PROTOCOLOS PARA LA GENERACIÓN DE

VARIEDADES, MANTENIMIENTO E INCREMENTO DE SEMILLA DE

TRIGO y CEBADA



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

El Perú Primero

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
DIRECCIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO AGRARIO



Protocolos para la generación de variedades, mantenimiento e incremento de semilla de trigo y cebada

Protocolos para la generación de variedades, mantenimiento e incremento de semilla de trigo y cebada

Ministro de Agricultura y Riego
Ing. Jorge Luis Montenegro Chavesta

Viceministro de Desarrollo e Infraestructura Agraria y Riego
Econ. Carlos Alberto Ynga La Plata

Viceministra de Políticas Agrarias
Econ. Paula Rosa Carrión Tello

Jefe del INIA
Jorge Luis Maicelo Quintana, Ph.D.

© Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA

Proyecto 216_PI
"Implementación de la base genética y procesos de desarrollo tecnológico orientada a la generación de variedades del programa de mejoramiento genético del cultivo de trigo del INIA"

Elaboración de contenido:
Rigoberto Estrada Zúñiga
Juan Luis Gutiérrez Galdós
Víctor Antonio Gonza Cusipuma

Equipo técnico:
Alexander Chávez Cabrera
Wladimir Jara Calvo
Hernán Altamirano Vásquez
Julián Arana Quispe

Editado por:
Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA
Equipo Técnico de Edición y Publicaciones
Av. La Molina 1981, Lima- Perú
(51 1) 240-2100 / 240-2350
www.inia.gob.pe

Editor general:
Eliana Alviárez Gutierrez, D.Sc.

Revisión de contenido:
Betty Flores Gonzales
Heillen Calderón Castillo
Gabriela Salazar Alvarez

Diseño y diagramación:
Abner Fernando Mio Torrejón
Luis Carlos Arévalo Mercado
Jeams Lopez Acaro

Publicado:
Julio, 2020

Primera edición:
Julio, 2020

Tiraje:
2 000 ejemplares

Impreso en:
Nombre de la imprenta:
Vayu Advertising & Communications S.A.C.
RUC: 20604037361
Teléfono: 964 389 548
Dirección: De los Ingenieros N° 110 - Dpto. 102 - Surco
Web: ventas@vayucomunicaciones.com

ISBN:
978-9972-44-056-4

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-04390

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso.

Tabla de contenido

Presentación 7

1. Introducción 9

2. Antecedentes 12

3. Marco teórico 14

3.1 Clasificación taxonómica y ploidía de trigo y cebada 14
3.2 Importancia de la semilla de las variedades mejoradas en el desarrollo agrícola 15
3.3 Mejoramiento genético de los cultivos y agricultura sostenible 16
3.4 Selección de protocolos de caracterización fenotípica 17
3.5 Mejoramiento del rendimiento y otros caracteres de interés 17
3.6 Ensayos multiambiente: herramientas para la evaluación de la adaptación de cultivos 17
3.7 Desarrollo de modelos conceptuales de genotipo 18
3.8 Diseños experimentales para la selección de cultivares 18
3.8.1 Terminología del diseño experimental 19
3.8.2 Control de la variabilidad local mediante bloques 20
3.8.3 Criterios para el uso de diseños experimentales 20
3.9 Principales diseños experimentales 21
3.9.1 Diseño completamente aleatorizado 21
3.9.2 Diseño de bloques completos aleatorizados 21
3.9.3 Cuadrado latino 21
3.9.4 Parcelas divididas 22
3.9.5 Diseños de bloques incompletos – látice (enrejado) 22

4. Metodología para el proceso de validación de los protocolos de mejoramiento, mantenimiento y multiplicación de semilla de trigo 24

4.1 Verificación de la metodología de trabajo implementado en laboratorio e invernaderos 24
4.2 Verificación de la metodología de trabajo implementado en campo 26
4.3 Taller de presentación de protocolos, análisis, trabajo grupal y plenarias 28

5. Proceso de planificación para el desarrollo de tecnologías en trigo y cebada 30

5.1 Identificación de las demandas tecnológicas 30

5.2 Priorización de líneas de investigación y demandas 30

5.3 Identificación de proyectos de investigación 31

5.4 Planificación anual de actividades y/o experimentos 31

5.5 Planes de mejoramiento genético 33

5.5.1 Viveros y ensayos internacionales 33

5.5.2 Identificación de progenitores y plan de cruzamientos 36

5.5.3 Ensayo Preliminar de Rendimiento (EPR) y reacción a enfermedades 37

5.5.4 Ensayo Regional Uniforme (ERU) de rendimiento y reacción a enfermedades 38

5.5.5 Comparativo de Rendimiento de Líneas Promisorias (CRLP) y fertilización en campo de agricultores 39

5.5.6 Parcelas de Comprobación o Ensayos de Adaptación y Eficiencia de Líneas Promisorias de trigo en campo de agricultores (CRLP - TH) 41

5.5.7 Multiplicación de semilla genética de líneas experimentales 42

5.6 Parámetros de evaluación por tipo de ensayo 44

5.7 Procedimientos para el mantenimiento y multiplicación de semilla genética de trigo y cebada 48

5.7.1 Aspectos generales 48

5.7.2 Mantenimiento de la semilla original de los cultivares 48

6. Referencias 52

ANEXOS 55



Presentación

Presentación

La producción de semilla en los cultivos de trigo y cebada se considera de gran interés en el país, pues ambos cultivos se encuentran presentes en la cédula del poblador andino, destinado en gran medida a la industria local y a la seguridad alimentaria. Existe un creciente interés por desarrollar nuevas variedades comerciales para ambos cultivos y muchas de estas iniciativas son demandadas por empresas privadas y profesionales, quienes requieren de herramientas o protocolos prácticos y amigables que permitan orientar su planificación y ejecución de actividades.

El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) a través del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), pone a disposición de los profesionales e investigadores del sector agrario el documento titulado **"Protocolos para la generación de variedades, mantenimiento e incremento de semilla de trigo y cebada"**; el mismo que ha sido revisado y sistematizado por expertos en mejoramiento genético y producción de semillas.

El documento técnico, ha sido generado producto de la ejecución del proyecto 216_PI "Implementación de la base genética y procesos de desarrollo tecnológico orientada a la generación de variedades del programa de mejoramiento genético del cultivo de trigo del INIA", financiado por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) en la Estación Experimental Agraria Andenes - Cusco.

Presenta un contenido en temas importantes para la investigación en cereales, además de mostrar el proceso de validación, planificación y ejecución de ensayos para el desarrollo de tecnologías en trigo y cebada, con detalles en los diseños experimentales, dimensiones de parcelas, características cualitativas y cuantitativas; y por último plantea las consideraciones necesarias para el mantenimiento y multiplicación de semilla genética de trigo y cebada.

Jorge Luis Maicelo Quintana, Ph.D.
Jefe del INIA

1

Introducción

1. Introducción

El incremento de la productividad de trigo a nivel mundial, se debió gracias a la adopción de las tecnologías de la Revolución Verde (Evenson y Gollin, 2003). Sin embargo, los desafíos para aumentar aún más el rendimiento con la finalidad de alimentar a una población mundial de nueve billones, a mediados del presente siglo son considerables. Los países menos desarrollados son particularmente vulnerables, en términos de seguridad alimentaria, principalmente por tres razones: en primer lugar, la mayoría de estos países son importadores netos de cereales (Dixon et al., 2007); en segundo lugar, muchos de sus programas nacionales de trigo carecen de la capacidad suficiente para satisfacer la creciente demanda y por último, la mayoría se encuentran en regiones climáticamente vulnerables (Lobell et al., 2008).

Mientras el mejoramiento de trigo a nivel internacional se ha enfocado en las últimas décadas en aumentar la resistencia a enfermedades y al estrés abiótico (Reynolds y Borlaug, 2006; Braun et al., 2010), los esfuerzos para aumentar el potencial genético del rendimiento *per se* han recibido poca atención.

Ante la necesidad de reposicionar la investigación agropecuaria y en particular el rol del Programa Nacional de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas - PNCGAyL perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA; se ha elaborado este documento denominado "**Protocolos para generación de variedades mejoradas, mantenimiento e incremento de semilla del cultivo de trigo y cebada**" orientado a analizar la situación actual de las directrices utilizadas en el mejoramiento del cultivo de trigo, buscando identificar y consensuar criterios de los investigadores para proponer el presente protocolo, con la intención de planificar, ejecutar y analizar los experimentos propuestos en la búsqueda del desarrollo de variedades comerciales de trigo y cebada, así también también favorecer su aplicación para la comunidad científica con el objetivo de generar desarrollo tecnológico de dichos cultivos.

Los protocolos descritos en el documento, recogen primeramente lo establecido en las normas nacionales y lineamientos institucionales del INIA, como elementos importantes que facilitan los procesos de gestión y sistematización de las tecnologías desarrolladas, los conocimientos actuales generados por centros de investigación y la experiencia de investigadores que han participado en el proceso de análisis y revisión de la propuesta presentada por el PNCGAyL del INIA.

Por otro lado, el presente documento, constituye una guía de trabajo que permite entender los procedimientos de mejoramiento actualmente utilizados, y padronizar los parámetros de evaluación en las diferentes fases de ejecución en diversos experimentos. En el área agrícola se busca impulsar el uso de metodologías de investigación participativa como un medio fundamental para facilitar los procesos de adopción de las tecnologías y el planteamiento de trabajos de investigación ejecutados por egresados de los centros de formación superior.

La presente publicación forma parte de los objetivos propuestos en la implementación del Proyecto 216_PI denominado "Implementación de la base genética y procesos de desarrollo tecnológico orientada a la generación de variedades del programa de mejoramiento genético

del cultivo de trigo del INIA" financiado por el Programa Nacional de Innovación Agraria –PNIA, con la finalidad de contribuir al conocimiento de la investigación científica y a la sostenibilidad del programa de mejoramiento genético del INIA en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Perú, para el desarrollo y oferta de nuevas variedades comerciales resistentes a Roya amarilla (*Puccinia striiformis f.* sp. tritici) de mayor rendimiento y de la calidad demandada por el mercado actual.



2

Antecedentes

2. Antecedentes



En base a la Ley General de Semillas, Ley N° 27262 modificada con Decreto Legislativo N° 1080, Artículo 8, señala que el estado promueve y apoya la investigación en semillas para el mejoramiento de variedades o cultivares de plantas existentes, la formación y manunteción de nuevas variedades; la generación de nuevas tecnologías y núcleos básicos de semilla, a través de las entidades especializadas del sector. Con respecto a la producción de semillas en su Artículo 10 señala, que esta actividad la realiza preferentemente el sector privado. El reglamento general de la presente ley, establece los casos en los cuales los organismos del sector público pueden participar en la producción de semillas (INIA, 2012).

La Guía de procedimiento para la generación y lanzamiento de variedades o cultivares del INIA, aprobada con Resolución Jefatural N° 138-2016-INIA, propone la estandarización de la ejecución de las acciones administrativas y técnicas, donde se señala al INIA como promotor de importancia del proceso de generación y lanzamiento de nuevas variedades, en otras palabras, asume el papel de eslabón que une a la institución con los agricultores y reconoce la relación directa entre el incremento de la productividad de un cultivo y las nuevas variedades disponibles en el mercado; también señala que el INIA genera tecnologías y nuevas variedades que requieren ser puestas al alcance de los productores de acuerdo a las normas legales vigentes nacionales e internacionales, vinculadas al acceso de los recursos genéticos como la decisión 345 de la Comunidad Andina de Naciones, Decreto Supremo N° 03-2009-PCM; Reglamento de acceso a los recursos genéticos, Decreto Supremo N° 035-2011-PCM; Reglamento de Protección a los Derechos de Obtentores de Variedades Vegetales, Convenio de Diversidad Biológica y Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al convenio sobre la Diversidad Biológica (INIA, 2016).

3

Marco teórico

3. Marco teórico

3.1 Clasificación taxonómica y ploidía de trigo y cebada

Se considera importante tener presente algunos aspectos genéticos de la diversidad de los géneros *Triticum* y *Hordeum*. Para ello Vadillo (2009), presenta la clasificación del género *Triticum* según su ploidía de la siguiente manera:

Diploides (2n = 14)

- *T. monococcum* (AA): espelta menor o escaña, primera forma de trigo originaria al parecer de Turquía. Es una especie cultivada.
- *T. speltoides* (BB): especie silvestre.
- *T. squarrosa* (DD): especie silvestre.
- *Secale cereale* (EE): centeno de gran importancia económica en amplias zonas del mundo (Extremo Oriente, Oriente Medio, Rusia y Europa, principalmente).

Tetraploides (2n = 28)

- *T. dicoccum* (AABB): escaña doble, especie cultivada cuyo origen se establece en Asia y su principal área es Oriente Medio y Rusia.
- *T. turgidum* (AABB): trigo de tallo sólido redondillo, cuyo origen parece ser de Oriente Próximo y su área de desarrollo es la cuenca del Mediterráneo y Abisinia.
- *T. durum* (AABB): trigo duro cristalino de color ámbar y rojo utilizado para la fabricación de «pastas alimenticias». Su origen se establece en Abisinia y Oriente Próximo y su área de desarrollo es en los países mediterráneos del Medio Oeste, sudeste de Europa, Sudáfrica, Norteamérica y Argentina.
- *T. polonicum* (AABB): trigo de Polonia, su área de desarrollo está en el norte de África.
- *T. timopheevii* (AAGG): trigo silvestre que en sus cruces con trigos normales produce androesterilidad citoplásmica.

Hexaploides (6n = 42)

- *T. spelta* (AABBDD): espelta mayor o escanda. Su origen se establece en Oriente Medio e incluso en Europa, su área de desarrollo se encuentra en Alemania y Turquía.
- *T. compactum* (AABBDD): trigos compactos, buenos y harinosos; tiene su origen en el Suroeste de Asia y su área de desarrollo está en USA.
- *T. aestivum* (AABBDD): trigo «harino-panadero» destinado prácticamente en su totalidad al consumo humano. Su origen se cree en Oriente Medio y sus áreas de máximo desarrollo son Europa, Asia, África y América.

En el caso de la cebada, Lacasa (2012), señala que el género *Hordeum*, al que pertenece la cebada cultivada (*Hodeum vulgare* ssp. *Vulgare*) junto con diversas cebadas silvestres como *Hordeum vulgare* ssp. y *spontaneum* Koch, se pueden clasificar según diferentes criterios. La clasificación más utilizada se basa en la morfología de la espiga y en su hábito de crecimiento.

Según su morfología podemos diferenciar dos tipos de cebadas: en caso de las espigas de dos hileras, únicamente son fértiles las espiguillas centrales. En las espigas de seis hileras son fértiles las tres espiguillas, aunque las laterales suelen ser de menor tamaño.

En cuanto al hábito de crecimiento nos encontramos con "variedades de invierno", que requieren vernalización (un periodo de crecimiento en temperaturas bajas, necesario para que el desarrollo posterior no sufra retrasos). Además, suelen experimentar una aceleración del desarrollo en los días largos y tienen resistencia a daños por heladas. Los genotipos de primavera no suelen tener requerimiento de vernalización, ni respuesta al día largo y suelen ser susceptibles a las heladas.

La estructura genética de la cebada presenta en su ploidía 2 = 14 cromosomas; actualmente el genoma de la cebada está bien caracterizado tanto clásica como citogenética y molecularmente.

En el análisis citogenético que señala Lacasa (2012), hace referencia a un comparativo de los distintos mapas génicos, dentro de las especies de la tribu Triticeae donde pone en manifiesto que los cromosomas 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7 de cebada muestran correspondencia con los cromosomas de los grupos de homología de trigo 7, 2, 3, 4, 1, 6 y 5 denominados por tanto 7H, 2H, 3H, 4H, 1H, 6H y 5H, respectivamente. Actualmente, la metodología descrita por Lacasa es la nomenclatura más aceptada.

Poehlman (1969), menciona que la cebada suele autopolinizarse, el pistilo tiene un estigma con dos ramificaciones plumosas donde los filamentos largos y finos forman tres anteras. En los tipos de espiga de seis carreras cada espiguilla lleva una flor, en cambio, en los tipos de dos carreras solamente desarrollan una flor en la espiguilla central, mientras que las espiguillas laterales son estériles o vestigiales. Las glumas tienen aproximadamente la mitad del tamaño de la lemma en la mayor parte de las variedades y terminan en una delgada barba.

3.2 Importancia de la semilla de las variedades mejoradas en el desarrollo agrícola

En una agricultura eficiente la semilla es una parte esencial en todo proceso de desarrollo y crecimiento, especialmente, si se toma en cuenta que en los países en vías de desarrollo más del 50 % de la población vive de la agricultura. Para lograr dicha eficiencia se necesita que los insumos sean de fácil aplicación y estén al alcance de los agricultores en el precio, cantidad y oportunidad, acorde a la realidad de la región.

Sevilla y Rolle (2004), mencionan que la semilla de tipo ortodoxo tiene varias características distintivas en comparación a otros insumos agrícolas, algunas de estas características se describen a continuación:

- Es un insumo muy económico, generalmente es el que menos simboliza en el costo de cultivo. Por ejemplo, en el caso del maíz, la semilla de los híbridos representa sólo el 10 % de los gastos de cultivo.
- Es de fácil producción, no requiere de grandes inversiones, ni de la utilización de costosa tecnología. El proceso de producción, no está sujeto a la dependencia tecnológica.

- Es de fácil transporte y distribución, esto generalmente debido a que la semilla botánica es pequeña, sólida, no se desintegra o aglutina y aunque es perecible, puede permanecer en buen estado durante un tiempo considerable en condiciones normales de almacenamiento.
- Es de fácil aplicación y no requiere de capacitación específica para el agricultor; tampoco requiere de medidas, recipientes, equipos especiales o instrucciones para una aplicación eficiente.
- En algunas clases de semillas se puede evitar la transmisión de enfermedades.

3.3 Mejoramiento genético de los cultivos y agricultura sostenible

Camarena et al. (2015), señalan que la investigación agrícola busca además de la producción de alimentos, la correcta administración de la agricultura que permita satisfacer las necesidades cambiantes de la humanidad, al mismo tiempo que conserva los recursos naturales y evita la degradación del medio ambiente.

El mejoramiento genético vegetal, puede contribuir a la mejora del grado de sostenibilidad de los sistemas agropecuarios de producción mediante el desarrollo de genotipos adaptados a nuevos requerimientos ambientales y nuevas demandas del mercado de consumo. Para lograr verdaderos avances en cuanto a la investigación genética, se requiere un cambio en los objetivos y su priorización, así como en las técnicas utilizadas en la búsqueda, selección y aplicación de la variabilidad genética. El hombre a través de los años ha logrado dirigir un proceso que combina la evolución biológica y el mejoramiento genético de plantas, con la intención de minimizar la brecha entre sus caracteres y las necesidades a las que las especies vegetales deben satisfacer.

Un equipo internacional con participación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas -CSIC, logró secuenciar el genoma del cultivo con mayor difusión en el mundo, el trigo harinero. El trabajo, publicado en la revista Science, permitirá la producción de nuevas variedades de trigo con mayor rendimiento, mejor calidad nutricional, más sostenibles y mejor adaptadas a los nuevos retos climáticos. La publicación de la secuencia completa del genoma del trigo repercute en el potencial para la innovación en reproducción asistida por genómica (El Mundo, 2018).

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo describe, que un grupo de investigadores encontró regiones genómicas “clave” para incrementar el contenido de zinc en el trigo, gracias a la aplicación del análisis de asociación del genoma completo para poder estudiar por primera vez la genética que subyace en las concentraciones de zinc en el grano de trigo. Al analizar las concentraciones de zinc en el grano de 330 líneas de trigo harinero en diversos ambientes en India y México, descubrieron 39 marcadores moleculares nuevos asociados con el rasgo, así como dos segmentos del genoma del trigo que transportan genes importantes para la absorción, translocación y almacenamiento de zinc (CIMMYT, 2018).

Los científicos indican que estos hallazgos podrían llevar al desarrollo de variedades de trigo con mayor contenido de zinc, micronutriente vital para las personas, pero que suele encontrarse ausente en la dieta de personas de bajo recursos, quienes tienden a llevar una dieta basada en alimentos derivados de trigo (CIMMYT, 2018).

3.4 Selección de protocolos de caracterización fenotípica

Reynolds et al. (2011), explican que existen tres factores cuya interacción determina la selección del protocolo de caracterización fenotípica a emplear: el ambiente objetivo (rasgos de adaptación específicos), la escala de operación y el grado de precisión con el cual se requiere para estimar los caracteres. No todos los factores se darán en todas las oportunidades, puesto que dependen del enfoque de investigación que se trabaje; en algunas ocasiones al presentarse un abundante número de genotipos, la evaluación podría presentar fallas en precisión (exactitud, o alelos múltiplos), o en el escalamiento de las pruebas.

3.5 Mejoramiento del rendimiento y otros caracteres de interés

Reynolds et al. (2011), señalan que el mejoramiento del potencial genético de los cultivos depende de la introducción de los caracteres adaptativos correctos dentro de las bases agronómicas ampliamente adaptadas y de alto rendimiento; el fitomejoramiento en mega-ambientes establece el contexto global para tales esfuerzos. Los programas nacionales como internacionales, reconocen que el fitomejoramiento es más eficiente si se enfoca en zonas de interés específicas, definidas típicamente por la disponibilidad de agua, temperatura ambiental, latitud, sistemas agrícolas y factores de estrés bióticos.

Para la aplicación de la fisiología de cultivos en el fitomejoramiento en casos de estrés por calor y sequía, Reynolds et al. (2011) se enfocan en características selectas de interés general que ayudan a los cultivos a adaptarse a dos de los factores abióticos más importantes del mundo, y proporciona casos de estudio de aplicaciones exitosas de los enfoques fisiológicos.

Las oportunidades para mejorar genéticamente el rendimiento potencial del trigo tiene implicaciones en ambos de los temas precedentes, donde el potencial de rendimiento genético está asociado con el incremento de la eficiencia de uso de nutrientes y la adaptación al estrés abiótico. La mejora del potencial de rendimiento también es muy importante, teniendo en cuenta que el 70 % del trigo producido en el mundo es cultivado en ambientes relativamente favorables. Teniendo como finalidad lograr el progreso genético continuo en cualquier ambiente, se necesita realizar una búsqueda de recursos genéticos para una variación útil de los caracteres fisiológicos (Reynolds et al., 2011).

3.6 Ensayos multiambiente: herramientas para la evaluación de la adaptación de cultivos

Braun et al. (2009), acerca de los ensayos multiambientes señalan que los cultivares modernos de trigo muestran a menudo una amplia adaptación a distintas condiciones geográficas, medioambientales y de manejo. Las megavariedades han existido desde los inicios del fitomejoramiento de trigo entre ellas Kharkov y Kubanka, ocuparon un tercio del área cultivada de trigo en EE. UU. después de su introducción a inicios de los años 1900. El cultivar considerado “punta de lanza” de la revolución verde, fue Siete Cerros (también llamada Mexipak y Kalyansona) fue sembrado en millones de hectáreas, desde el Norte de África hasta el Sur de Asia. Asimismo, selecciones de la cruza Veery, generada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1986) fueron liberadas en más de 40 países y el trigo de invierno ruso llamado Bezostaya dominó Europa del Este y el Oeste de Asia.

Esta amplitud en la adaptación ha sido lograda de diferentes maneras por diversos programas de mejoramiento, pero la herramienta más importante para este logro ha sido la extensiva experimentación y evaluación en campo de líneas de mejoramiento en muchos ambientes durante el proceso de selección. Por otro lado, se señala también que el sistema internacional de viveros multiambientes es considerado como el mejor mecanismo para identificar y liberar espacialmente cultivares de trigo ampliamente adaptados (Rajaram y Ceccarelli, 1998). El programa de mejoramiento de trigo de CIMMYT pone énfasis en el desarrollo de cultivares de trigo con rendimientos estables sobre una amplia gama de ambientes. Tales cultivares, identificados mediante pruebas realizadas por los sistemas nacionales de investigación agrícola (NARS, acrónimo de National Agricultural Research Systems), forman las bases genéticas para mejorar aún más la tolerancia al estrés por calor y sequía. La resolución de esta adaptación espacial puede ser expresada entre países y continentes geográficamente distintos, demostrando estabilidad a través de una región, o dentro de una perspectiva más local como la heterogeneidad que existe dentro del terreno del agricultor, esta estabilidad en el desempeño puede también expresarse temporalmente, entre años (Manske et al., 2000).

3.7 Desarrollo de modelos conceptuales de genotipo

Reynolds et al. (2011), define la palabra “modelo” como “Una descripción esquemática de un sistema que representa sus propiedades conocidas o deducidas y que puede ser utilizada para el estudio adicional de sus características”. Existen diversos enfoques para el desarrollo de modelos conceptuales de genotipos para cultivos que dictaminan que características han de ser incluidas, en la selección se debe evaluar cómo será utilizado el modelo y la información disponible sobre el medio ambiente de los cultivos. Los ejemplos de modelos incluyen los siguientes:

- **El modelo general**: abarca un amplio conjunto de características, cuyo valor dependerá en gran medida del entorno en el cual se despliegan.
- **El modelo genérico**: incluye un conjunto básico de rasgos que son teóricamente útiles en un rango de ambientes como en un intervalo de ambientes bajo estrés por calor o sequía.
- **Modelo de medio ambiente específico**: incluye todas las características de adaptación en un medioambiente de destino específico (debe tener en cuenta las respuestas del cultivo al clima, suelo y factores bióticos y agronómicos).
- **Los modelos de simulación**: en teoría pueden aplicarse a cualquiera de los tipos anteriores de modelos para interpolar el valor de las características a través de una gama de entornos o años, efectivo para extrapolar hipotéticamente el valor de la expresión de la característica extrema y darle un valor teórico a las combinaciones de características nuevas.

3.8 Diseños experimentales para la selección de cultivares

Crossa (2011), puntualiza al diseño experimental como el estudio de las estrategias buscando lograr planes eficientes de recolección de datos, que dan lugar a estimaciones correctas de los parámetros relevantes de acuerdo al objetivo del investigador. Un experimento diseñado adecuadamente, para un objetivo de investigación especifico, es la base del éxito de todo experimento.

3.8.1 Terminología del diseño experimental

- **Experimento:** es una investigación planificada para obtener nuevos conocimientos o para confirmar o negar resultados anteriores, también se define al experimento como la acción de aplicar uno o más tratamientos a un conjunto de unidades experimentales para valorar sus respuestas.
- **Una población:** es un conjunto de elementos acotados en un tiempo y espacio determinado, con alguna característica común observable o medible.
- **Tamaño poblacional**: si la población es finita, diremos que el tamaño poblacional es el número de elementos de la misma y lo denotaremos con N.
- **Muestra**: generalmente es imposible o muy dificultoso examinar alguna característica en una población entera, por lo que se examina una parte de ella y en base a la información relevada en esa porción se hacen inferencias sobre toda la población.
- **Tamaño muestral:** es el número de elementos de la población que conforman la muestra y se denota con n.
- **Variable:** es una característica, propiedad o atributo, con respecto a la cual los elementos de una población difieren de alguna forma.
- **Unidad experimental:** es la unidad más pequeña donde se aplica el tratamiento y a la cual se le puede asignar un tratamiento diferente, independientemente de las otras unidades experimentales si la distribución aleatoria cuenta con repetición. Este es el aspecto menos comprendido y por ende más incorrectamente aplicado del diseño experimental.
- **Factor:** es un procedimiento o una condición cuyo efecto va a ser medido.
- **Nivel de un factor:** es una manifestación específica del factor a incluirse en el experimento.
- **Error experimental:** es una medida de la variación que existe entre las unidades experimentales tratadas de manera similar.
- **Grado del factor:** se dice de ser replicado, si es que se presenta en más de una unidad experimental del experimento.
- **Distribución aleatoria:** es la aplicación de los grados del factor a las unidades experimentales, se aplica si cada unidad experimental tiene la misma e independiente oportunidad de recibir cualquier grado del factor y si cada unidad experimental es manejada de forma independiente.
- **Repetición:** mientras la asignación al azar asegura que los grupos de tratamiento sean lo más parecidos posibles, los resultados de un experimento único, aplicado a una pequeña cantidad de objetos o sujetos, no se debe aceptar sin cuestionar. Para mejorar la significación (trascendencia) de un resultado experimental, se hace necesaria la repetición, es decir, la repetición de un experimento en un grupo grande de tratamientos reduce la variabilidad en los resultados experimentales, aumentando su trascendencia y su nivel de confianza, con la cual un investigador puede sacar conclusiones acerca de un factor experimental.

3.8.2 Control de la variabilidad local mediante bloques

En el diseño de experimentos, Di Rienzo et al. (2009), señalan que el diseño de bloques viene a ser la disposición de unidades experimentales en grupos (bloques) que son similares entre sí. Por ejemplo, si un experimento se ha diseñado para evaluar 36 nuevas líneas de trigo, el terreno donde las variedades van a ser evaluadas puede que no sea uniforme, presentando dos gradientes de fertilidad (baja y alta). El nivel de fertilidad puede introducir un nivel de variabilidad en el experimento, por lo tanto, el empleo de bloques es necesario para eliminar el efecto de baja y alta fertilidad. Esto reduce las fuentes de variabilidad y conduce a una mayor exactitud. En el diseño aleatorio de bloques, es de primordial interés contar con un factor o variable. Sin embargo, existen otros factores de perturbación por lo que los bloques se utilizan para reducir o eliminar la contribución de los factores de perturbación al error experimental. El concepto básico es la creación de bloques homogéneos en los cuales los factores de perturbación se mantengan constantes, mientras que al factor de interés se le permita la variación. Dentro de los bloques, es posible evaluar el efecto de los diferentes niveles del factor de interés, sin tener que preocuparse por las variaciones debidas a los cambios en los factores de bloques, los cuales están incluidos en el análisis.

3.8.3 Criterios para el uso de diseños experimentales

La persona que realiza el experimento debe seguir una serie de pasos antes que el experimento se inicie. Estos pasos no pretenden ser como un “libro de cocina”, sino más bien como un recordatorio para el investigador de algunos aspectos del experimento que deben ser considerados con anticipación.

El investigador debe:

- Tener claro cuáles son los hechos o resultados que trata de definir. Estos objetivos deben ser establecidos en términos de parámetros de población, los cuales pueden estimarse a través de las variables de respuesta.
- Entender claramente cuáles son los factores del tratamiento que estarán involucrados y qué nivel de los mismos serán utilizados. También debe entender que hay una relación directa entre la calidad del experimento y la cantidad de niveles: a menos niveles, mejor experimento.
- Entender claramente cuáles unidades experimentales recibirán los diferentes niveles de los distintos factores de tratamiento.
- Definir con precisión a la población de inferencia y debe asegurarse de que las unidades experimentales empleadas conformen una buena representación de la población.
- Decidir cuántas unidades experimentales serán asignadas a cada nivel del factor.
- Examinar la situación del experimento respecto a cualquier fuente potencial de variación de datos, diferente a las identificadas como factores de tratamiento o error experimental. Si estas fuentes de variación de hecho existen, las unidades experimentales pueden agruparse en bloques (o en pares de ellos, si solo se consideran dos niveles de tratamiento), de modo que la fuente de variación se produce entre dos bloques en lugar que entre varios bloques (es decir, los efectos de los bloques no se deben confundir con los efectos del tratamiento).
- Planificar con antelación hasta lograr entender cómo deben ser analizados los datos una vez recolectados. ¿Cuáles son los parámetros a estimar?, ¿Cómo serán evaluados?, ¿Qué hipótesis serán estudiadas?, ¿Qué procedimientos se utilizarán para estudiar estas hipótesis? Una buena práctica es escribir un “esqueleto del análisis”, es decir, una visión general de los cálculos necesarios y cómo deben ser interpretados. La importancia de este paso no debe ser subestimada. Uno de los errores más comunes en la investigación es llevar a cabo un experimento que no puede ser analizado.

3.9 Principales diseños experimentales

Di Rienzo et al. (2009), señala que el total de *n* Unidades Experimentales (UE) deben ser tan homogéneas como sea posible, lo que significa que ninguna fuente de variación debe evidenciarse entre ellas bajo cualquier agrupamiento o disposición. No hay ninguna base para la agrupación de UE, ya sea en diseños o más complejos; esto no excluye la existencia de variación entre UE, sino que simplemente no se dispone de información relevante. En la experimentación agrícola es común encontrar el uso de los diseños clásicos: completamente aleatorizado, bloques completos aleatorizados, cuadrado latino, parcelas divididas y bloques incompletos.

3.9.1 Diseño completamente aleatorizado

Este diseño es utilizado cuando no se pueden anticipar respuestas diferenciales en las parcelas experimentales teóricamente homogéneas, por lo que se asignan los tratamientos completamente al azar. El modelo para este diseño y el análisis de la varianza corresponden al análisis de un experimento unifactorial sin estructura de parcelas.

3.9.2 Diseño de bloques completos aleatorizados

Cuando las diferencias de respuestas de las unidades experimentales pueden ser anticipadas, se realiza el agrupamiento de las unidades similares en bloques y se asigna aleatoriamente los tratamientos dentro de esos bloques, pues bajo este método cada bloque representa una repetición completa de todos los tratamientos aleatorizados. Un caso particular de diseño en bloques es el que aparece relacionado con la prueba t de Student para muestras apareadas, aunque el número de tratamientos es solo dos.

3.9.3 Cuadrado latino

Aunque no es tan popular como el modelo anterior, se le considera como una extensión directa del concepto de bloques completos aleatorizado, con la diferencia de la incorporación al diseño del reconocimiento de dos fuentes sistemáticas de variación entre parcelas. Este diseño impone un número fijo de repeticiones, por lo que no se recomienda usarlo cuando se disponga de un gran número de tratamientos, debido a que el experimento completo puede

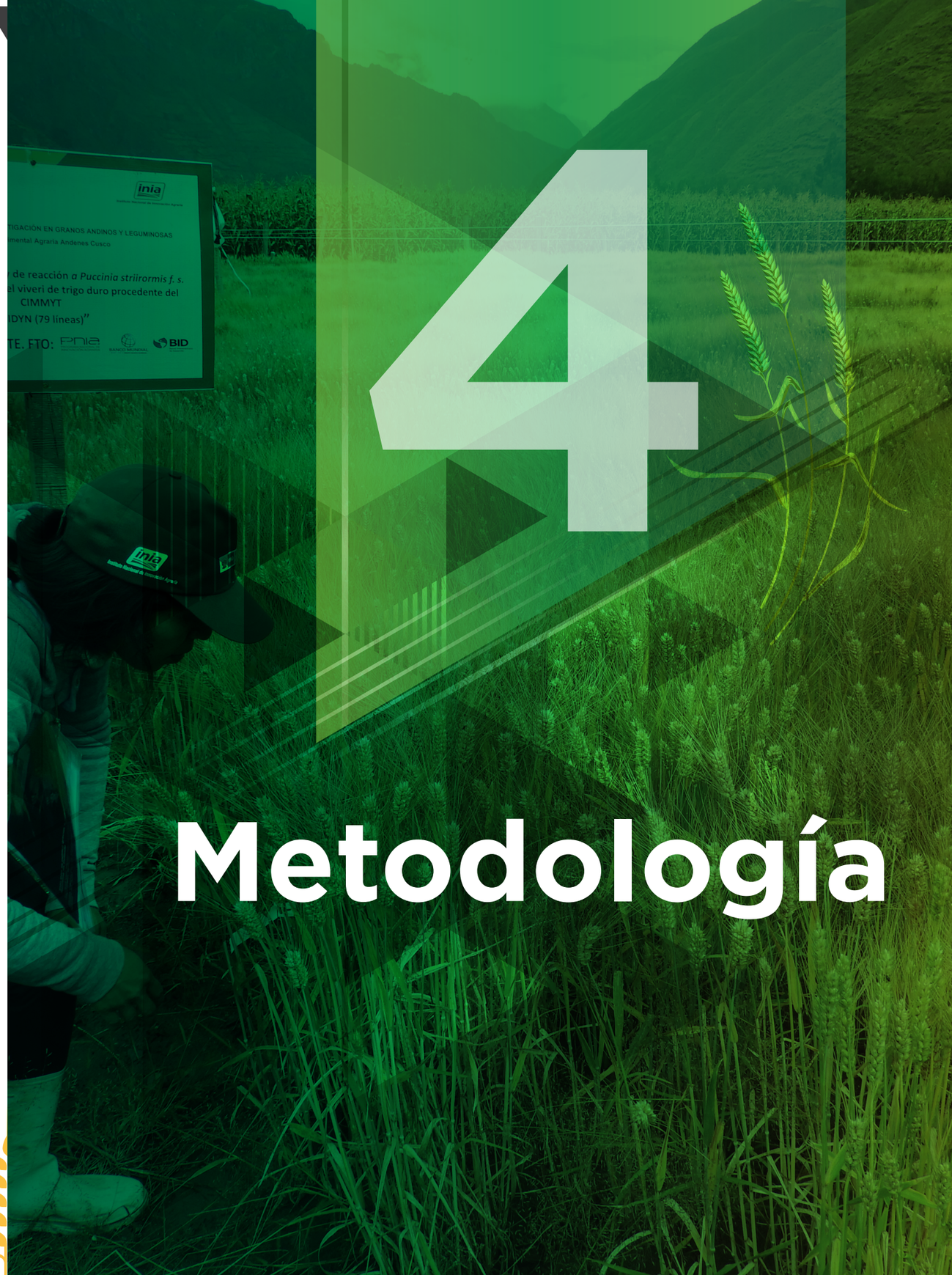
resultar inmanejable. El diseño en cuadrado latino clásico de la experimentación agrícola, en el que ensayan *a* tratamientos, se obtiene ordenando α2 parcelas experimentales en un cuadrado de α2 parcelas y asignando *a* parcelas a cada uno de los tratamientos de tal manera que en cada fila y en cada columna haya sólo una repetición de cada tratamiento. En otras palabras, el número total de parcelas experimentales es igual al cuadrado del número de tratamientos.

3.9.4 Parcelas divididas

Este diseño está asociado a los experimentos factoriales, la característica más sobresaliente de este diseño es la presencia de dos errores experimentales diferentes, uno que representa la variabilidad entre parcelas principales tratadas de la misma forma (error de las parcelas principales) y otro que representa la variabilidad entre subparcelas tratadas de la misma forma (error de las subparcelas). El cuadrado medio asociado al error experimental de las parcelas principales se utiliza como denominador del estadístico F en los contrastes de hipótesis de los factores asociados a las parcelas principales, así como también en las pruebas de comparaciones múltiples entre las medias de los tratamientos aplicados a las parcelas principales. El cuadrado medio del error de subparcela, se utiliza en el contraste de hipótesis de los factores asociados a las subparcelas y de las interacciones de éstos con el o los factores asociados a las parcelas principales, así como para las correspondientes comparaciones múltiples. Por ejemplo, si los tratamientos están conformados por dos factores, el diseño en parcelas divididas tiene la particularidad de asociar los niveles de un factor a parcelas o unidades experimentales grandes (parcelas principales) y los niveles del otro factor a subparcelas obtenidas por división de las parcelas principales. Las parcelas principales pueden no mostrar estructura y el factor principal asignarse al azar a un número r de parcelas principales (diseño de parcelas divididas completamente aleatorizado) o bien las parcelas principales pueden estructurarse en bloques (diseño de parcelas divididas en bloques).

3.9.5 Diseños de bloques incompletos – látice (enrejado)

Adaptado de Cochran y Cox, (1957), este diseño está dispuesto en bloques más pequeños que una replicación completa, de esta manera, se busca eliminar la mayor parte de la heterogeneidad. Esta reducción de tamaño de bloque se logra sacrificando toda o gran parte de la información de algunas comparaciones de tratamientos. Estos diseños pueden ser “equilibrados o parcialmente equilibrados”.



4. Metodología para el proceso de validación de los protocolos de mejoramiento, mantenimiento y multiplicación de semilla de trigo

Se programó el desarrollo de talleres de análisis y revisión de los protocolos disponibles en el programa de mejoramiento de trigo y cebada del INIA del PNCGAyL, buscando la generación, mantenimiento, multiplicación y la producción de nuevas variedades de semilla de trigo y cebada, con participación de expertos nacionales en mejoramiento genético. Los talleres se realizaron utilizando metodologías de participación activa donde los expertos explicaron la eficiencia de los protocolos que se utilizan, asimismo se realizó un análisis en grupos de trabajo y la pertinencia para lograr de manera eficiente el desarrollo de nuevas variedades, así como la labor de mantenimiento y multiplicación con técnicas apropiadas para el cultivo.

Durante el taller de presentación del protocolo, se desarrollaron visitas a parcelas experimentales de trigo conducidos con el proyecto en campo (Figura 1), invernaderos, laboratorios, y la exposición de los protocolos disponibles en el PNCGAyL, teniendo como fin enriquecer con las experiencias de los investigadores, además se desarrollaron las siguientes actividades:



Figura 1. Viveros y ensayos internacionales de trigo harinero conducidos con el proyecto 216_PI en Andenes 2018 - 2019.

4.1 Verificación de la metodología de trabajo implementado en laboratorio e invernaderos

Durante la visita a los laboratorios acondicionados a través de los proyectos conducidos por el PNCGAyL para pruebas patológicas, se dio a conocer a los participantes la metodología utilizada en los trabajos que se vienen desarrollando respecto al manejo del material colectado (Figura 2).



Figura 2. Participación de expertos nacionales y locales en la evaluación de los ensayos de trigo en ambientes controlados en Andenes Proyecto 216_PI.

A continuación se detallan los procedimientos estandarizados para la extracción, multiplicación y conservación del inóculo de *Puccinia striiformis*, que ocasiona la roya amarilla en el trigo:

- Se realizaron colectas de los campos de agricultores para su uso como fuentes de inóculos.
- Para inocular las 100 líneas procedentes del CIMMYT con cada una de las razas seleccionadas, se almacenaron las esporas de *Puccinia striiformis* a 1 °C.
- Una vez inoculadas las plantas de trigo, fueron colocadas en la cámara climática por 24 horas a 4 °C.
- Se verificó el proceso de evaluación de las inoculaciones.
- Después de mantener por 24 horas en la cámara climática, las líneas de trigo en evaluación, fueron trasladadas al invernadero.
- Se realizó durante 12 - 15 días, la evaluación de infección, multiplicación y cosecha de esporas de *Puccinia striiformis*.

El proceso descrito se repitió por varios ciclos, hasta conseguir infectar con 4 razas de patógeno a las 100 líneas de trigo propuestas en el estudio.

En los invernaderos gradualmente se desarrollan las inoculaciones a las líneas de trigo seleccionadas, para observar la reacción que muestren frente a las cuatro razas patógenas. Como es un proceso gradual, es necesario, instalar macetas con tres repeticiones para realizar las observaciones, toma de datos y posteriormente análisis de resultados.

4.2 Verificación de la metodología de trabajo implementado en campo

Los trabajos en el cultivo de trigo a nivel de campo se evaluaron en la EEA Andenes – Zurite, donde se explicó a través de la revisión de protocolos de mejoramiento de trigo (Figura 3), los procedimientos que se desarrollan en la conducción de los ensayos experimentales principalmente de los viveros y ensayos internacionales de trigo procedentes del CIMMYT.

Durante el recorrido se observaron los diseños experimentales, la distribución de los surcos de infección en los trabajos de reacción a roya amarilla, distribución de las unidades experimentales del material genético procedente del CIMMYT, su identificación y los parámetros de evaluación que se consideran en los protocolos (Figura 4).

A través de una plenaria en campo observando los diseños experimentales y conducción de los trabajos en los registros de campo, se realizó un análisis de los protocolos que se vienen utilizando, con el fin de que sirva de insumo para su evaluación en los talleres grupales (Figura 5).



Figura 3. Evaluación del campo experimental de trigo por los participantes de la revisión de los protocolos de mejoramiento de trigo en Andenes.



Figura 4. Debate de expertos sobre los diseños experimentales y distribución de los tratamientos de los ensayos de trigo en Andenes 2018-2019.



Figura 5. Debate de expertos sobre la distribución de tratamientos y uso de testigos locales en los ensayos de trigo en Andenes 2018-2019.

4.3 Taller de presentación de protocolos, análisis, trabajo grupal y plenarias

Se realizó la presentación de los antecedentes y escenarios actuales, a nivel mundial y nacional en cuanto a la producción e investigación en el cultivo de trigo, donde se realizó un repaso de los indicadores productivos, de consumo e importaciones de trigo en el Perú, luego se presentó el flujograma de desarrollo de tecnologías del Programa Nacional de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas. El plan de mejoramiento genético de cereales dio a conocer cada una de las acciones que se ejecutan en los procesos de planificación y la implementación del plan de mejoramiento genético que se utiliza en el INIA para el desarrollo de nuevas variedades de trigo.

Se realizó la explicación de las actuales metodologías que se utilizan en el INIA para la planificación y conducción de los diferentes tipos de ensayos experimentales en el cultivo de trigo, detallando los diseños experimentales, el tamaño de parcela, manejo agronómico, los parámetros que se consideran como parte de su evaluación, así como los formatos de registro de la información de campo por cada tipo de ensayo.

También se expusieron los procedimientos para el mantenimiento y multiplicación de semilla genética de trigo harinero en base al instructivo para la producción de semillas en el INIA aprobado por Resolución Jefatural N° 124.2005- INIA (2016) vigente hasta la fecha.

En base a esta información, tratando de lograr la participación de los asistentes y recoger toda la información que contribuya a la sistematización del protocolo de mejoramiento y producción de semilla genética de trigo harinero, se desarrollaron los trabajos de análisis en grupos integrados por los investigadores, cuyos resultados fueron presentados en plenaria para su análisis, debate y generación de consensos de las modificaciones, o ampliación de la información que será incorporada en la publicación.

Luego de haber sistematizado la información del taller, nuevamente fue necesario convocar a los expertos a una verificación del documento y al ajuste respectivo de la información que se considera en el presente protocolo, buscando que se convierta en una herramienta versátil y amigable para su uso en las instituciones de formación de futuros profesionales, técnicos agropecuarios y de investigadores dedicados a la generación de variedades en los cultivos de trigo y cebada.

5

Proceso de planificación

5. Proceso de planificación para el desarrollo de tecnologías en trigo y cebada

5.1 Identificación de las demandas tecnológicas

La identificación de las demandas tecnológicas en estos cultivos, se deberá desarrollar a través de encuestas, talleres de trabajo y grupos focales con los actores de la cadena de valor en los principales ámbitos de producción de trigo y cebada, consolidando esta etapa con información secundaria de datos estadísticos de superficies y volúmenes de producción en el mercado local, nacional e internacional; actividad agroindustrial y otros datos de interés para la planificación de los trabajos de investigación en el país.

Es importante que la identificación de las demandas tecnológicas sea una actividad continua, principalmente porque permitirá recoger información actualizada de las exigencias que presenta el mercado y a partir de ello la planificación del desarrollo de tecnologías a las cuales deben tener acceso los productores en respuesta a estas demandas.

5.2 Priorización de líneas de investigación y demandas

Se considera a una línea de investigación como un eje temático, disciplinario o interdisciplinario, cuando tiene como fin generar conocimiento científico en un campo específico de ciencia y tecnología, donde se organiza, planifica y construye con una cierta programación, sistematización y prospectiva, los métodos y herramientas a utilizar con la finalidad de lograr los objetivos planteados (CONCYTEC, 2019).

Tomando en consideración las demandas tecnológicas, se deberá disponer la priorización de líneas de investigación a mediano y largo plazo para el desarrollo de tecnologías con la participación de los actores de la cadena de valor, orientado a la seguridad alimentaria y la generación de ingresos de las unidades agropecuarias dedicadas a la producción del trigo y la cebada, que tengan mayor impacto a nivel regional o nacional.

Las líneas de investigación que actualmente se vienen trabajando para el desarrollo de tecnologías están encaminadas a generar variedades mejoradas, actualizar los paquetes tecnológicos, ajustar el uso de maquinaria para pequeños productores y mejorar las condiciones de cosecha y poscosecha, en búsqueda de los estándares de calidad que exige la industria. Sin embargo, es importante desarrollar un mayor análisis para la identificación de las líneas de investigación y tener en cuenta los siguientes aspectos recomendados por CONCYTEC, (2019):

- Correspondencia con las capacidades operativas de la institución (recursos humanos, instalaciones, equipamiento, financiamiento, entre otros).
- Vinculación con programas de estudio de las instituciones de investigación.
- Los beneficios y las necesidades sociales y productivas a corto, mediano y largo plazo a nivel regional, nacional o internacional.
- Redes de investigación de cooperación nacional o internacional disponibles para la institución de investigación.

5.3 Identificación de proyectos de investigación

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema. El propósito de la identificación de los proyectos de investigación es definir claramente las acciones que se deben desarrollar para aportar a la solución del problema objeto de investigación, determinar los objetivos del mismo y plantear las posibles alternativas para alcanzar dichos objetivos. El proyecto de investigación debe presentar de manera metódica y organizada, un conjunto de datos e informaciones en torno al problema identificado y formular una hipótesis encaminada a su resolución (Hernández et al., 2014).

Los proyectos de investigación definidos en este proceso de priorización deben contribuir con alternativas viables de oferta tecnológica en los ámbitos de acción a nivel nacional, en base a la disponibilidad de recursos financieros y las propuestas de financiamiento de la Cooperación Técnica Nacional e Internacional (CTNI).

A la vez, deberán recoger las principales demandas y en lo posible congregar la participación interinstitucional e interdisciplinaria de los diversos actores de la cadena de valor.

5.4 Planificación anual de actividades y/o experimentos

Una vez definidos los proyectos de investigación, es necesario para su ejecución contar con un plan anual de actividades, como un instrumento de gestión de corto plazo que viabilice la ejecución del proyecto de investigación, de esta manera se facilitará la programación y cronogramas de las actividades planificadas que el investigador debe realizar con el fin de alcanzar los objetivos propuestos en proyecto en el plazo de un año (Figura 6).

El plan anual de las actividades y/o experimentos, permitirá llevar un control estricto del material genético que se utiliza en cada tipo de experimento, así como las condiciones de su conducción, registros de campo y costos de los trabajos de investigación programados, permitiendo un correcto seguimiento y monitoreo del proyecto para el cumplimiento de los objetivos y metas programadas.

Flujograma para el desarrollo de tecnología en los cultivos de trigo y cebada

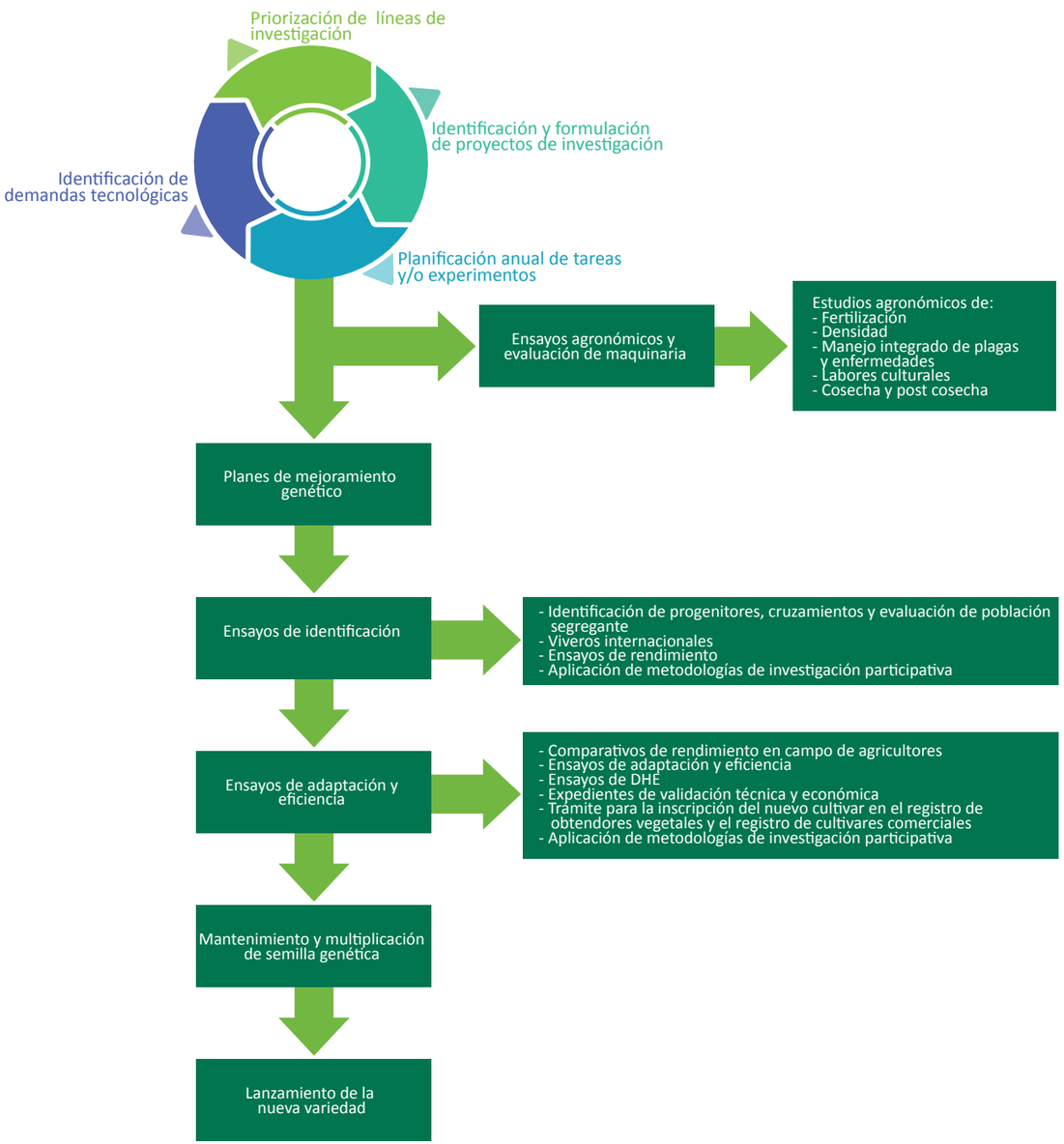


Figura 6. Flujograma de desarrollo de tecnologías modificado con los aportes del primer taller.

5.5 Planes de mejoramiento genético

Tomando en consideración tanto al fitomejoramiento convencional como al moderno como estrategias excluyentes, podemos afirmar que el mejoramiento moderno no es otra cosa que el refinamiento del mejoramiento clásico incorporando la biotecnología (Tiessen, 2012). En un mundo competitivo en donde la rapidez, eficiencia y la economía son aspectos fundamentales en la investigación, es necesario incorporar todas las herramientas desarrolladas en los últimos años que puedan facilitar el trabajo y llevar a la obtención de mejores resultados.

Para la generación de un plan de mejoramiento genético (Figura 7), los proyectos de investigación deberán determinar con claridad los objetivos, canalizando los esfuerzos hacia la generación de nuevas variedades; teniendo como primer paso la selección de genotipos por su reacción de resistencia a las principales enfermedades identificadas, incremento de productividad, calidad de grano para los procesos industriales y la adaptación a los actuales escenarios de cambio climático; con estos objetivos en base a la secuencia de los procedimientos para la selección de genotipos, se deberá de tomar en consideración las siguientes actividades y tareas:

5.5.1 Viveros y ensayos internacionales

En esta etapa, se realiza la importación de poblaciones segregantes y líneas avanzadas a través de los viveros y ensayos internacionales que anualmente el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, pone a disposición de los centros de investigación, el INIA al encontrarse registrado como centro de importación de semillas de trigo del CIMMYT y contando con el predio cuarentenario abierto en Taray y cerrado en Andenes, pudo realizar las evaluaciones convenientes del material facilitado. En el Perú también se tiene como centros de importación experimental de semillas de trigo a la Universidad Agraria La Molina y la Universidad del Centro del Perú.

Actualmente el CIMMYT oferta los siguientes viveros y ensayos internacionales:

a. Principales viveros internacionales

- Vivero Internacional de Selección de Trigos Harineros (IBWSN).
- Vivero Internacional de Selección de Trigos Duros (IDSN).
- Vivero Internacional de Selección de Triticale (ITSN).
- Vivero Internacional de Observación de Septoria (ISEPTON).
- Vivero de Selección para la Resistencia a Roya lineal.
- Vivero de Selección para la Resistencia a *Helminthosporium*.
- Vivero de Selección para la Tolerancia al Aluminio.
- Vivero de Selección para la Tolerancia a la Sequía.
- Vivero de Selección para la Tolerancia al Calor.
- Vivero de Evaluación de Enfermedades del Banco de Germoplasma.

Plan de mejoramiento genético en cereales (trigo y cebada)

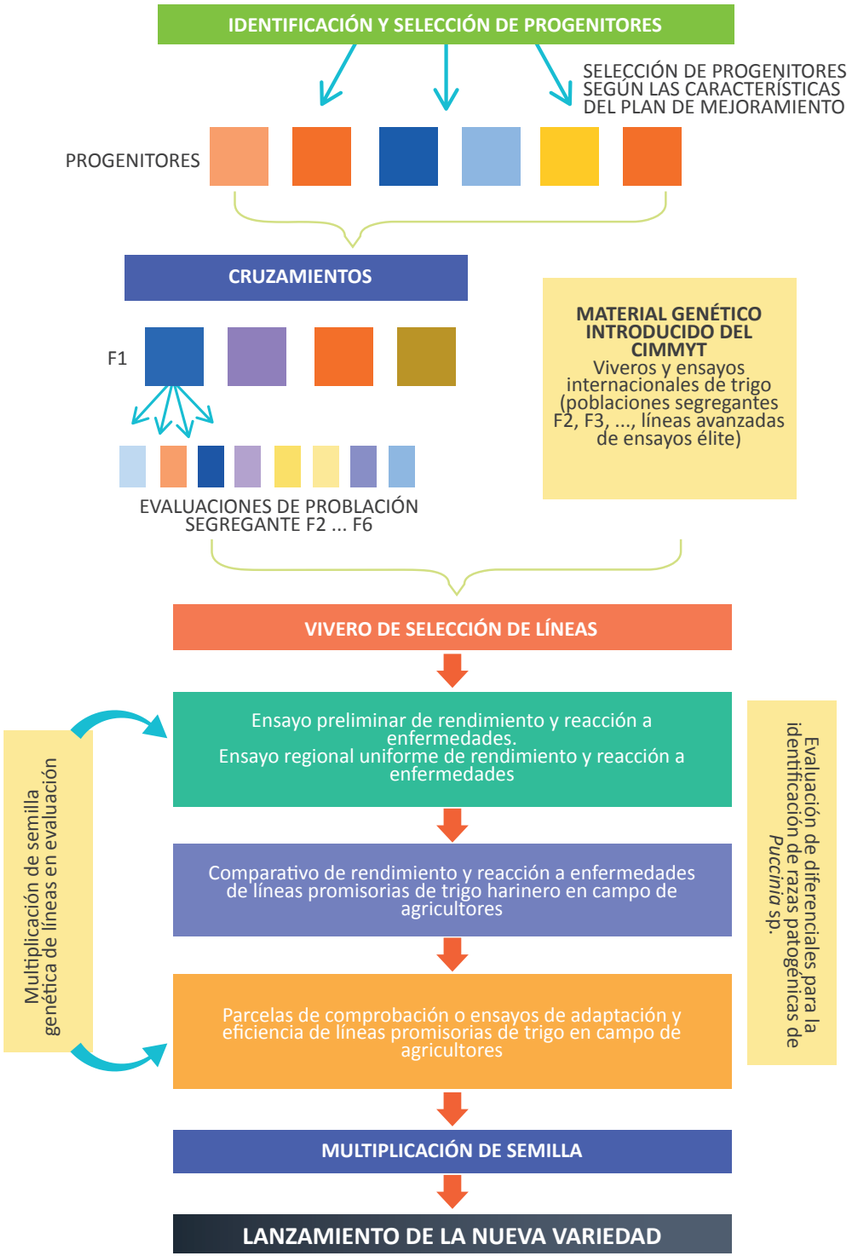


Figura 7. Plan de mejoramiento genético modificado con aportes del primer taller de revisión de protocolos.

b. Principales ensayos internacionales de rendimiento

- Ensayo Internacional de Rendimiento de Trigo Harinero de Primavera (ISWYN).
- Ensayo de Rendimiento de Selección Elite de Trigo Harinero (ESWYT).
- Ensayo Internacional de Rendimiento de Trigos Duros (IDYN).
- Ensayo Elite de Rendimiento de Trigos Duros (EDYT).
- Ensayo Internacional de Rendimiento de Triticale (ITYN).
- Ensayos con Trigos Biofortificados.

También es necesario evaluar la diversidad de los patotipos de las principales enfermedades entre ellas la roya amarilla a través de plantas diferenciales identificadas en el CIMMYT, generándose la necesidad de plantear proyectos de investigación para la identificación de razas de *Puccinia striiformis* presentes en el país, buscando fuentes de resistencia entre el material procedente del CIMMYT y los cruzamientos desarrollados en el país, por tales motivos el CIMMYT provee de los viveros Internacionales Trampa para identificación de Enfermedades (IDTN) cuyo propósito es:

i. Detectar el desarrollo de enfermedades.

ii. Evaluar la virulencia de los patógenos presentes donde se siembra el vivero.

iii. Ayudar a identificar los genes (o combinaciones de genes) de resistencia más efectivos en cada localidad.

iv. Clasificar de la virulencia de la población patógena.

v. Identificar poblaciones patogénicas presentes en el ámbito de evaluación.

Las fuentes de resistencia halladas pueden o no ser efectivas en todas las localidades, pero aun así proporcionan un buen punto de partida en la búsqueda de germoplasma resistente y/o genes de resistencia efectivos.

En esta etapa de evaluación, se debe de considerar las pruebas del material genético frente a las principales enfermedades en ambientes controlados para acelerar los procesos de selección del material genético en los ensayos de rendimiento.

La siembra de los viveros internacionales se desarrolla de manera secuencial sin repeticiones en dos surcos por tratamiento (0.30 x 4.00 m), al ser genotipos en observación, se debe considerar la instalación de una variedad testigo cada 10 tratamientos (a los extremos de cada surco y bordes de bloque) y la instalación de surcos de infección constituido por variedades susceptibles a las principales enfermedades garantiza la presencia de inóculo en el perímetro o contorno del experimento (Figura 8).

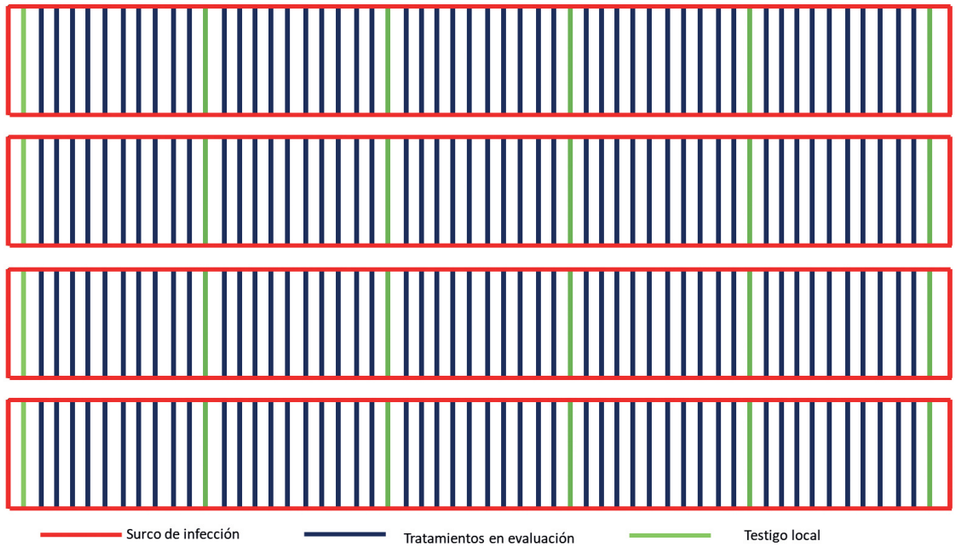


Figura 8. Distribución de los tratamientos, testigos locales y surcos de infección en los viveros internacionales.

5.5.2 Identificación de progenitores y plan de cruzamientos

En el Perú contamos con variedades comerciales de trigo de muy buena calidad y rendimiento, en especial para la industria panadera, pero que a lo largo de los años por la presencia de nuevos patotipos de *Puccinia striiformis* vienen siendo susceptibles a este patógeno; por este motivo, es importante poder identificar entre estas variedades, progenitores que puedan ser utilizadas para cruzamientos con líneas seleccionadas por su resistencia a roya amarilla, y generar una base genética para la selección de nuevas variedades.

Para el plan de mejoramiento por cruzamientos se desarrolla la selección de progenitores en base a la caracterización de variedades locales disponibles en el país y el material genético procedente del CIMMYT, orientado a buscar alternativas a problemas tales como:

- Resistencia a principales enfermedades (Roya amarilla, *Fusarium*, otros).
- Calidad panadera.
- Productividad.
- Adaptación.
- Precocidad.

A partir de los cruzamientos desarrollados (Figura 9), se inicia con la evaluación de la población segregante (F1. . . F6), selección de líneas, registro del pedigree y genealogía de selección para ser incorporados en los ensayos de rendimiento y sanidad.

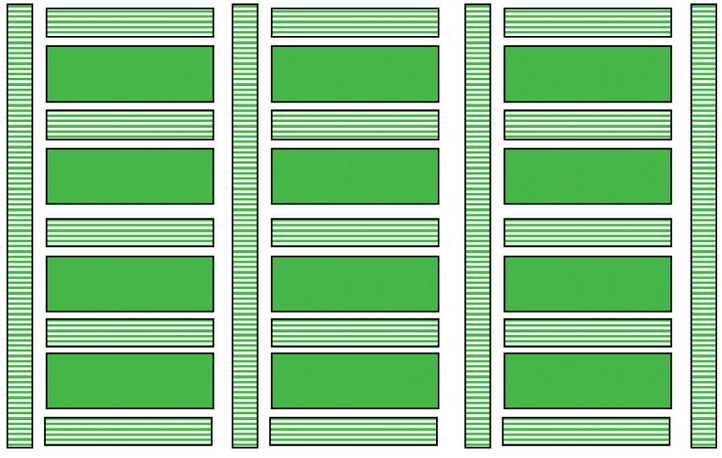


Figura 9. Hibridaciones desarrolladas con progenitores seleccionados.

5.5.3 Ensayo Preliminar de Rendimiento (EPR) y reacción a enfermedades

Este tipo de ensayos se conduce, utilizando el material genético seleccionado de los viveros de observación y ensayos internacionales con poblaciones estables, previamente seleccionados de las pruebas de reacción a enfermedades en ambientes controlados y los resultados de campo de los viveros de observación.

Por el número de líneas que se utiliza en este tipo de ensayos (60 a 100 genotipos), el planteamiento del diseño experimental para conducir el EPR recomendado es el diseño de bloques completamente al azar o el diseño de látice simple con tres repeticiones, según la disponibilidad de terreno. Siendo la principal fuente de variación los genotipos en estudio en comparación con dos testigos constituidos por variedades comerciales; las dimensiones más apropiadas en la evaluación del EPR por el número de tratamientos que se evalúan es de cuatro surcos de 0.30 m de distanciamiento por 4.00 m de longitud, a los bordes de surco y bloque se les debe considerar la instalación de genotipos susceptibles a enfermedades para evaluar la reacción de los tratamientos (Figura 10).



LEYENDA

Surco de infección con genotipos susceptibles a la enfermedad

Bloques con tratamientos en evaluación

Figura 10. Distribución de tratamientos, por bloques y surcos de infección en ensayos de rendimiento y sanidad.

5.5.4 Ensayo Regional Uniforme (ERU) de rendimiento y reacción a enfermedades

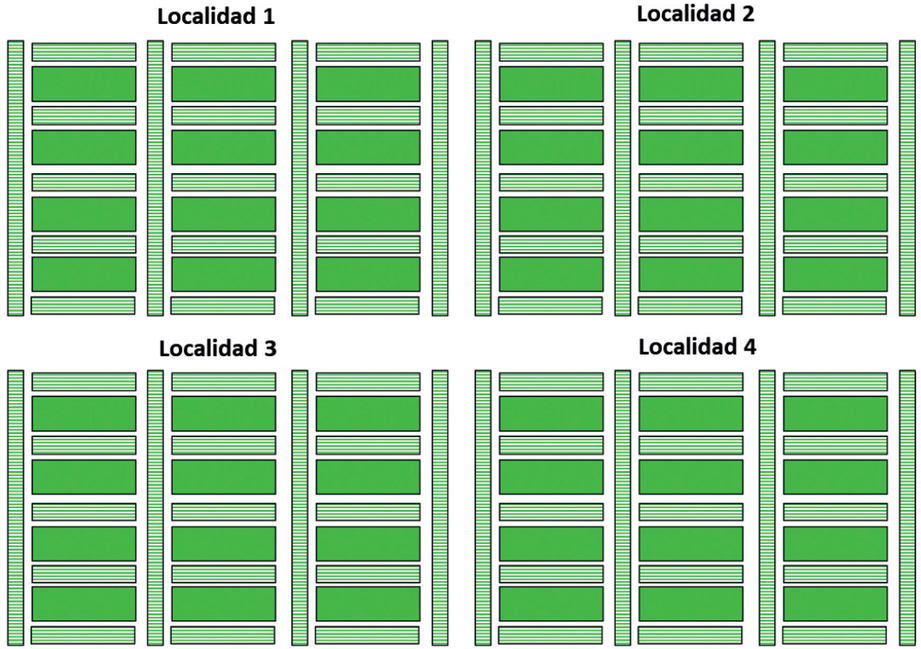
El ERU es utilizado en la evaluación del material genético seleccionado del EPR, se distribuye a nivel nacional en ensayos en red y su evaluación debe desarrollarse en una campaña agrícola. Estos ensayos tienen cuatro objetivos principales:

- Dar a los investigadores la oportunidad de evaluar en red nacional líneas avanzadas en una amplia variedad de condiciones de producción.
- Proveer la información necesaria sobre adaptación y análisis de estabilidad genética con el intercambio de información de resultados entre los investigadores del programa.
- Evaluar las características cualitativas y cuantitativas en base a los descriptores.
- Proporcionar fuentes de variabilidad genética para la selección de variedades.

Generalmente, son conducidos utilizando el material genético seleccionado de los EPR con repeticiones en los ámbitos de producción de trigo a nivel nacional, a fin de promover la selección de genotipos de trigo adaptados a las condiciones ambientales particulares. Actualmente, el INIA a través de la Red de Estaciones Experimentales Agrarias -EEA en el País conduce los ERU con genotipos procedentes del EPR, desarrollados en la EEA Andenes Cusco.

El número de tratamientos o genotipos que se utiliza para la instalación del ERU, según las experiencias de manejo desarrollados por el INIA, es de 36 genotipos que incluye a dos variedades comerciales como testigos de

comparación, preferentemente de producción local por ser pruebas en red nacional. El diseño experimental que se utiliza es el de bloques completamente al azar o látice simple, con tres repeticiones pudiendo incrementarse hasta cuatro repeticiones, según la topografía del terreno; siendo la principal fuente de variación del diseño experimental los genotipos en estudio. Las dimensiones más apropiadas para la evaluación del ERU por el número de tratamientos que se evalúan deben ser de cuatro surcos de 0.30 m de distanciamiento por 4.00 m de longitud, al igual que en los casos descritos anteriormente, los bordes de surco y bloque, deben considerar la instalación de genotipos susceptibles a enfermedades para evaluar la reacción de los tratamientos (Figura 11).



LEYENDA

Surco de infección con genotipos susceptibles a la enfermedad

Bloques con tratamientos en evaluación

Figura 11. Distribución de los tratamientos, bloques y surcos de infección de los ensayos de rendimiento y sanidad en red nacional.

5.5.5 Comparativo de Rendimiento de Líneas Promisorias (CRLP) y fertilización en campo de agricultores

El CRLP de trigo harinero, es una fase del proceso de selección de los genotipos avanzados en el desarrollo de las nuevas variedades que deben ser conducidos en campo de agricultores, promoviendo la investigación participativa de los actores de la cadena de valor durante las evaluaciones de comportamiento fenotípico y de reacción a enfermedades bajo condiciones locales, a partir de la

selección de genotipos procedentes de los ERU en base a su respuesta sanitaria, productiva, y de calidad comercial, superior a las variedades comerciales de difusión local.

Con el fin de desarrollar los análisis de estabilidad genética y determinar el rango de adaptación, se recomienda planificar la conducción de estos ensayos mínimamente en tres zonas representativas de producción de trigo, para evaluar 10 líneas promisorias con dos testigos constituidos por una variedad mejorada y una variedad local (ambos testigos de mayor difusión en la zona en estudio).

En el planteamiento del ensayo según las experiencias de evaluación del INIA, se propone considerar dos fuentes de variación que son las líneas promisorias de trigo y la aplicación de un nivel de fertilización identificado para el cultivo; por consiguiente, se recomienda el uso del diseño experimental de bloques completamente randomizados con parcelas subdivididas (con y sin abonamiento) en tres repeticiones por localidad (Figura 12).

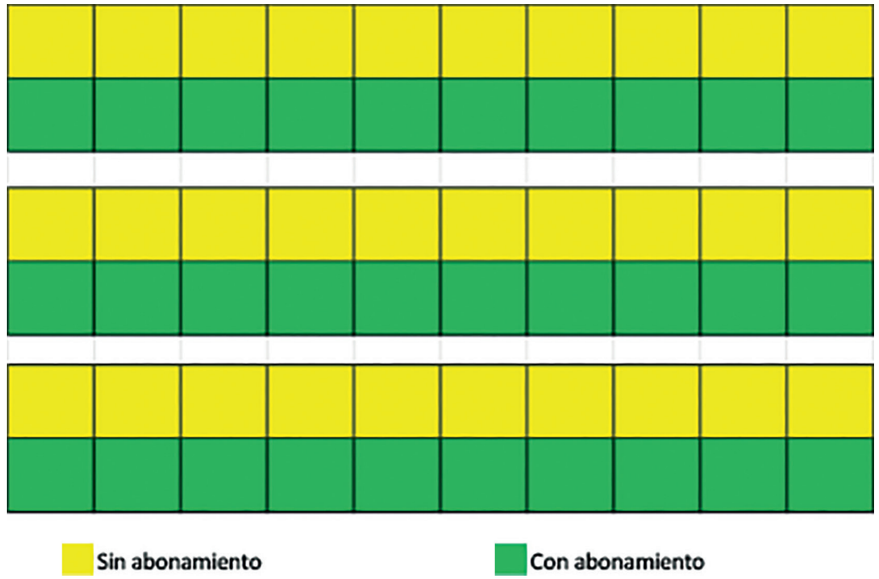


Figura 12. Distribución de parcelas y subparcelas para ensayos en campo de agricultores.

Considerando que este ensayo se debe conducir en campo de agricultores, la unidad experimental mínima que debe considerarse es de 16 a 20 m^2 por subparcela y el sistema de siembra bajo la tecnología local predominante en la zona en estudio, que puede ser en surcos o al voleo, garantizando estrictamente que las dos fuentes de variación sean líneas en estudio y abonamiento, sea orgánico o inorgánico.

Para estos ensayos es recomendable contar con los análisis de suelos de las localidades en estudio a fin de no cometer sesgos en el nivel de fertilización que se aplique a los tratamientos.

5.5.6 Parcelas de Comprobación o Ensayos de Adaptación y Eficiencia de Líneas Promisorias de trigo en campo de agricultores (CRLP - TH)

El Reglamento General de la Ley de Semillas aprobado con (Decreto Supremo N° 006-2012-AG) señala, "Los Ensayos de Identificación y de Adaptación y Eficiencia serán ejecutados y evaluados por Investigadores y/o Centros de Investigación en Semillas o en su defecto por la Autoridad en Innovación Agraria o quién haga sus veces, quienes emitirán el informe técnico correspondiente" (INIA, 2012).

Dentro del proceso de mejoramiento genético para el desarrollo de nuevas variedades de trigo, los Ensayos de Adaptación y Eficiencia corresponden al desarrollo de las actividades a través de metodologías participativas que involucran a los diferentes actores de la cadena de valor, en esta fase se ratifica el proceso de selección del material genético promisorio y el análisis de estabilidad genética ejecutados a través de los comparativos de rendimiento y permite dar una recomendación del rango de adaptación a partir del análisis de la información técnica y económica de la alternativa seleccionada para su lanzamiento (Figura 13).



Figura 13. Participación de los agricultores en las evaluaciones de los Ensayos de Adaptación y Eficiencia.

Además, considerando el interés institucional en lograr el certificado de obtentor de las tecnologías generadas por los Centros de Investigación, en esta fase se debe incorporar la caracterización de los estudios de Distinción, Homogeneidad y Estabilidad (DHE) de la tecnología propuesta utilizando las directrices y la tabla de caracteres de los descriptores varietales en el cultivo de trigo: TG 3/12 - trigo harinero y TG/120/4 - trigo duro, de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2017).

Paralelamente, es necesario completar la información solicitada por INDECOPI en los formatos establecidos para tal fin, dicha información se basa principalmente en las directrices antes indicadas, con la cual se procede a solicitar el trámite de autorización del lanzamiento de la tecnología según directivas institucionales (INDECOPI, 2019).

En las Parcelas de Comprobación o Ensayos de Adaptación y Eficiencia se consideran los materiales seleccionados del Comparativo de Rendimiento de Líneas Promisorias de Trigo (CRLP) ejecutados en campo de agricultores. Por lo general, en esta etapa se utilizan dos o tres líneas seleccionadas en comparación con una variedad mejorada y una variedad local.

De acuerdo a la Ley General de Semillas y el Reglamento específico por cultivo aprobado con la R.J. 166 -2009 (INIA, 2012), los Ensayos de Adaptación y Eficiencia se conducen en dos campañas consecutivas y en tres localidades representativas donde se desarrollará el nuevo cultivar. Los resultados de las evaluaciones de rendimiento y seguimiento de los costos de producción permiten elaborar el expediente de validación económica que forma parte de la documentación para el expediente de solicitud de registro del nuevo cultivar.

En el planteamiento de los ensayos previamente descritos, según las experiencias de evaluación del INIA, se considera una fuente de variación constituida por las líneas promisorias y variedades locales testigo. Por consiguiente, se recomienda el uso del diseño experimental de bloques completamente randomizados, con tres repeticiones preferentemente, bajo la tecnología de manejo agronómico predominante en el ámbito de evaluación. Considerando que en este ensayo se recoge información técnica y económica, cada unidad experimental mínimamente debe ser de 200 m^2, bajo la tecnología local predominante de la zona en estudio (surcos o al voleo), garantizando estrictamente la fuente de variación o líneas en estudio. Nuevamente, es recomendable contar con los análisis de suelos de las localidades en estudio a fin de no cometer sesgos en el nivel de fertilización que se aplique a los tratamientos.

5.5.7 Multiplicación de semilla genética de líneas experimentales

Con el fin de garantizar la pureza del material genético evaluado en las diferentes fases del plan de mejoramiento genético, es pertinente que se planifique y conduzcan los núcleos de semilla genética que permitan a los investigadores programar los diferentes ensayos; por este motivo, se debe prever anualmente la multiplicación de los núcleos de semilla genética de los genotipos evaluados, desde los ensayos preliminares hasta los Ensayos de Adaptación y Eficiencia en la cantidad necesaria de semilla.

De los trabajos desarrollados en el INIA los núcleos de semilla genética de los EPR, ERU se instalan en parcelas de seis surcos con distanciamiento de 0.30 m entre surcos y 4.00 m de largo, con un surco libre entre tratamientos (Figura 14). En estas parcelas se desarrollan todas las labores concernientes al manejo de la semilla genética y la cosecha de los cuatro surcos centrales, para luego desarrollar las labores de trilla y limpieza con maquinaria experimental en resguardo de la calidad de la semilla.

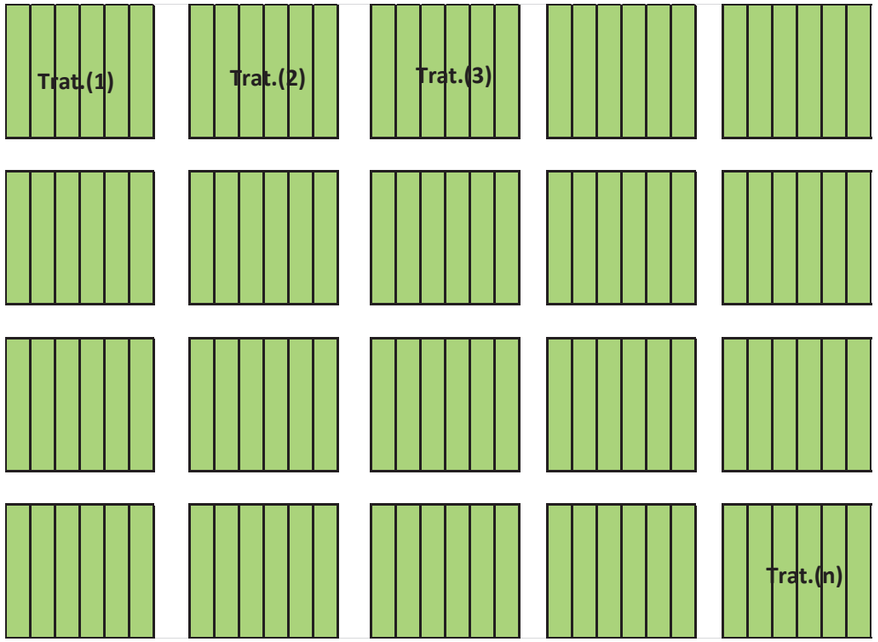


Figura 14. Esquema de parcelas de seis surcos para los núcleos de semillas genéticas de EPR y ERU.

Para el caso de la semilla de los genotipos evaluados en campo de agricultores, el investigador deberá de conducir un núcleo de semilla genética, preferentemente en el campo experimental, en el área apropiada que permita disponer de semilla para los siguientes ensayos. En el presente caso se ha definido que para la conducción de los Comparativos de Rendimiento y Ensayos de Adaptación y Eficiencia, el área mínima que se debe de considerar en los núcleos de multiplicación debe ser de 30 m^2 por cada genotipo.

5.6 Parámetros de evaluación por tipo de ensayo

En base al análisis de los especialistas se ha definido considerar los parámetros expuestos en las Tablas 1, 2, 3, y 4 para la evaluación por tipo de ensayo.

Tabla 1
Parámetros de evaluación de fenología

Parámetros de evaluación	Viveros	EPR	ERU	CRLP	EAF	Observaciones
Fenología						
Macollamiento				X	X	Las observaciones se deberán medir al 50 % de presencia en la parcela según la tabla de las fases de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9). Madurez fisiológica cuando en el 50 % de la población el pedúnculo cambia de color verde a amarillo.
Embuche	X	X	X	X	X	
Espigado	X	X	X	X	X	
Madurez fisiológica	X	X	X	X	X	
Madurez de cosecha	X	X	X	X	X	

Tabla 2
Parámetros de evaluación de caracteres agronómicos

Parámetros de evaluación	Viveros	EPR	ERU	CRLP	EAE	Observaciones
Caracteres agronómicos						
Área foliar hoja bandera	X	X				5 muestras etapa de post floración
Longitud del pedúnculo	X	X	X	X	X	5 muestras etapa de post floración
Altura de planta	X	X	X	X	X	5 muestras por tratamiento
Longitud de espiga	X	X	X	X	X	5 muestras por tratamiento
N° Espigas/m2				X	X	2 muestras por tratamiento
N° granos por espiga		X	X	X	X	5 granos por tratamiento
Tamaño de grano				X	X	Del tercio medio de la espiga
Peso mil granos			X	X	X	2 muestras por tratamiento
Humedad de grano	X	X	X	X	X	2 muestras por tratamiento
Masa hectolítrica	X	X	X	X	X	2 muestras por tratamiento
Rendimiento/ parcela	X	X	X	X	X	Peso de los surcos centrales

Tabla 3
Parámetros de evaluación de sanidad

Parámetros de evaluación	Viveros	EPR	ERU	CRLP	EAF	Observaciones
Sanidad						
Roya amarilla	X	X	X	X	X	Utilizar el Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales (Stubbs et al., 1986)
Roya del tallo	X	X	X	X	X	
Roya de la hoja	X	X	X	X	X	
Carbón cubierto	X	X	X	X	X	
Fusarium	X	X	X	X	X	
Helminthosporium	X	X	X	X	X	

Tabla 4
Parámetros de evaluación de calidad de grano

Parámetros de evaluación	Viveros	EPR	ERU	CRLP	EAF	Observaciones
Calidad de grano						
Análisis físico químico				X	X	Servicio de laboratorios acreditados
Parámetros UPOV					X	Directrices de la UPOV

Durante el ciclo del cultivo de trigo, se producen tanto cambios en la morfología externa de las plantas, visibles al ojo humano (crecimiento + desarrollo), como en la actividad de los tejidos (desarrollo), no siempre perceptibles. La descripción de los diferentes estados externos e internos por los que atraviesa el cultivo de trigo puede ser realizada mediante el uso de diferentes escalas que permiten tener una referencia precisa de las diferentes etapas o estados de desarrollo por los que atraviesa el cultivo.

La escala de Zadoks (Figura 15), es la más utilizada en el cultivo de trigo y sólo describe estados morfológicos externos del cultivo, que involucran algunos procesos de desarrollo y otros de crecimiento. Estos estados deben ser tomados en cuenta al analizar las fases y procesos de desarrollo, así como los factores que los regulan y modifican. En la Tabla 5, se describe la escala Zadoks con 10 fases numeradas de 0 a 9 que describen el cultivo.

Tabla 5
Fases de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9)

Etapa principal	Descripción	Sub-fase	Etapa principal	Descripción	Sub-fase
0	Germinación	0.0 - 0.9	5	Espigado	5.0 - 5.9
1	Producción de hojas TP	1.0 - 1.9	6	Antesis	6.0 - 6.9
2	Producción de macollos	2.9 - 2.9	7	Estado lechoso del grano	7.0 - 7.9
3	Producción de nudos TP (encañado)	3.0 - 3.9	8	Estado pastoso del grano	8.0 - 8.9
4	Vaina engrosada	4.0 -4.9	9	Madurez	9.0 9.9

TP: Tallo principal

Recuperado de ONUAA (2019).

La escala de Zadoks permite, mediante la apreciación de la morfología exterior del cultivo, tener una idea del estadio de desarrollo en que se encuentra. Esta escala es una valiosa herramienta para la unificación de criterios y poder llegar a una mayor comprensión entre los especialistas, al momento de tomar una decisión agronómica como la aplicación de fertilizante, herbicidas, insecticidas y tratamiento con fungicidas. Para aplicar esta herramienta correctamente a nivel de lote debe hacerse un muestreo representativo; se deberán observar plantas individuales y a partir de ello se considerará que el cultivo ha alcanzado un determinado estado siempre y cuando el mismo estado se manifieste en al menos 50 % de las plantas observadas.

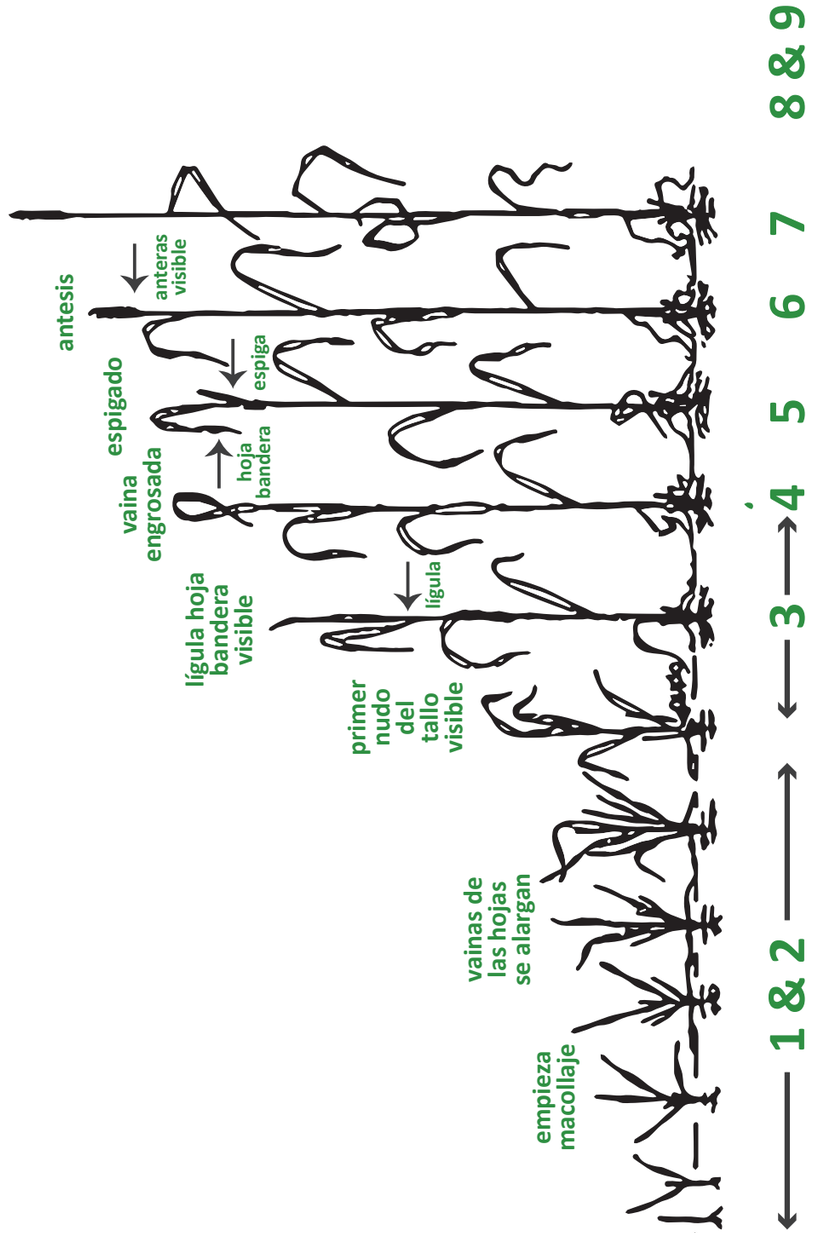


Figura 15. Fases fenológicas de trigo según las escalas de Zadoks.
Recuperado de ONUAA (2019).

5.7 Procedimientos para el mantenimiento y multiplicación de semilla genética de trigo y cebada

5.7.1 Aspectos generales

La calidad de la semilla es determinada por un conjunto de características conformadas en el establecimiento y desarrollo de las plantas en campo, donde la calidad genética, física, sanitaria y fisiológica juegan un papel importante.

Según el instructivo para la producción de semillas en el INIA aprobado por Resolución Jefatural N° 124.2005 - INIA (2016), señala que la semilla genética es conducida por los Programas de Mejoramiento y únicamente en las Estaciones Experimentales donde se desarrolló o mejoró el cultivar, y debe estar bajo la exclusiva responsabilidad de los programas de investigación donde se encuentran los especialistas en mejoramiento genético, los mismos que conducirán los núcleos de semilla genética.

El Reglamento General de la Ley de Semillas señala que la producción y comercialización de semillas para los efectos de la Ley admiten las siguientes clases y categorías de semillas:

- Semilla Clase Genética.
- Semilla Clase Certificada, producida bajo el proceso de certificación y comprende la categoría básica o de fundación, registrada, certificada y autorizada.
- Semilla Clase no Certificada.

5.7.2 Mantenimiento de la semilla original de los cultivares

Luego de liberar el cultivar e inscribirlo en el Registro de Cultivares Comerciales, para la conservación y mantenimiento de la semilla original, los investigadores están en la obligación de entregar un kilogramo de un duplicado de semilla genética a la Dirección de Biotecnología y Recursos Genéticos (DBRG) para su conservación en cámara fría. Además, se deben cumplir otras obligaciones descritas a continuación:

a. El mantenimiento de la semilla genética de trigo y cebada se desarrollará exclusivamente en las Estaciones Experimentales donde se ha desarrollado el cultivar.

b. El mantenimiento de la pureza varietal de trigo y cebada, de especies autógamas, se realizará mediante el sistema de selección de espigas de la población de plantas del cultivar (mil espigas como mínimo) para ser instaladas en la siembra en campo a través de espiga-hilera distanciadas a 0.30 m.

c. Se deberá clasificar y seleccionar masal de espigas en cada generación para mantener la semilla genética. Asimismo, el proceso de mantenimiento en campo se realizará cada cuatro años, según la disponibilidad de las mismas para su conservación y la demanda que implique para su producción de las categorías de clase certificada.

d. Durante el desarrollo del cultivo se deben realizar las observaciones con el fin de eliminar aquellas hileras que tengan plantas fuera de tipo y no correspondan a las características del cultivar.

e. Para el mantenimiento de semilla genética de trigo y cebada se deben disponer de parcelas aisladas, preferentemente en espacios de dos metros y deben ser instaladas en terrenos de rotación con cultivo de tubérculos o leguminosas evitando el uso de parcelas de cualquier otro cereal.

Con fines de conservación de la semilla genética, la Estación Experimental dispondrá de almacenes adecuados y espacios determinados para su uso exclusivo, de esta manera se estará garantizando disponer de semilla original del cultivar, la misma que debe estar adecuadamente identificada y resguardada en envases (preferentemente de papel), que garanticen su conservación.

El Programa de mejoramiento, es responsable del acceso y uso de la semilla genética para atender los requerimientos de las unidades de producción de semillas.

El volumen de multiplicación de la semilla genética de los cultivares de trigo y cebada está en función a la demanda de semilla requerida por las unidades de producción, la cual debe ser anunciada con una campaña agrícola de anticipación para la producción de la categoría básica, a fin de prever su multiplicación en la EEA donde se generó la variedad.

En el caso de los cultivos de trigo y cebada, mínimamente se dispondrá la multiplicación de la semilla genética en un área de 1000 m^2 pudiendo incrementarse en función a la demanda que sea solicitada para su uso exclusivo de la producción de la semilla de la clase certificada.

Solo se deberá multiplicar semilla genética de los cultivares comerciales generados por el programa que estén inscritos en el registro de cultivares y, excepcionalmente, de otros cultivares inscritos en el registro de cultivares que no fueron desarrollados por el programa y que tengan la autorización de la institución que lo ha desarrollado.

Considerando que el trigo y la cebada, son especies autógamas, los métodos de aislamiento, por lo general, deberán tener un espaciamiento de tres metros entre parcelas de diferentes variedades, o separadas con otra especie de cultivo a fin de evitar la mezcla genética en campo.

El método de selección que se utilizará en campo para la multiplicación de semilla genética de los cultivares de trigo y cebada será la cosecha masal de espigas con presión de selección del 75 %, que consiste en la selección de plantas que mantienen las características del cultivar y luego de la trilla estas son dispuestas para su almacenamiento y uso.

Solo el fitomejorador del Programa podrá realizar la entrega a las unidades de producción de la semilla genética, atendiendo con los documentos de salida en base a su requerimiento anticipado presentado a la EEA.

Para la instalación de núcleos genéticos, la semilla original será adquirida del almacén de mantenimiento del cultivar del Programa de Mejoramiento.

La calidad de la semilla será evaluada y verificada en los laboratorios del programa en cuanto a sus características de viabilidad, vigor, entre otros; dicha información quedará documentada a través de los registros de almacén e incluida en los registros de campo de la parcela de mantenimiento y/o multiplicación.

La instalación y manejo de la semilla genética, se deberá realizar empleando alternativas tecnológicas, de acuerdo a las recomendaciones generadas para el cultivar.

El campo de multiplicación de la semilla genética debe estar identificado adecuadamente con los datos de procedencia del material genético, la identificación del cultivar comercial, la fecha de instalación, la fuente de financiamiento y otros datos de importancia que deben ser difundidos en el proceso de conducción.

Durante la fase de campo, la parcela se mantendrá en condiciones óptimas de manejo: libre de malezas, plagas y enfermedades (Figura 16). La pureza genética debe ser garantizada en la entrega para la multiplicación de la semilla de la categoría básica, por lo que los investigadores deberán realizar el monitoreo mínimamente cada quince días, durante el desarrollo fenológico del cultivo, y conducir un registro de las evaluaciones biométricas, sanitarias y otros.

La actividad de cosecha de la semilla genética deberá realizarse en el momento oportuno, según el desarrollo fenológico del cultivar y el ámbito de multiplicación; esta labor es de suma importancia pues evita el daño de la semilla por madurez incompleta, por sobremadurez (deterioro fisiológico), por exceso de humedad o por el ataque de plagas y enfermedades.

En el proceso de postcosecha de la semilla genética de trigo y cebada, en caso de utilizar maquinaria experimental debe realizarse la limpieza total de la maquinaria antes y después de la trilla de cada cultivar, para evitar la mezcla varietal durante esta etapa del proceso de mantenimiento y multiplicación.



Figura 16. Parcela de producción de semilla de trigo en la EEA Andenes Cusco.

6

Referencias

6. Referencias

Braun, H.J., Atlin, G., Payne, T. (2010). Multi-location testing as tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds, MP. (Ed.) *Climate Change and Crop Production*, *CABI*, London, UK.

Braun, H-J., Kosina, P., Crouch, J. (2009). Wheat Facts and Futures 2009. CYMMYT: International Maize and Wheat Improvement Center, Facts and Trends/Overview Outook.

Camarena, M. F. (2015). La hora de las leguminosas para la alimentación y la exportación. *Universidad Nacional Agraria La Molina, Agronoticias*, 418.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo –CIMMYT. (2018). *Investigadores encuentran regiones genómicas "clave" para incrementar el contenido de zinc en el trigo*. Recuperado de https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/investigadores-encuentran-regiones-genomicas-clave-para-incrementar-el-contenido-de-zinc-en-el-trigo/

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo –CIMMYT. (1986). *Instrucciones para el manejo y registro de resultados de los ensayos intencionales del Programa de Trigo del CIMMYT*.

Cochran, W., Cox, G. (1957). *Experimental Designs*. Nueva York, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons.

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica –CONCYTEC. (2019) *Resolución de Presidencial* N° 115-2019-CONCYTEC-P. Recuperado de http://resoluciones.concytec.gob.pe/subidos/sintesis/RP-115-2019-CONCYTEC-P.pdf

Crossa. J. (2011). *Capítulo 12: Diseños experimentales de campo en agricultura*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo es una organización de investigaciones agrícolas -CYMMT.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Díaz, M., Robledo, C. W., Balzarini, M. G. (2009). *Estadísticas para las ciencias agropecuarias*. Córdoba, Argentina: Brujas

Dixon, J., Omwega, A., Fiel, S., Burns, C., Donati, K., Carlise, R. (2007). *The health equity dimensions of urban food systems. Journal of Urban Health: Bulletin of New York Academy of Medicine, 84*(1), 118-129.

El mundo. (2018). *El genoma del trigo harinero ayudará a crear variedades más resistentes*. Recuperado de https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2018/08/16/5b75ab13468aeb3d7e8b458b.html

Evenson, R. E. y Gollin, D. (2003). Assessing the impact of the green revolution: 1960–2000. *Science, 300,* 758-762.

Hernández, S. R., Fernández, C. C., Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. D.F, México: McGRAW-HILL.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual -INDECOPI. (2019) *Dirección de Invenciones y Nuevas Tecnologías*. Recuperado de https://indecopi.gob.pe/web/invenciones-y-nuevas-tecnologias/requisitos

Instituto Nacional de Innovación Agraria –INIA. (2012). *Reglamento General de la Ley General de Semillas Decreto Supremo N° 006-2012-AG,* (1). Recuperado de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2012/ds_006_reg_semillas.pdf

Instituto Nacional de Innovación Agraria –INIA. (2016). *Guía de procedimientos para la generación y lanzamiento de variedades o cultivares del INIA (Aprobada con resolución Jefatural N° 0138-2016-INIA)-DGIA-SDPIA, Lima, Perú)*. Recuperado de http://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/resoluciones/2016_2010/RJ-138-2016.pdf

Lacasa, I. (2012). *Análisis de la población doble aploide de cebada, procedente de cruzamiento de Albacete x Plaisant, para el esudio de la traslocación recírpoca presente en Albacete* (Tesis doctoral). Universitat de Lleida, España.

Lobell, D.B., Burke, M. B., Telbadi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., Naylor, R.L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science, 319*(5863), 607-610.

Manske, G. G. B., Ortiz M. I., van Ginkel, M., González, R. M., Rajaram, S., Molina E., Vlek, P. L. K. (2000). Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico. *Plant Soil 221*(2), 189–204

Ministerio de Agricultura y Riego -MINAGRI. (2017). *Análisis Económico de la Producción Nacional de la Quinua*. Recuperado de https://www.minagri.gob.pe › portal › analisis-economico › analisis-2017

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - ONUAA. (2019). *Escala Zadoks*. Recuperado de http://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/zadoks.pdf

Poehlman, J. M. (1969). *Mejoramiento genético de las cosechas*. Traducido por Nicolás Sánchez D. México: Limusa.

Rajaram, S. y Ceccarelli, S. (1998). *International collaboration in cereal breeding. In: Prospects for global improvement*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Reynolds, M. P. y Borlaug, N. E. (2006). Impacts of breeding on international collaborative wheat improvement. *Journal of Agricultural Science. 144,*3 - 1.

Reynolds, M. P., Pask, A. J. D., Mullan, D. M. y Chávez-Dulanto, P. N. (2011) *Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo.* México, D.F.: CIMMYT.

Sevilla, R. y Rolle, M. (2004). *Recursos Genéticos Vegetales*. Lima, Perú: Luis León Asociados SRL.

Stubbs, R. W., Prescott, J. M., Saari E.E., y Dubin. H.J. (1986). Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).* México.

Tiessen F.A. (2012). *Fundamentos de mejoramiento genético vegetal*. Editorial EAE. Recuperado de http://www. google .com. pe/url?sa=t&rct=j&g=mejora%20vegetal%20dr.% 20axel%20tiessen%20favier&source=web&cd= 1 &cad=rja&ved=OCCkQFiAA &url=http%3A %2F%2F

Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales -UPOV. (2017). *Directrices para la ejecución del examen de la Distinción, la Homogeneidad y la Estabilidad de Trigo TG/3/12*. Recuperado de https://www.upov.int/es/publications/tg-rom/tg003/tg_3_1.pdf

Vadillo, J. (2009). La calidad de los trigos, Semillas Agrícolas S.A. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Argentina.

7

Anexos

ANEXOS

Registros para la toma de información de campo

Instituto Nacional de Innovación Agraria

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION EN CEREALES, GRANOS ANDINOS Y LEGUMINOSAS

REGISTRO DE CAMPO CAMPAÑA AGRICOLA .....

Nombre del Proyecto:

Nombre del Experimento:

Investigador(es):

INFORMACIÓN BÁSICA DE LA CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO						
Estación Experimental Agraria						
Localidad:		Distrito:		Provincia:		Departamento:
Altitud:		Latitud:		Longitud:		Zona geografica:
Fecha de siembra:						
Emergencia:	Temprana ( )días		Normal ( )días		Tardía ( ) días	
Dimensiones de la parcela						
N° surcos:		Area de surco:		Largo de surco:		Ancho de surco:
Area parcela:		Area calles:		Area repeticion:		Area total del experimento:
Historial del terreno:						
Uso de fertilizantes quimicos:						
Fecha:				Nivel:		
Uso de fertilizantes organicos:						
Fecha:				Nivel:		
Aplicación de insecticidas:						
Fecha:		Producto/dosis:				
Aplicación de fungicidas						
Fecha:				Producto/dosis:		
Aplicación de otros productos						
Fecha:				Producto/dosis:		
Textura de suelo:						
Resultados de análsis de suelo						
Carencia de nutrientes:						
Estimado de agua disponible:						
Comentarios y observaciones respecto a factores climatologicos durante el desarrollo del cultivo (Registrar fechas y eventos)						
Opiniones y comentarios de los visitantes						
Fecha	Nombres y apellidos			Opinion y/o sugerencia		Firma

CROQUIS DE UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL EXPERIMENTO

Croquis de ubicación

Croquis de distribución

HOJA DE RANDOMIZACION DE TRATAMIENTOS PARA ENSAYOS DE RENDIMIENTO

Nombre del experimento:

Diseño Experimental:

Nº VAR.	VARIEDAD O CRUZA	REPETICIONES			ORIGEN
		I	II	III	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					

Registro de campo

Nombre del Experimento: .....
Localidad y Campaña agricola: .....
Ubicación: Altitud:.....Latitud.....Longitud:.....

N°PARC	N°VAR.	VARIEDAD O CRUZA	ORIGEN	PARAMETROS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS SEGÚN TIPO DE ENSAYOS									
1		NOMBRE DE LA CUZA O VARIEDAD PEDIGREE											
2		ABN-B/KC-B/RAISA/3/ALELI/4/SHYRI/ALELI/5/ CBSS99M00223T-S-3M-1Y-1M-0Y	MX103-04 PCCEBADA										
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													

REGISTRO DE COSTOS DE CONDUCCION DEL EXPERIMENTO

DATOS GENERALES

LABORES REALIZADAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CULTIVO

FECHA	Dias Acum.	LABOR REALIZADA	MAQUINARIA / EQUIPO					MANO OBRA					INSUMOS					PRECIO TOTAL	GASTO ACUMULADO	OBSERVACIONES
			UNID.MEDIDA	CANTIDAD	P. UNITARIO	SUB TOTAL		UNID.MEDIDA	CANTIDAD	P. UNITARIO	SUB TOTAL		UNID.MEDIDA	CANTIDAD	P. UNITARIO	SUB TOTAL				

Participantes en los talleres de análisis y revisión de los protocolos para generación de variedades mejoradas, mantenimiento y multiplicación de semilla de trigo y cebada

Número	Nombre	Institución
1	Abarca Achihuanca, Vilma	INIA EEA Andenes
2	Alejo Rivera, Juan	INIA EEA Andenes
3	Altamirano Pérez, Ana María	INIA - EEA Canaán
4	Altamirano Vásquez, Hernán	INIA EEA Andenes
5	Álvarez Cáceres, Aquilino	UNSAAC
6	Anccasi Casquina, Huber	PNIA proyecto 216_PI
7	Apaza Mamani, Vidal	Consultor ADEX - Puno
8	Arana Quispe, Julián	INIA EEA Andenes
9	Cardoso Villacorta, Sergio	INIA EEA Andenes
10	Ccalta Hancco, Eva	INIA EEA Andenes
11	Céspedes Florez, Elisabet	UNSAAC
12	Chacón Campana, Américo	UNSAAC
13	Chavez Cabrera, Alexander	INIA - sede central
14	Córdova Rosell, Luis Enrique	INIA EEA Andenes
15	Cosio Cuentas. Pompeyo	UNSAAC
16	Estrada Zúniga, Rigoberto	INIA EEA Andenes
17	Gallegos Mejía, Elvis	UNSAAC
18	Gamarra Flores, Mirihan	INIA EEA Andenes
19	Gómez Aiqui, Lurdes	UNSAAC
20	Gonza Cusipuma, Víctor Antonio	INIA EEA Andenes
21	Gonzales Romero, Nieves María	PNIA - Lima
22	Gutiérrez Galdós, Juan Luis	PNIA proyecto 216_PI
23	Jara Calvo, Teófilo Wladimir	INIA EEA Andenes
24	Jiménez Dávalos, Jorge Eduardo	UNALM
25	Lama Cáceres, Virginia	INIA EEA Andenes
26	Lizárraga Valencia, Luis Justino	UNSAAC
27	Lizárraga Farfán, Analí	UNSAAC
28	Mamani Quispe, Pedro Cirilo	INIA EEA Andenes
29	Manotupa Tupa, Michael Bryan	INIA EEA Andenes
30	Medina Laura, Cesar	INIA EEA Andenes
31	Muñoz Aragón, José	PNIA proyecto 216_PI
32	Nina Montiel, Andrés Roberto	INIA EEA Andenes
33	Nina Montiel, Víctor	INIA EEA Andenes
34	Pacheco Del Castillo, Miguel Ángel	Consultor Privado
35	Pérez Ávila, Ángel	INIA - EEA Santa Ana
36	Puma Urrutia, Julio Federico	INIA EEA Andenes
37	Sierra Cuba, Nila	UNSAAC
38	Sosa Peralta, Guillermo	INIA - sede central
39	Zúniga Bernal. Mary	UNSAAC

Instituto Nacional de Innovación Agraria



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Av. La Molina 1981, La Molina
(51 1) 240-2100 / 240-2350
www.inia.gob.pe

PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

ISBN: 978-9972-44-056-4