medias	n	E.E.
H4	59,22	9	3,56 A
H2	57,22	9	3,56 A
H3	55,44	9	3,56 A
H1	53,33	9	3,56 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***% de germinación de Almacenamiento****Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,87348***Error: 113,7500 gl: 24*

Almacenamiento	Medias	n	E.E.
A3	62,83	12	3,08 A
A2	55,92	12	3,08 A B
A1	50,17	12	3,08 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=31,39866***Error: 113,7500 gl: 24*

Hidropriming	Almacenamiento	Medias	n	E.E.
H3	A3	68,00	3	6,16 A
H2	A2	65,67	3	6,16 A
H4	A3	64,67	3	6,16 A
H1	A3	62,33	3	6,16 A
H4	A1	61,33	3	6,16 A
H2	A3	56,33	3	6,16 A
H1	A2	55,00	3	6,16 A

H4	A2	51,67	3	6,16	A
H3	A2	51,33	3	6,16	A
H2	A1	49,67	3	6,16	A
H3	A1	47,00	3	6,16	A
H1	A1	42,67	3	6,16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

IVG

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IVG	36	0,56	0,36	27,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		665,27	11	60,48	2,77	0,0178
Hidropriming		29,46	3	9,82	0,45	0,7196
Almacenamiento		320,83	2	160,42	7,35	0,0032
Hidropriming*Almacenamient..		314,98	6	52,50	2,41	0,0580
Error		523,78	24	21,82		
Total		1189,04	35			

Tabla 31.

IVG de hidropriming

Hidropriming	Medias	Rango
H4	19,1	A
H2	17,72	A
H1	17,03	A
H3	16,76	A

IVG de Hidropriming

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,07507

Error: 21,8240 gl: 24

Hidropriming	Medias	n	E.E.
H4	19,10	9	1,56 A
H2	17,72	9	1,56 A
H1	17,03	9	1,56 A
H3	16,76	9	1,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

IVG de Almacenamiento**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,76278***Error: 21,8240 gl: 24*

Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
A3	19,87	12	1,35	A
A2	19,65	12	1,35	A
A1	13,43	12	1,35	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=13,75317***Error: 21,8240 gl: 24*

Hidropriming	Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
H2	A2	25,43	3	2,70	A
H3	A3	22,27	3	2,70	A B
H4	A3	20,55	3	2,70	A B
H1	A3	20,32	3	2,70	A B
H1	A2	19,73	3	2,70	A B
H4	A1	19,10	3	2,70	A B
H4	A2	17,64	3	2,70	A B
H2	A3	16,36	3	2,70	A B
H3	A2	15,78	3	2,70	A B
H3	A1	12,22	3	2,70	A B
H2	A1	11,36	3	2,70	B
H1	A1	11,04	3	2,70	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)***MGT**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MGT	36	0,62	0,44	14,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		12,20	11	1,11	3,51	0,0049
Hidropriming		0,90	3	0,30	0,95	0,4324
Almacenamiento		7,50	2	3,75	11,86	0,0003
Hidropriming*Almacenamient..		3,79	6	0,63	2,00	0,1055
Error		7,59	24	0,32		
Total		19,79	35			

Tabla 32.
MGT de hidropriming

Hidropriming	Medias	
H4	3,62	A
H3	3,85	A
H1	3,9	A
H2	4,06	A

MGT de Hidropriming

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,73142

Error: 0,3163 gl: 24

Hidropriming	Medias	n	E.E.	
H4	3,62	9	0,19	A
H3	3,85	9	0,19	A
H1	3,90	9	0,19	A
H2	4,06	9	0,19	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

MGT de Almacenamiento

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57342

Error: 0,3163 gl: 24

Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
A2	3,41	12	0,16	A
A3	3,67	12	0,16	A
A1	4,48	12	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,65583

Error: 0,3163 gl: 24

Hidropriming	Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
H2	A2	3,01	3	0,32	A
H1	A2	3,39	3	0,32	A B
H3	A3	3,45	3	0,32	A B C
H4	A2	3,47	3	0,32	A B C
H1	A3	3,53	3	0,32	A B C
H4	A3	3,64	3	0,32	A B C
H4	A1	3,74	3	0,32	A B C

H3	A2	3,77	3	0,32	A	B	C
H2	A3	4,08	3	0,32	A	B	C
H3	A1	4,32	3	0,32	A	B	C
H1	A1	4,78	3	0,32		B	C
H2	A1	5,10	3	0,32			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Long_radicula

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long radicula	36	0,63	0,46	31,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		3210,04	11	291,82	3,70	0,0036
Hidropriming		418,59	3	139,53	1,77	0,1803
Almacenamiento		2172,81	2	1086,41	13,76	0,0001
Hidropriming*Almacenamient..		618,63	6	103,11	1,31	0,2924
Error		1894,80	24	78,95		
Total		5104,84	35			

Tabla 33.

Longitud radicular de hidropriming

Hidropriming	Medias	Rango
H4	33,83	A
H3	31,59	A
H2	26,56	A
H1	25,65	A

Longitud radicular de Hidropriming

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,55472

Error: 78,9498 gl: 24

Hidropriming	Medias	n	E.E.
H4	33,83	9	2,96
H3	31,59	9	2,96
H2	26,56	9	2,96
H1	25,65	9	2,96

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud radicular de Almacenamiento**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,05875***Error: 78,9498 gl: 24*

Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
A3	38,08	12	2,56	A
A2	30,91	12	2,56	A
A1	19,23	12	2,56	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=26,15839***Error: 78,9498 gl: 24*

Hidropriming	Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
H3	A3	46,58	3	5,13	A
H1	A3	38,18	3	5,13	A B
H4	A3	37,08	3	5,13	A B
H4	A2	35,36	3	5,13	A B
H2	A2	34,31	3	5,13	A B
H2	A3	30,47	3	5,13	A B
H3	A2	29,56	3	5,13	A B
H4	A1	29,04	3	5,13	A B
H1	A2	24,43	3	5,13	A B
H3	A1	18,62	3	5,13	B
H2	A1	14,89	3	5,13	B
H1	A1	14,35	3	5,13	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***Long_plumula**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Long_plumula	36	0,64	0,47	42,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		630,15	11	57,29	3,87	0,0027
Hidropriming		104,35	3	34,78	2,35	0,0974
Almacenamiento		405,94	2	202,97	13,73	0,0001

Hidropriming*Almacenamient..	119,86	6	19,98	1,35	0,2740
Error	354,86	24	14,79		
Total	985,01	35			

Tabla 34.
Longitud de la plúmula de hidropriming

Hidropriming	Medias	Rango
H3	11,51	A
H4	11,2	A
H2	7,99	A
H1	7,93	A

Longitud de la plúmula de Hidropriming

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,00042

Error: 14,7858 gl: 24

Hidropriming	Medias	n	E.E.
H3	11,51	9	1,28 A
H4	11,20	9	1,28 A
H2	7,99	9	1,28 A
H1	7,93	9	1,28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de la plúmula de Almacenamiento

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,92027

Error: 14,7858 gl: 24

Almacenamiento	Medias	n	E.E.
A3	13,77	12	1,11 A
A2	9,66	12	1,11 B
A1	5,54	12	1,11 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,32031

Error: 14,7858 gl: 24

Hidropriming	Almacenamiento	Medias	n	E.E.
H3	A3	19,51	3	2,22 A
H4	A3	14,33	3	2,22 A B
H1	A3	11,21	3	2,22 A B

H2	A2	10,24	3	2,22	A	B
H4	A2	10,07	3	2,22	A	B
H2	A3	10,03	3	2,22	A	B
H3	A2	9,88	3	2,22	A	B
H4	A1	9,20	3	2,22	A	B
H1	A2	8,46	3	2,22	A	B
H3	A1	5,15	3	2,22		B
H1	A1	4,11	3	2,22		B
H2	A1	3,71	3	2,22		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Indice_vigor

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Indice_vigor	36	0,55	0,35	51,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		3994,67	11	363,15	2,69	0,0208
Hidropriming		400,94	3	133,65	0,99	0,4149
Almacenamiento		2418,07	2	1209,03	8,94	0,0013
Hidropriming*Almacenamiento		1175,66	6	195,94	1,45	0,2376
Error		3244,78	24	135,20		
Total		7239,45	35			

Tabla 35.

Índice de vigor de hidropriming

Hidropriming	Medias	Rango
H4	27,34	A
H3	26,29	A
H2	20,86	A
H1	19,63	A

Índice de vigor de Hidropriming

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=15,12066

Error: 135,1992 gl: 24

Hidropriming Medias n E.E.

H4	27,34	9	3,88	A
H3	26,29	9	3,88	A
H2	20,86	9	3,88	A
H1	19,63	9	3,88	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Índice de vigor de Almacenamiento

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,85441

Error: 135,1992 gl: 24

Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
A3	33,66	12	3,36	A
A2	23,34	12	3,36	A B
A1	13,59	12	3,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=34,23123

Error: 135,1992 gl: 24

Hidropriming	Almacenamiento	Medias	n	E.E.	
H3	A3	46,84	3	6,71	A
H4	A3	33,26	3	6,71	A B
H1	A3	30,95	3	6,71	A B
H2	A2	29,82	3	6,71	A B
H4	A1	24,91	3	6,71	A B
H4	A2	23,86	3	6,71	A B
H2	A3	23,59	3	6,71	A B
H3	A2	20,45	3	6,71	A B
H1	A2	19,25	3	6,71	A B
H3	A1	11,60	3	6,71	B
H2	A1	9,16	3	6,71	B
H1	A1	8,69	3	6,71	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Unif_Emergencia

Análisis de la varianza uniformidad de emergencia

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Unif Emergencia	36	0,42	0,16	31,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,47	11	0,59	1,60	0,1628
Hidropriming	3,35	3	1,12	3,03	0,0488
Almacenamiento	0,05	2	0,02	0,07	0,9358
Hidropriming*Almacenamient..	3,07	6	0,51	1,39	0,2589
Error	8,84	24	0,37		
Total	15,31	35			

Tabla 36.**Uniformidad de emergencia de hidropriming**

Hidropriming	Medias	Rango
H3	1,64	A
H4	1,68	A
H2	1,88	A
H1	2,41	A

Uniformidad de emergencia de Hidropriming**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,78928***Error: 0,3684 gl: 24*

Hidropriming	Medias	n	E.E.
H3	1,64	9	0,20 A
H4	1,68	9	0,20 A
H2	1,88	9	0,20 A
H1	2,41	9	0,20 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***Uniformidad de emergencia de Almacenamiento****Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,61879***Error: 0,3684 gl: 24*

Almacenamiento	Medias	n	E.E.
A2	1,86	12	0,18 A
A3	1,90	12	0,18 A
A1	1,95	12	0,18 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,78684

Error: 0,3684 gl: 24

Hidropriming Almacenamiento		Medias	n	E.E.	
H3	A3	1,29	3	0,35	A
H2	A2	1,36	3	0,35	A
H4	A1	1,43	3	0,35	A
H4	A2	1,78	3	0,35	A
H3	A1	1,80	3	0,35	A
H4	A3	1,82	3	0,35	A
H3	A2	1,83	3	0,35	A
H2	A1	1,86	3	0,35	A
H1	A3	2,07	3	0,35	A
H2	A3	2,43	3	0,35	A
H1	A2	2,45	3	0,35	A
H1	A1	2,70	3	0,35	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 11.

PROTOCOLO OPERATIVO PRÁCTICO: HIDROPRIMING EN MAÍZ CRIOLLO VARIEDAD CHAZO

Dirigido a agricultores y técnicos de la Sierra ecuatoriana.

Este protocolo describe los pasos prácticos para ejecutar correctamente el acondicionamiento fisiológico de la semilla en las comunidades altoandinas, asegurando la uniformidad, velocidad y vigor en el establecimiento inicial del cultivo.

Paso 1: Selección y clasificación de la semilla

- **Acción:** Utilizar granos de maíz criollo variedad Chazo seleccionados minuciosamente de los soberados o sistemas tradicionales de almacenamiento postcosecha.
- **Criterio técnico:** Seleccionar semillas sanas, con un tamaño uniforme, libres de fisuras o roturas mecánicas provocadas durante el desgranado. Es fundamental descartar aquellos granos que muestren coloraciones rosadas, blanquecinas o texturas polvorientas, las cuales están asociadas a infecciones latentes de hongos fitopatógenos como *Fusarium*.

Paso 2: Desinfección preventiva y pre-lavado

- **Acción:** Para evitar que las condiciones de alta humedad durante el remojo disparen la proliferación de esporas fúngicas, el lote de semillas debe someterse a un proceso de desinfección superficial antes de iniciar la hidratación.
- **Para Técnicos:** Sumergir el lote de semillas en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante un lapso estricto de 3 a 5 minutos, o aplicar un fungicida comercial específico para el tratamiento de semillas de maíz.
- **Para Agricultores:** En caso de no disponer de insumos químicos, realice lavados enérgicos frotando la semilla bajo un chorro de agua limpia dentro de recipientes previamente desinfectados. Enjuagar tres veces consecutivas para eliminar impurezas superficiales.

Paso 3: Proceso de hidropriming (inmersión controlada)

- **Acción:** Colocar las semillas desinfectadas en un recipiente limpio con agua corriente a temperatura ambiente (idealmente entre 15 y 20 °C, representativa de los valles interandinos). Utilice una relación de volumen de 1:5 (por cada kilogramo de semilla de maíz, incorpore 5 litros de agua).
- **Tiempos recomendados según el objetivo técnico en campo:**
 - **Ruta de crecimiento máximo y vigor fisiológico (recomendada):** Mantener las semillas sumergidas en el agua durante **24 horas continuas**. Esta opción maximiza el desarrollo posterior de las raíces y la parte aérea.
 - **Ruta de emergencia súper rápida y precocidad:** Mantener las semillas en remojo durante **12 horas continuas**. Esta opción es ideal cuando se busca que la plántula brote del suelo en el menor número de días posible.
- **Manejo ambiental:** Durante el remojo, el recipiente debe permanecer bajo la sombra, protegido de la radiación solar directa y resguardado en interiores para evitar los descensos drásticos de temperatura durante la noche.

Paso 4: Deshidratación y secado superficial (*back-drying*)

- **Acción:** Cumplido rigurosamente el tiempo de remojo seleccionado (12 o 24 horas), retirar las semillas del agua y escurrir los excedentes de manera inmediata.
- **Procedimiento:** Extender los granos en capas muy delgadas (de un solo grano de grosor) sobre mantas limpias, lonas, esteras o papel absorbente. El secado debe realizarse a la sombra en un área con excelente circulación de aire.
- **Control crítico:** El proceso de secado debe mantenerse hasta que los granos recuperen visualmente su tamaño original y su peso inicial, alcanzando una humedad comercial segura (cercana al 12% o 13%). Bajo ninguna circunstancia se debe exponer la semilla directamente al sol o aplicar calor

artificial drástico (como sopladores térmicos), ya que esto desnaturalizaría las proteínas y enzimas protectoras que la semilla sintetizó durante el remojo.

Paso 5: Periodo de almacenamiento post-priming (estabilización y curado)

- **Acción:** Introducir las semillas completamente secas en sacos de papel permeables, costas de yute o envases limpios que permitan un intercambio mínimo de aire. Rotular claramente en el empaque la fecha en que se realizó el tratamiento.
- **Tiempos de reposo obligatorios:**
 - Si la semilla se remojó por **24 horas**, se debe guardar en un lugar fresco y seco durante **30 días** antes de ir a la siembra.
 - Si la semilla se remojó por **12 horas**, el periodo de descanso en bodega debe ser de **20 días**.
- **Importancia biológica:** Este tiempo de espera es indispensable. Durante este reposo en seco, las membranas celulares del maíz criollo terminan de reorganizarse y los niveles de hormonas inhibidoras (como el ácido abscísico) disminuyen, dejando al embrión metabólicamente "programado" y listo para actuar con máxima fuerza y uniformidad apenas entre en contacto con el suelo húmedo.

Paso 6: Siembra en campo y monitoreo

- **Acción:** Trasladar el material acondicionado al terreno y realizar la siembra siguiendo las prácticas culturales y de fertilización habituales de la zona.
- **Expectativa en campo:** A diferencia de una semilla común, el maíz tratado manifestará una emergencia sincrona y uniforme a partir del tercer o cuarto día de la siembra (dependiendo de la humedad del suelo), dando lugar a un lote homogéneo, con plántulas robustas y sistemas radiculares profundos capaces de tolerar mejor las irregularidades climáticas de la Sierra ecuatoriana.