

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EVALUACION DE CULTIVARES CON ALELOS ESPECIFICOS PARA
TOLERANCIA A LA ACIDEZ Y ALUMINIO FITOTOXICOS SOBRE EL
RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum L.*)**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

VICTOR HUGO MILLAPI ALCHAO

TEMUCO - CHILE

2013

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EVALUACION DE CULTIVARES CON ALELOS ESPECIFICOS PARA
TOLERANCIA A LA ACIDEZ Y ALUMINIO FITOTOXICOS SOBRE EL
RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum L.*)**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

VICTOR HUGO MILLAPI ALCHAO

PROFESOR GUÍA: CLAUDIO JOBET FORNAZZARI

TEMUCO - CHILE

2013

EVALUACION DE CULTIVARES CON ALELOS ESPECIFICOS PARA TOLERANCIA A LA ACIDEZ Y ALUMINIO FITOTOXICOS SOBRE EL RENDIMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum*).

PROFESOR GUIA

: CLAUDIO JOBET FORNAZZARI
INGENIERO AGRÓNOMO, MSc. PH.D
DPTO. PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

PROFESOR CONSEJERO

: HORACIO MIRANDA VARGAS
MÉDICO VETERINARIO M. SC.
M.S.C. BIOESTADISTICA, (C) DR.
DEPTO. DE PRODUCCION AGROPECUARIA.
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA.

CALIFICACION PROMEDIO TESIS:

INDICE

INTRODUCCION	1
2.- REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1.- Antecedentes generales del trigo	3
2.2.- El trigo en Chile	3
2.3.- Que es la acidez de suelo.	5
2.4.- Factores que afectan el pH del suelo.	7
2.5.- Saturación de Aluminio	7
2.6.- Efectos de la acidez de suelo sobre los cultivos	8
2.7.- Efectos de la Acidez del Suelo sobre la Fertilidad.	10
2.8.- Fuentes de acidificación.	12
2.9.- Efecto del tipo de fertilizante sobre la acidez	13
2.10.- Desarrollo de cultivares tolerantes al aluminio fitotóxico.	16
2.11.- Generación líneas avanzadas de trigo con mayor tolerancia al aluminio fitotóxico.	17
2.12.- Desarrollo de líneas o cultivares de alta tolerancia al aluminio fitotóxico.	17
3.- MATERIALES Y MÉTODO	20
3.1.- Localización	20
3.2.- Material vegetal	20
3.3.- Características Edafológicas del sitio de ensayo.	22
3.4.- Superficie del ensayo.	23
3.5.- Tratamientos	24
3.6.- Manejo agronómico del ensayo	24
3.7.1.- Preparación de suelo.	24
3.7.2.- Siembra	24
3.7.3.- Fertilización	25
3.7.4.- Cosecha	25
3.7.5.- Evaluaciones	25
3.7.5.1.- Rendimiento por hectárea.	26
4.- PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
4.1.- Rendimientos (qqm/ha) ensayo realizado en INIA Carillanca.	27

4.2.- Rendimientos (qgm/ha) ensayos realizado en la localidad de Gorbea. -----	28
4.3.- Comparación de rendimientos a través de gráficos de dos localidades con características de suelo muy distintas. -----	30
4.4.- Análisis estadístico realizado a base de diseño de parcelas divididas en dos localidades. -----	31
4.5.- Análisis estadístico realizado a base de diseño de parcelas divididas en localidad de Gorbea. -	33
5.- CONCLUSIÓN -----	35
6.- RESUMEN -----	37
7.- SUMMARY -----	39
8.- BIBLIOGRAFIA -----	40

INTRODUCCION

El trigo (*Triticum aestivum*) perteneciente a la familia de las gramíneas, es una especie ampliamente cultivada en el mundo cuyos granos, contienen principalmente almidón, proteínas, agua, y en menor proporción grasas, minerales, celulosa y vitaminas, el objetivo esencial de su producción es el rol alimenticio de primer orden y el aporte nutritivo a la alimentación humana, cuya demanda mundial crece a tasas mayores que las actuales ganancias genéticas en rendimiento de los diferentes países. A pesar de lo anterior, la producción mundial de trigo aumentó más de seis veces durante el siglo XX a través de incrementos en el área cosechada durante la primera mitad, y de mejoras sustanciales en el rendimiento por unidad de superficie.

El trigo es consumido en diversas formas por millones de personas y su contribución en calorías y proteínas a la dieta diaria es mayor a la que aporta cualquier otro alimento. Además, en las últimas décadas, el consumo per cápita ha experimentado un incremento sostenido, superando la demanda a la producción. Bajo estas condiciones, según Hacke y Auger (2009), la mejor alternativa para asegurar una adecuada disponibilidad de trigo en el mundo es a través de la creación de variedades de alto potencial de rendimiento, en las cuales se incorporen genes de resistencia que las protejan de los principales agentes patógenos, considerando que las grandes pérdidas de rendimientos son causadas por enfermedades y diversos agentes abióticos, siendo estos factores unos de los principales limitantes en la producción.

En Chile, la condición ambiental que más seriamente limita la productividad de trigo son los suelos ácidos, los cuales se ubican en el centro-sur y sur del país, zona donde se siembra el 75% de la superficie nacional destinada al cultivo de este cereal (ODEPA, 2013). La estrategia más extendida para reducir el impacto de la acidez en la productividad del trigo es el manejo agronómico tendiente a neutralizarla mediante el uso de cal agrícola. Sin embargo, esta estrategia representa una solución parcial al problema, por cuanto presenta efectos colaterales indeseables como el aumento de adsorción de fósforo al suelo y la inducción de cambios en la actividad microbiana que perjudican su mineralización (Campillo, 2013). Además, los pequeños agricultores no cuentan con recursos que les permitan aplicar enmiendas calcáreas en los niveles

requeridos para contrarrestar el efecto de acidez del suelo. Un mejor aprovechamiento de la estrategia de neutralización se beneficiaría con el uso complementario de variedades tolerantes al aluminio fitotóxico. (Borie y otros, 1999).

El objetivo general corresponde al siguiente:

1. Evaluar el comportamiento de cultivares de trigo primaverales bajo condiciones de acidez de suelo.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el comportamiento de alelos específicos para tolerancia a la acidez y aluminio fitotóxico en germoplasma primaveral.
2. Evaluar rendimiento de alelos específicos para la tolerancia a la acidez y aluminio fitotóxico comparado con variedades comerciales.

2.- REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1- Antecedentes generales del trigo

El trigo es una planta anual que pertenece a las familias de las gramíneas y cuyo origen corresponde al suroeste de Asia, siendo introducido a Chile en el siglo XVI por los españoles y a los Estados Unidos por los primeros colonizadores Ingleses (Poehlman, 1965). Es el cereal más cultivado en el mundo y su importancia radica en que es una fuente de alimentación primaria, aportando a la dieta humana mundial, más calorías y proteínas que ningún otro cultivo alimenticio. En la actualidad, es posible encontrar una amplia variedad de especies de trigos, sin embargo los más cultivados son el *Triticum aestivum L.* y *Triticum durum.* (Hanson et al., 1985). En este sentido, Hoseney (1990), argumenta que la importancia de este cereal radica en su grano, conformado por tres partes esenciales: el germen o embrión; el endosperma, en el que se encuentran los dos componentes más importantes de la harina: el gluten y el almidón; y la envoltura del grano o pericarpio.

La especie más cultivada de trigo (*Triticum aestivum L.*) alcanza una altura de planta que oscila entre 60 a 120 cm, su tallo es un rizoma corto que presenta 5-7 nudos según la especie, aun cuando generalmente se desarrollan 3 a 4 hojas, denominándose la superior hoja bandera la cual presenta una alta capacidad fotosintética. Además el trigo requiere suelos profundos y buen drenaje, para el desarrollo del sistema radicular. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>.

2.2.- El trigo en Chile

El trigo es el cultivo más importante para Chile, en términos de volumen, superficie y valor económico de la producción, presentando una particular gravitación en las regiones VII, VIII, IX y X, donde se concentra más del 80% de su producción y superficie de siembra

(ODEPA,2013). Este cultivo, además posee significativos componentes sociales y laborales debido al gran requerimiento de mano de obra que genera, como también por las numerosas explotaciones agrícolas para quienes el trigo representa un recurso esencial de rotación, producción y comercialización. Asimismo, es importante mencionar que el consumo de trigo en el país (150 kilos/habitante/año) es uno de los más elevados a nivel del Cono Sur, estimándose que sobre el 40% de las calorías y el 45% de las proteínas que como promedio consume diariamente el chileno provienen de este cultivo. (Jobet. C, 2012).

Considerando estos indicadores, Chile ha tenido una evolución en términos de exigencia de los consumidores y de avances tecnológicos, aunque con menor intensidad que en otras partes del mundo. Sin embargo, la cadena de producción del cereal, aún no ha comenzado a desarrollar una estrategia conjunta que le permita contar con un abastecimiento consistente, homogéneo y clasificado de trigos de calidad, lo que desencadena que exista una gran heterogeneidad en las calidades de los trigos que llegan a los molinos. A pesar de que existe el potenciales de rendimientos adecuados en términos de variedades, zonas y tecnologías de producción en nuestro país (Mellado, 2007).

No obstante, la existencia de variados agro ecosistemas en nuestro país ha fomentado durante años la creación de variedades que se adapten mejor a cada uno de ellos, entendiéndose como adaptación la obtención de mejores rendimientos.

Por ello, crece la necesidad de crear variedades que cumplan con los estándares de los mercados nacionales y mundiales. En tal sentido, un área por trabajar se refiere al aumento del rendimiento y la calidad de los granos, esto implica la búsqueda de conocimiento que permitan la aplicación del mejoramiento genético para elevar el contenido de proteína y resistencia a la acidez y alta saturación de aluminio en los suelos utilizados para el cultivo de trigos en Chile.

Por lo tanto, se debe investigar y potenciar las alternativas de rotación para este cultivo, con el objetivo de evitar una merma en la calidad y en la producción considerando las características de suelos existentes a lo largo del país, enfocándose mayormente en la zona centro sur, desde la VIII a la X Regiones afectadas principalmente por el problema de acidez y alta saturación de

aluminio en los suelos, provocando altos costos de producción y rendimientos limitados en los productores.

Por consiguiente, el problema de la acidificación que caracteriza los suelos de las zonas ya mencionadas, Sadzawka y Campillo (1993), la definen como un proceso natural que ocurre muy lentamente en los suelos con alta pluviometría como consecuencia de la lenta, pero constante pérdida de bases. Atribuyéndole, al hombre como principal agente del proceso de acidificación, quien en su accionar productivo no ha reparado en los costos ecológicos. Así, una agricultura intensiva, muy extractiva y sin reposición de bases o con la aplicación de elevadas dosis de fertilizantes, principalmente amoniacales, ha provocado un constante y progresivo aumento de la acidificación de los suelos.

2.3.- Que es la acidez de suelo.

La acidez de suelo es la concentración de iones hidrógeno (H^+) resultado de la combinación de un gran número de interacciones entre los componentes químicos del suelo provocando la deficiencia de bases en este, especialmente calcio, magnesio, potasio, sodio, (Suárez, 1991).

Del mismo modo, Mora (1993) argumenta que la liberación de aluminio (Al^{+3}) al complejo de intercambio de nutrientes en el suelo, provoca una mayor concentración de iones hidrógeno a la solución, por lo que el suelo tiende a buscar el equilibrio, este caso en particular, entre los coloides y la solución, pasando el aluminio a formar parte de las bases de intercambio. Por consiguiente, es de mucha importancia la medición de la concentración de iones hidrógeno (H^+), por ello, se hace necesaria la utilización de una escala el cual genere la medición de la concentración de iones, siendo la escala de pH la más utilizada.

La escala del pH cubre un rango desde cero a 14, considerándose como neutro el valor de pH 7,0, siendo los valores inferiores a 7,0 ácidos y los valores superiores a 7,0 básicos, la mayoría de los suelos productivos tienen niveles de pH que oscilan entre 4,0 y 9,0. Por ello, al

medir el pH del suelo se muestra la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, así como la presencia de otros elementos químicos que pueden llegar a ser tóxicos para los vegetales siendo dependientes de la solución del suelo según se muestra en la Tabla N°1.

Tabla N° 1. Rangos de pH.

1 – 3,9	4,0 – 6,9	7	7,1- 10	10,1 - 14
Ácidos improductivos	Ácidos	Neutro	Alcalinos	Alcalinos improductivos

Fuente; <http://www.Suelos-Ácidos-y-Enmiendas-Calcáreas.es.scribd.com/doc/86357194/>.

La acidez de los suelos es un problema que afecta amplias zonas de Chile, lo que se ve acentuado desde la VIII a la X Regiones. En estricto rigor, la acidez corresponde más a un problema de los cultivos que de los suelos, aunque siempre existirá algún vegetal con tolerancia a determinado grado de acidez, cuando ésta es superada se produce el problema. En química, un ácido es una sustancia que tiende a entregar (iones H⁺). Por otro lado, una base es cualquier sustancia que acepta protones. La acidez de una solución está determinada entonces por la concentración de iones H⁺ (en la solución del suelo) y se expresa con un parámetro denominado potencial de iones H⁺. (Mellado, 2007).

Por lo tanto, la acidez es una limitante para el cultivo de especies susceptibles ya que por una parte impide el crecimiento de la planta y por otra favorece la solubilización de metales tóxicos, siendo aluminio (Al⁺³) la forma soluble de fitotóxicidad, generándose así una drástica reducción del rendimiento y en casos extremos, incapacidad de las plantas para sobrevivir (Mellado, 2007).

Sin embargo, los suelos retienen con moderada energía, ciertos elementos químicos que al solubilizarse tienen una carga eléctrica positiva, como el calcio, magnesio, potasio, sodio, hidrogeno y aluminio (en este estado se denominan cationes). Esta capacidad de retención reside en aquellas partículas cuyas superficies tienen cargas eléctricas negativas, como son las de arcilla

y las de materia orgánica descompuesta, humus. Cada elemento adherido sobre la superficie de dichas partículas puede ser reemplazado por otro de los indicados, ya que todos tienen carga positiva, este intercambio se produce a medida que varía la abundancia relativa de cada uno de ellos en el suelo, ya sea por aportes o pérdidas. Así mismo un suelo es ácido cuando entre los elementos intercambiables predominan el hidrógeno y el aluminio por sobre el calcio, magnesio, potasio y sodio (Araos, 1992).

2.4.- Factores que afectan el pH del suelo.

De acuerdo con Miller, (1992), el grado de acidez y basicidad del suelo está influenciado por el tipo de material madre a partir del cual se formó el suelo. Los suelos que se formaron a partir de rocas o material generador básico, generalmente tienen valores de pH más altos que aquellos formados a partir de rocas ácidas. La lluvia también afecta la concentración de iones, por ende el pH del suelo se ve influenciado, el agua que pasa a través del suelo lixivía los nutrientes básicos, tales como, el calcio (Ca) y magnesio (Mg). Ellos son reemplazados por elementos acidificantes, tales como, hidrógeno (H), manganeso (Mn) y aluminio (Al). De modo que los suelos formados bajo precipitaciones son más ácidos que aquellos formados bajo condiciones áridas. Así mismo, suelos formados bajo vegetación boscosa tienden a ser más ácidos que aquellos formados bajo praderas, del mismo modo, bosques de coníferas producen más acidez que la producida por los bosques caducifolios.

2.5.- Saturación de Aluminio

Importancia de la saturación de aluminio en el suelo, es uno de los problemas más influyentes en la acidificación. Por ello, se ha observado una disminución de la productividad de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en las regiones de la Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. La acidez del suelo por sí misma es rara vez fitotóxica, sino que más bien, el problema se

produce, por la concentración de Al^{+3} , Mn^{+2} o Fe^{+3} , que en altos niveles son tóxicos para el desarrollo de la vida vegetal (Halvin y otros, 1999). Asimismo, los suelos ácidos presentan bajo contenido de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} y K^{+} , y se produce un aumento sustancial de la fijación del fósforo (P). Esta fijación se traduce en que aunque el fósforo esté presente en el suelo, no está disponible para que las plantas lo absorban por sus raíces. Frente a condiciones de acidez, el trigo es más tolerante que las leguminosas, pero el desarrollo de la mayoría de las variedades de trigo se ve afectado por esta condición, existiendo marcadas diferencias genéticas. De ahí la importancia de que el agricultor preste atención al nivel de vulnerabilidad que tiene la variedad que ha elegido para su predio. El rango de pH adecuado para el metabolismo de la planta de trigo varía entre 5,5 y 7,5, mientras que la saturación de aluminio debe ser inferior a 4%. (Mellado, 2007).

Bajo pH 5,5 se afecta el rendimiento y la calidad, esto se produce porque aumenta la solubilidad del aluminio, produciendo toxicidad. La toxicidad del aluminio deriva en la restricción del desarrollo radical, por lo que la planta explora un volumen menor de suelo, disminuyendo de este modo la absorción de nutrientes y agua. En los análisis de suelo el aluminio es un factor, pero la suma de bases entrega más información, porque señala la estabilidad del suelo. (Mellado, 2007).

2.6.- Efectos de la acidez de suelo sobre los cultivos

Mora, (1993), afirma que como consecuencia de la acidificación, en la actualidad, se estima que la productividad de estos suelos, ha descendido en cifras cercanas al 20%, de continuar esta misma tendencia en un plazo no muy lejano es posible que se dupliquen estos índices.

Las causas que originan esta pérdida de productividad, radican principalmente en los siguientes tres factores: aumento del nivel de aluminio de intercambio, menor actividad microbológica y menor disponibilidad de fósforo, (Mora, 1993).

El síntoma inicial de la toxicidad de aluminio es la disminución de la longitud de las raíces, las que son pocas desarrolladas, engrosadas, endurecidas, con escasas ramificaciones laterales, en tanto que las hojas muestran un color amarillento y con tendencia a secarse prematuramente. La acidez también afecta la población de organismos del suelo, compuesta por bacterias, actinomicetos, hongos, levaduras, algas, protozoos y nemátodos, es decir, contribuye a un ambiente edáfico con menor vida (Mellado, 2007).

Ahora, Baligar y Wright, (1988), descubren que el aluminio interfiere en la división celular, este se acumula en los espacios intersticiales y dentro de las células de la raíz se asocia con el ADN del núcleo, la interferencia en la división celular provocada por el exceso de aluminio hace origine raíces engrosadas y provoque la disminución en la formación de raíces laterales, por lo que reduce el volumen de suelo explorado haciéndose ineficiente la absorción de agua y nutrientes esenciales tales como fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn). A nivel de planta, el Al^{+3} interactúa con el fósforo (P) en una reacción de adsorción-precipitación, que ocurre probablemente en la superficie de la raíz y en la pared celular de las células del ápice radical que reduce el transporte de fósforo (P) desde la raíz al follaje, por lo que la toxicidad por Al^{+3} se manifiesta con una sintomatología de deficiencia de fósforo (P) en la parte aérea provocando sintomatologías como (enanismos, hojas verde oscuro, manchas moradas, amarillamiento y muerte del ápice foliar).

Cuando el aluminio se halla en la solución del suelo en concentraciones mayores a 1 ppm, frecuentemente provoca una disminución de los rendimientos, ya que este elemento daña directamente al sistema radicular de los cultivos por la interferencia en su división celular (Abruña, et al.1970).

El desarrollo radicular de los cultivos bajo estas condiciones sufre un necrosamiento y comienza a presentar puntos muertos. Las plantas sensibles al exceso de aluminio (Al^{+3}) y manganeso (Mn^{+2}), presentan menor peso y en su área foliar existe menor contenido de calcio (Ca), magnesio (Mg), y fósforo, aumentando el de aluminio (Al^{+3}), manganeso (Mn^{+2}), y fierro (Fe). Además de lo anterior, al disminuir el pH en los suelos trumaos se produce un aumento sustancial en la fijación del fósforo, por lo que aunque este elemento esté presente en el suelo, no

está biodisponible para que las plantas lo absorban por sus raíces. Ello explica en parte porque el aluminio (Al) intercambiable forma compuestos insolubles con el fósforo, disminuyendo su disponibilidad (Mellado, 2007).

La inhibición del desarrollo, tanto al nivel radical como en altura de planta, e incluso muerte de plantas, es el resultado de una combinación de varios factores que incluyen toxicidad por hidrógeno (H^+), aluminio (Al^{+3}), manganeso (Mn^{+2}), y deficiencia de elementos esenciales, particularmente calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y molibdeno (Mo). (Mellado, 2007).

López, (1993) clasifica la acidez en intercambiable y no intercambiable, la acidez intercambiable consiste principalmente en aluminio (Al^{+3}) intercambiable y constituye una pequeña fracción de la acidez total de un suelo ácido. La acidez no intercambiable es una acidez débil que está compuesta por hidroxilo aluminio fuertemente unido a las arcillas y complejos humus- aluminio (Al^{+3}) y constituye la fracción mayor de la acidez total. En el proceso de acidificación de un suelo se acumula progresivamente la acidez no intercambiable y luego a medida que el pH baja, la acidez intercambiable aumenta.

2.7.- Efectos de la Acidez del Suelo sobre la Fertilidad.

Según Sadzwka y Campillo, (1993), la fertilidad del suelo puede ser definida como la capacidad del suelo para suministrar a las plantas agua y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Los factores que determinan la fertilidad se pueden clasificar en:

- Físicos, que condicionan el desarrollo del sistema radicular, y su aporte hídrico, la fertilidad física se identifica por: textura, estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados, etc.
- Químicos, que hace referencia a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas, se caracteriza por: capacidad de cambio de cationes, pH, materia orgánica,

Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Fe, Mo, Mn, Zn, Cu, Na, Cl), y sus formas químicas en el suelo que condicionan su disponibilidad.

- Biológicos, determinados por la actividad de los microorganismos del suelo, la microflora del suelo utiliza la materia orgánica como sustrato y fuente de energía, interviniendo en la producción de enzimas, ciclo de C y de N, transformaciones biológicas de nutrientes y procesos de humificación y mineralización.

Mora, (1994), establece que el aumento de los niveles de aluminio en el suelo baja la eficiencia de la fertilización, debido al escaso desarrollo radical que alcanza la planta; con ello la capacidad de captar nutrientes del suelo disminuye. Además, la capacidad del suelo para fijar el fósforo aumenta, porque se establecen fuertes enlaces con el aluminio, lo que impide la absorción de este nutriente esencial para las plantas.

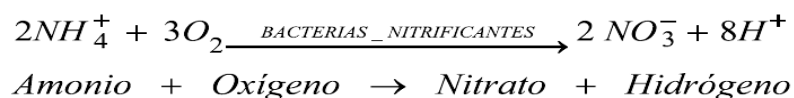
Los efectos de la acidez de suelo sobre la fertilidad varían dependiendo el contenido y calidad de la materia orgánica, a su vez del tipo de suelo, su manejo agronómico, el tipo de vegetación y las características climáticas (Borie y Rubio, 1990). Por ello la materia orgánica consiste en residuos vegetales en diversas fases de descomposición y restos de organismos y microorganismos que viven en el suelo y sobre él (Bottner, 1982). La materia orgánica se puede clasificar en biótica y abiótica.

La materia orgánica biótica está constituida por organismos vivos presentes en el suelo (microfauna y microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetes). A pesar de representar menos del 1% de la materia orgánica es responsable de la bioactividad que da lugar a la disponibilidad de nutrientes. La materia orgánica abiótica corresponde a la mayor parte de la materia orgánica y está constituida por una parte más lábil y disponible como fuente energética y nutriente, y una parte polimérica, compleja y más estable en el tiempo que corresponde al humus (Aguilera, 2000).

2.8.- Fuentes de acidificación.

La acidez del suelo tiene varias fuentes, entre las más importantes se pueden mencionar; materia orgánica, aluminio (Al^{+3}) intercambiable, disminución de cationes básicos como calcio, magnesio, potasio y sodio por remoción en los cultivos y lixiviación, descomposición de residuos orgánicos y la aplicación de fertilizantes que contienen fuentes amoniacales (López, 1993).

Cuando el proceso de nitrificación convierte el ión amonio en nitrato, se generan iones de hidrógeno; esto se ilustra en la siguiente reacción:



Esta es una fuente de acidez del suelo. De tal manera, los fertilizantes nitrogenados que contengan o formen nitrógeno amoniacal aumentan la acidez del suelo a menos que la planta absorba el ión amonio (NH_4) directamente. También los nitratos son un factor asociado con lixiviado de bases tales como Ca, Mg y K del suelo. A medida que estas bases son removidas y reemplazadas por hidrogeno (H^+), los suelos se hacen más ácidos. Los fertilizantes nitrogenados que contienen aniones y son fuertes formadores de ácido como el sulfato, aumentan la acidez más que otros portadores que no llevan aniones acidificadores. Cuando el proceso de mineralización descompone la materia orgánica del suelo el primer producto nitrogenado es el amonio (NH_4). Cuando éste se convierte en nitrato, se generan iones H^+ . Esto, al igual que el amonio inorgánico proveniente de fertilizantes, produce acidez (López, 1993).

Según Acevedo y López (1994), los suelos ácidos en general presentan limitaciones para la producción agrícola debida principalmente a la Toxicidad elevada del Al^{3+} y Mn^{2+} presentes en el complejo de cambio o en la solución del suelo (pH inferior a 4,5).

2.9.- Efecto del tipo de fertilizante sobre la acidez

Algunos fertilizantes nitrogenados bajan el pH del suelo porque durante el proceso de nitrificación de amonio (NH_4) a nitrato (NO_3) se liberan iones H^+ que pueden producir acidez. Este grado de acidez depende de la fuente de nitrógeno que se utiliza. Entre los fertilizantes nitrogenados de uso más frecuente se encuentran la urea, el nitrato de amonio (NA) y el sulfato de amonio (SA). Durante su transformación en el suelo, la reacción da como resultado la producción de igual cantidad de nitrógeno con las tres fuentes, pero los protones H^+ liberados son mayores para el (SA). A diferencia de estos fertilizantes, la fuente de nitrógeno del salitre es nitrato y, por tanto, no solo no acidifica sino que por el contrario tiene un efecto suavemente alcalino en suelos ácidos. De los fertilizantes fosfatados usados en Chile, el superfosfato triple tiene 14% de calcio por lo que se comporta como un fertilizante neutro, a diferencia del fosfato diamónico que, por carecer de calcio, acidifica el suelo cuando pasa de amonio a nitrato (Pinilla, 1993).

Ácidos. La urea y el nitrato de amonio son fertilizantes de reacción ácida, debido a que en su transformación en el suelo producen un saldo neto de dos iones hidrógeno, que contribuyen a aumentar la concentración de protones en el suelo y a disminuir, por lo tanto, el valor del pH. La reacción de estos fertilizantes se puede resumir de la siguiente forma, que se observa en la Tabla N°2, extraída Gill y Reisenauer, (1993) donde muestra que ambas reacciones tienen exactamente la misma magnitud en su efecto acidificante:

TABLA N°2: Tabla reacción de la urea y nitrato de amonio

Hidrólisis de la urea	Hidrólisis nitrato de amonio.
$\text{CO (NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \longrightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{NH}_4^+ + 2 \text{OH}^-$	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NH}_4\text{OH} + \text{HNO}_3$ $\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ $\text{NH}_4\text{OH} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$
Nitrificación de la urea	Nitrificación del nitrato de amonio
$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$ $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$ $\text{NO}_2^- + 0,5 \text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_3^-$
Balance neto de la urea	Balance neto del nitrato de amonio
$2 \text{OH}^- + 4 \text{H}^+ \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$	$3 \text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Ácidos a moderadamente ácidos. Los nitratos de amonio cálcico (CAN), que básicamente son nitrato de amonio más carbonato de calcio o carbonato doble de calcio y magnesio, en el período de su acción como fertilizante nitrogenado, se comportan igual que el nitrato de amonio puro. En el largo plazo, éstos pueden cambiar su condición a moderadamente ácidos o neutros, dependiendo de las proporciones de carbonatos que contengan.

Del punto de vista de la neutralización teórica de los iones hidrógenos liberados por la mineralización del nitrato de amonio se requiere que 62 kilos de este fertilizante sean mezclados con 38 kilos de carbonato de calcio. Bajo esta condición, y si la velocidad de la reacción de la cal

fuera la misma que la del nitrato de amonio, se podría obtener un fertilizante neutro. Esta mezcla física de nitrato de amonio puro con 33% de nitrógeno y la cantidad de carbonato de calcio indicada tiene que dar un fertilizante con 21% de nitrógeno. Si la concentración de nitrógeno es mayor significa que el fertilizante no es neutro, sino que moderadamente ácido. A nivel comercial un fertilizante que se fabrica de esta manera es el nitrato calcáreo, con 27% de nitrógeno (Pinilla, 1993).

Si en vez de utilizar carbonato de calcio se incorpora al nitrato de amonio dolomita, la proporción debería ser 65 kilos de nitrato de amonio y 35 kilos de dolomita, para dar un fertilizante con 22% de nitrógeno. A nivel comercial existe el nitromag y el nitrodoble con un 27% de nitrógeno, lo cual indica que este fertilizante es de reacción moderadamente ácida. El nitroplus y el nitroneutro contienen un 22% de nitrógeno, por lo que desde el punto de vista de su fabricación, serían neutros (Pinilla, 1993).

Sin embargo, Bernier (1991) y Escobar (1993), han señalado que aplicaciones en cobertera de carbonato de calcio ejercen durante el primer año de aplicadas, un efecto corrector que no supera en profundidad a 5 cm de suelo, en este tipo de fertilizantes es necesario señalar que su reacción está relacionada con la forma de aplicación, y con el tiempo transcurrido después de aplicado. En aplicaciones en cobertera o sobre el suelo se produce una reacción inicial dependiente exclusivamente del efecto del nitrato de amonio, el cual penetra con mucha facilidad en la primera estrata del suelo generando en ella, desde el punto de vista de la acidificación, el mismo efecto que la urea. El efecto neutralizador del carbonato de calcio o dolomita se produce en un plazo de tiempo mucho mayor, al producir una baja solubilidad y movilidad de las enmiendas calcáreas en el perfil del suelo. .

Neutros Corresponde a mezclas de fertilizantes nítricos (nitrato de sodio) y amoniacaes (Urea) en una proporción tal que la mitad de las unidades de nitrógeno (N) provienen de cada fertilizante. Una mezcla física de 74 kilos de nitrato de sodio con 26 kilos de urea daría un fertilizante neutro con un 24 % de nitrógeno. A nivel comercial existe el supernitro con un 25% de nitrógeno (Pinilla, 1993).

Alcalinos Existen varios fertilizantes nítricos que contribuyen a aumentar el pH del suelo y la suma de las bases. El efecto alcalino de estos fertilizantes se debe, principalmente, al efecto de alcalinidad fisiológica. Pertenecen a este grupo el nitrato de calcio, el nitrato de sodio, el nitrato sódico potásico y el nitrato de potasio (Pinilla, 1993).

Sin embargo, Guedes y Pinto, (1995), explican que la aplicación de cal agrícola puede disminuir la acidez en la zona superficial del suelo. Sin embargo, es una solución poco eficaz, ya que el efecto neutralizante se ejerce en los primeros 25 cm. del suelo y no afecta a zonas profundas, donde penetra gran parte del sistema radicular, Además, cuando las capas del subsuelo son ácidas, la mejora de la capa superficial no permite a las raíces sean capaces de penetrar la capa ácida y alcanzar los aportes de agua y nutrientes críticos más profundos. Por consiguiente, la obtención y selección de variedades de plantas con genotipos tolerantes al aluminio, por técnicas de mejora tradicional o mediante mejora genética, parece la mejor solución al problema.

2.10.- Desarrollo de cultivares tolerantes al aluminio fitotóxico.

En Latinoamérica, Brasil es uno de los países donde la acidez de los suelos y la toxicidad por aluminio representan los problemas agronómicos de mayor magnitud en la producción de trigo. Para disminuir la incidencia del problema, este país ha estado utilizando en la última década una estrategia de corrección de pH mediante cal y cultivares tolerantes. No obstante, los bajos niveles productivos logrados indicaron la necesidad de reenfocar la estrategia hacia una mayor tolerancia genética de los cultivares de trigo.

En Chile, solo ocasionalmente se han lanzado al mercado variedades de trigo de características sobresalientes en cuanto a tolerancia al aluminio fitotóxico y altos rendimientos.

Las diferencias de tolerancias al (Al) entre distintos cultivares ha sido ampliamente estudiada y publicada, principalmente en el extranjero, en el estado de Kansas, área de alta producción de trigo en Estados Unidos, se detectaron suelos con bajo nivel de pH antes de la década de los años 70. Sin embargo, a inicios de los años 80, a pesar de incrementar la dosis de

fertilización y cambiar continuamente de variedad, los agricultores notaban que la disminución de sus rendimientos era progresiva. Un análisis de los resultados de las muestras de suelos realizado por la Universidad de Kansas, demostró claramente el dramático aumento en el porcentaje de los suelos con valores de pH menores a 5,6, (Venegas, 1993).

2.11.- Generación líneas avanzadas de trigo con mayor tolerancia al aluminio fitotóxico.

Se transfieren genes a un par de líneas receptoras elite para generar, cultivares con mayor tolerancia al aluminio fitotóxico. El gen de tolerancia a aluminio fitotóxico (Alt) proviene de una línea donante perteneciente al germoplasma de trigos generados en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), para el caso de este estudio las nuevas líneas generadas son cultivares descendientes de la variedad Pandora-INIA. (Dubcovsky, 2006). Las líneas desarrolladas deben retener los altos potenciales de producción, adaptación y calidad de las líneas elite utilizadas en su creación, de modo que la evaluación del impacto de los genes sea lo más simple y directa posible.

En este sentido, Ribaut y Hoisington (1998), argumentan que la transferencia se realizó en base a retrocruzamientos asistidos por marcadores moleculares, cada ciclo de retrocruzamientos se procedió en dos etapas, preselección y selección.

2.12.- Desarrollo de líneas o cultivares de alta tolerancia al aluminio fitotóxico.

Actualmente se está estudiando la identificación de genes relacionados con la tolerancia a Al³⁺, los que pueden estar presentes en germoplasma cultivado de trigo y/o en sus parientes silvestres. Con el objetivo de identificar la presencia de genes de tolerancia a Al³⁺ se evaluó la respuesta de los cultivares de trigo, Kumpa-INIA, Pandora-INIA, Tukan-INIA, Chínese Spring,

la línea Car3911 y el cultivar Carazihno (testigo tolerante), en soluciones nutritivas suplementadas con 0, 5, 10, 15, 20 y 40 μM de Al^{3+} . La tolerancia se estimó midiendo la longitud de la raíz y se expresó como crecimiento relativo radical (CRR). La línea Car3911, resultó ser la más tolerante y se utilizó como padre donante de genes de tolerancia (Michelmore *et al.*, 1991). La recuperación del genoma del padre recurrente en las líneas tolerantes a Al^{3+} , se efectuó utilizando la metodología de retrocruzas avanzadas y selección asistida por marcadores moleculares (MAS-BC). Para determinar los porcentajes de recuperación del padre recurrente se utilizó la metodología de genotipo gráfico (“Graphical Genotype”).

El primer gen de Tolerancia al Aluminio perteneciente a dicha familia, se identificó en trigos tolerantes, es un gen que codifica para un transportador de malato activado por Al^{3+} (*TaALMT1*) (Sasaki y col. 2004). Este gen se ha localizado en el brazo 4DL de trigo (Raman y col., 2005). Estos estudios han reafirmado la relación entre la exudación de ácido málico y la tolerancia al aluminio, estimada como el crecimiento relativo de la raíz obtenidos por Raman y col, 2007). Aunque la expresión del gen *TaALMT1* es un factor importante para la tolerancia al aluminio, no es el único, las diferencias en la expresión génica explican solamente la mitad de las diferencias observadas en la tolerancia (Raman y col. 2007). Existen múltiples evidencias genéticas que indican la existencia de otros factores, además del gen *TaALMT1*, que influyen en la tolerancia al aluminio. Sin embargo, el componente de la varianza debido a factores genéticos (la heredabilidad de la tolerancia al aluminio) en las poblaciones utilizadas para la construcción de mapas no se ha calculado. Sin embargo, resultados recientes en trigo mediante estudios de asociación genómica empleando una gran cantidad de cultivares y marcadores moleculares, ponen de manifiesto la existencia de muchos locis distribuidos en diferentes cromosomas de trigo (1A, 1B, 2A, 2B, 2D, 3A, 3B, 4A, 4B, 4D, 5B, 6A, 6B, 7A y 7B) que contribuyen a la exudación de malato y que, explican una parte importante de la variabilidad para lo tolerancia al aluminio en esta especie (Raman y col 2010).

Hasta el momento, la única forma en que se ha logrado mayor tolerancia al aluminio para cultivar trigo en suelos de pH bajos es a través de marcadores moleculares. Los biotecnólogos han logrado introducir alelos a genes, como el alelo *TaALMT1* presente en la línea CAR3911,

incorporado al cultivar Pandora-INIA de alto potencial de rendimiento y que es uno de los cultivos estudiados en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

3.- MATERIALES Y MÉTODO

3.1.- Localización

La investigación de este trabajo se realizó a base de dos ensayos en el Centro Regional de Investigación INIA Carillanca, ubicado en la IX Región, Provincia de Cautín, Comuna de Vilcún, uno de los ensayos fue sembrado en dicho centro experimental, el otro fue ubicado en suelos con una alta saturación de aluminio y pH ácido, ubicado en la localidad de Gorbea, faja IV en el predio Santa Ana, coordenadas 39°06´ S – 72°37´ O´, 96 msnm, del agricultor José Miguel Sabugo, el ensayo se realizó bajo la investigación del Centro Región de Investigación INIA Carillanca, por el Programa de Trigo, durante la temporada 2012-2013, del cual los análisis de rendimiento medidos en (qqm/ha), fueron realizados en el Laboratorio del Programa Trigo en INIA Carillanca.

3.2.- Material vegetal

El material vegetal utilizado:

Pandora - INIA es un trigo de primavera (*Triticum aestivum* L.) creado por el Proyecto Trigo del Centro Regional de Investigación Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile, a partir de un cruzamiento efectuado en 1989. Es un trigo semi-enano con una altura de planta de 90 a 95 cm. El grano es de color marrón y con una forma oval. En ensayos su rendimiento ha variado entre 75-100 qqm/ha. Este material es utilizado como base de los nuevos cultivares en el presente estudio. (Mellado, Madariaga; 2002).

Los materiales experimentales correspondieron a 6 cultivares utilizándose como padre la variedad Pandora-INIA a través de una metodología de introgresión de genes resistentes a la saturación de aluminio fitotóxico y pH ácido generándose así los siguientes cultivares y/o Líneas

experimentales, junto a ello se utilizaron como testigos 4 variedades de trigo ya establecidas en el mercado cada una con diferentes rendimientos y adaptaciones agroclimáticas dentro de la región

TABLA N°3: Cultivares utilizados en el presente estudio la simbología utilizada en la posterior discusión de resultados.

CULTIVARES EXPERIMENTALES	SIMBOLOGIA
Pandora alelo I, Sensible Al. (testigo)	C1
Pandora alelo V, Tolerante Al.	C2
Pandora alelo VII, Tolerante Al.	C3
Pandora alelo V, Tolerante Al.	C4
Pandora alelo VII, Tolerante Al.	C5
Pandora alelo I, Sensible Al. (testigo)	C6
CULTIVARES TESTIGOS	SIMBOLOGIA
Pantera-INIA.	C7
Pandora-INIA.	C8
Kípa-INIA.	C9
Dalcahue-INIA	C10

3.3.- Características Edafológicas del sitio de ensayo.

El suelo corresponde a serie Gorbea, presenta pH ácido (4,8) y alto contenido de aluminio intercambiable (0,9 cmol+/kg), la textura va de franco arenosa hasta franco arcillosa y el color paulatinamente pasa a pardo amarillento. Tienen un alto poder para retener agua y muy buena permeabilidad. Presenta una erosión moderada de manto y se observan zanjas sólo ocasionalmente (DGA, 2004).

TABLA N° 4: **ANÁLISIS DE SUELO LOCALIDAD DE GORBEA.**

ANALISIS DE SUELO	
Muestra N°: 260277	Predio: Santa Ana José M. Sabugo
Agricultor: Claudio Jobet F.	Localidad: Gorbea
Potrero : 0-20 cm	Suelo: Trumao
RESULTADOS DEL ANÁLISIS	
Fosforo (ppm): 17 Alto	CICE (cmol+/kg): 3,98 muy bajo
M. Orgánica (%): 13 Media	Al saturación (%): 18,1 Muy alto
pH al H ₂ O : 4,7 muy acido	Cobre (ppm): 1,25 Muy alto
pH CaCl ₂ :4,5	Hierro (ppm): 73,85 Muy alto
Calcio (cmol+/kg): 2,56 bajo	Manganeso (ppm): 5,95 Muy alto
Magnesio (cmol+/kg): 0,18 Muy bajo	Zinc (ppm): 0,54 Medio
Sodio (cmol+/kg): 0,08 Muy bajo	Boro (ppm): 0,19 Muy bajo
Potasio (cmol+/kg): 0,44 Medio	Azufre (ppm): 7,29 Bajo
Suma de bases (cmol+/kg): 3,26 Bajo	Nitrógeno (ppm): 160 Muy alto
Al Inter. (cmol+/kg): 0,72 Alto	

Resultados de este análisis de suelo presenta principalmente un alto (%) de saturación de aluminio, donde se adjunta Tabla N° 5, para observar valores recomendables para siembra de

trigo en situaciones donde este cultivo no presente mayores problemas al inminente estrés expuesto.

TABLA N° 5: Categorías de nivel de disponibilidad de nutrientes en suelos destinados a siembra de trigo, según análisis de suelo.

ANÁLISIS	CATEGORÍA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
pH en agua 1:2,5	< 5,5	5,5 - 6,0	> 6,0
N-NO ₃ disponible, mg/kg	0 - 20	21 - 35	> 35
P Olsen, mg/kg	0 - 10	11 - 20	> 20
K disponible, mg/kg	0 - 99	100 - 180	> 180
Materia orgánica, %	< 5	5 - 12	> 12
Ca intercambiable cmol(+)/kg	< 5	5 - 9	> 9
Mg intercambiable, cmol(+)/kg	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
Na intercambiable, cmol(+)/kg	< 0,20	0,20 - 0,30	> 0,30
Al intercambiable, cmol(+)/kg	< 0,25	0,25 - 0,50	> 0,50
Suma bases intercambio, cmol(+)/kg	< 0,60	6,0 - 10,0	> 10,0
Saturación aluminio, %	< 0,5	5,0 - 10,0	> 10,0
S-SO ₄ extractable, mg/kg	< 10,0	10,0 - 16,0	> 16,0
Fe, mg/kg	< 2,5	2,5 - 4,5	> 4,5
Mn, mg/kg	< 0,5	0,6 - 1,0	> 1,0
Zn, mg/kg	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
B, mg/kg	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
Cu, mg/kg	< 0,3	0,3 - 0,5	> 0,5

Fuente: MANUAL DE RECOMENDACIONES CULTIVO DE TRIGO, 2011. Elaborado a partir de la información del Laboratorio de Diagnóstico Nutricional de INIA. Cmol (+)/Kg= meq/100 g. Si los centimoles se quieren expresar en partes por millón, se debe multiplicar por diez veces el número atómico del elemento considerado

3.4.- Superficie del ensayo.

Las parcelas tuvieron una superficie de 2 m de largo y 0,8 m de ancho (4 surcos a 0,2 m) cada parcela tuvo una superficie total de 1,6 m², con un total de 40 parcelas.

3.5.- Tratamientos

De cada cultivar y variedades utilizadas como testigos en el ensayo experimental se repitió 4 veces cada una de ellas por ello hubo 40 parcelas divididas, distribuidas al azar. (Diseño bloques completo al azar).

3.6.- Manejo agronómico del ensayo

3.7.1.- Preparación de suelo.

El suelo se preparó mediante labranza convencional, realizándose un barbecho químico con glifosato (1lt/ha), posteriormente se realizó una pasada de arado subsolador para romper el pie de arado, luego una pasada de arado cincel, una pasada de rastra Tándem, y una pasada de vibrocultivador. Finalmente se emparejó el terreno con rastrillo de forma manual para así generar las condiciones óptimas para una buena germinación y posterior desarrollo fenológico de los ensayos en estudio.

3.7.2.- Siembra

La siembra se efectuó el 28 de agosto de 2012 de forma manual. La dosis de semilla utilizada fue de 200 kg/ha. Las hileras se realizaron con surcador manual ajustable a una distancia de 0,20 m, cada parcela con un surco muerto.

3.7.3.- Fertilización

El ensayo en general se le aplicó una fertilización a la siembra (28 de agosto 2012) de CAN 27, Sulpomag y Muriato en una mezcla de 100 kg/ha, además de Superfosfato (300 kg/ha) y Falcon (6lts/ha) como herbicida preemergente.

La primera aplicación de urea se realizó el (11 de septiembre 2012) con una dosis de 250 kg/ha.

La segunda aplicación de urea se realizó (el 5 de octubre 2012) con una dosis de 150 kg/ha, además se agregó una aplicación de herbicidas en una mezcla de Vulcano (80g/ha) ovassión (200g/ha), pirimor (200 g/ha), twin 24s (125cc/ha).

El 7 de diciembre 2012 se aplicó Cycocel (3lt/ha) mezclado con Juwel (1 lt/ha), además de realizar la tercera aplicación urea con una dosis de 100 kg/ha.

3.7.4.- Cosecha

La cosecha del ensayo se efectuó el día 6 Marzo 2013 a través de corte manual utilizando hechonas y posteriormente utilizando la maquina estacionaria para extraer la semilla para su posterior análisis.

3.7.5.- Evaluaciones

Se cosechó cada una de las parcelas sin eliminar surcos ni cabeceras así se obtuvo el rendimiento completo de cada una de ellas.

3.7.5.1.- Rendimiento por hectárea.

El grano cosechado fue pesado en una balanza electrónica de 0,5 gramos de precisión, para posteriormente traducir los rendimientos a (qgm/ha). Cuyos rendimientos obtenidos se utilizaron para realizar los respectivos análisis estadísticos través del software JMP (SAS) versión N°8, sigla que proviene de la abreviación de “Statistical Analysis System”, (SAS Institute Inc., 2012a).

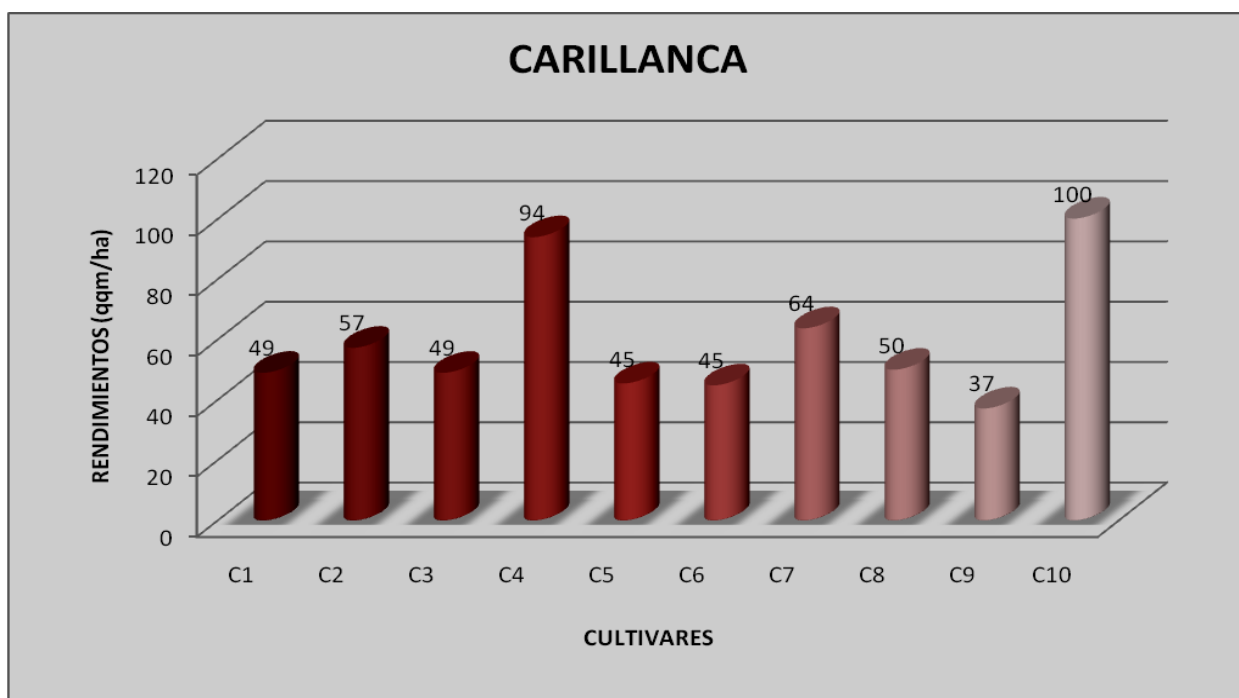
4.- PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se darán a conocer los resultados de rendimientos de cultivares con resistencia a la saturación de aluminio fitotóxico en dos localidades con distintos niveles de acidez de suelo, una de ellas es en el Centro Regional de Investigación INIA Carillanca, ubicado en la IX Región, Provincia de Cautín, Comuna de Vilcún, donde el suelo presenta problemas de acidez para la siembra de trigo, muy por el contrario de lo que ocurre en los suelos de en la localidad de Gorbea, faja IV, coordenadas 39°06' S – 72°37' O', 96 msnm. A través de gráficos de barra se mostraran rendimientos (qqm/ha) de cada de una de las localidades, junto a ello se explicaran cada una de las tablas generadas por la interpretación del software utilizado en los análisis estadísticos.

4.1.- Rendimientos (qqm/ha) ensayo realizado en INIA Carillanca.

En el grafico N°1 se presentan los rendimientos (qqm/ha) de 10 cultivares distintos utilizados en el ensayo sembrados en la estación experimental INIA Carillanca cuya característica de suelo presenta niveles normales acidez de suelo.

GRAFICO N°1: Rendimientos (qqm/ha) localidad de Carillanca.



De los 10 cultivares presentados en el grafico N° 1, los primeros 6 cultivares son materiales experimentales de los cuales 4 de ellos presentan alelos de resistencia y 2 cultivares sensibles a la saturación de aluminio fitotóxico en el suelo utilizados igualmente como testigos, los siguientes 4 cultivares son variedades utilizadas igualmente como testigos, a diferencia de los de los materiales experimentales estas variedades ya están establecidas en el mercado, es por ello que permitirán hacer una comparación de rendimientos, considerando su alto potencial.

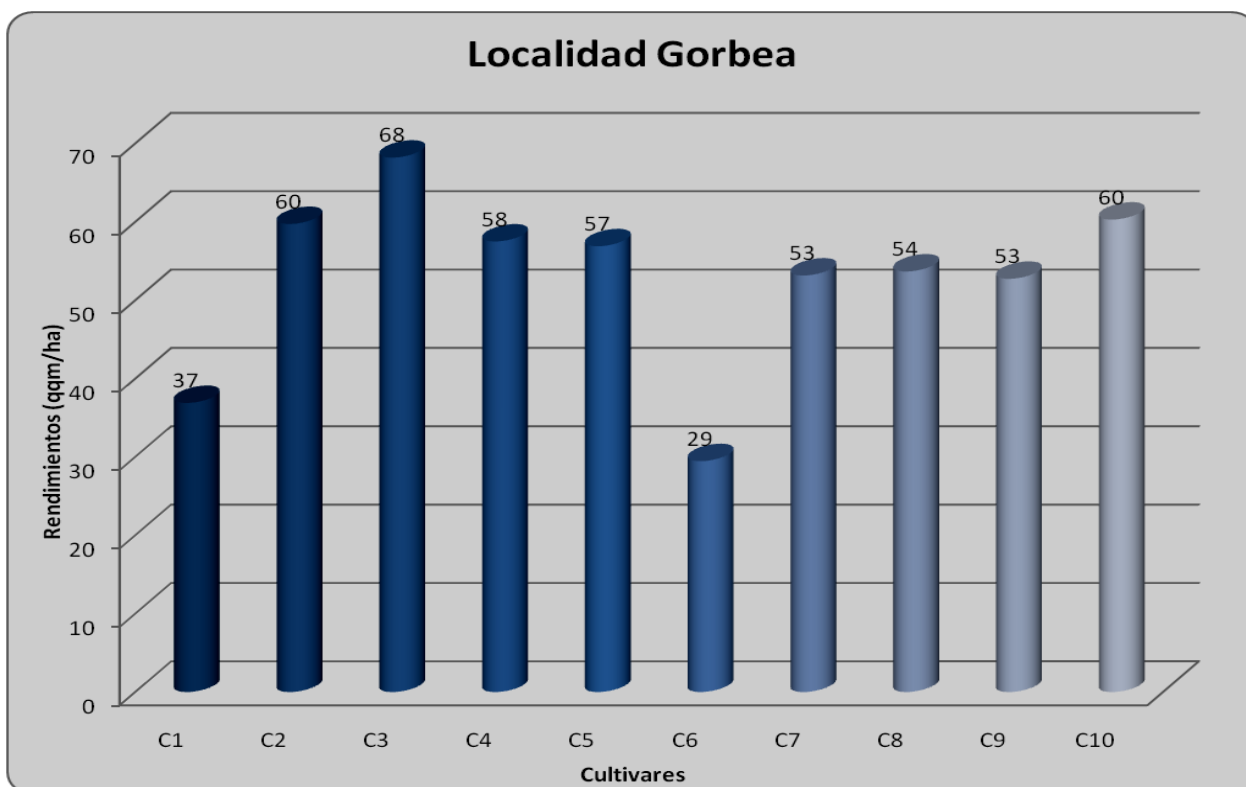
Entre los cultivares que poseen resistencia a la acidez de suelo, el cultivar C4 demostró expresar un potencial de rendimiento importante, alcanzando 94 (qqm/ha), mientras que el cultivar C2 muestra como rendimiento un 57 (qqm/ha) muy por debajo del cultivar C4. Del mismo modo los cuatro cultivares restantes alcanzaron un promedio de 47 (qqm/ha).

Sin embargo, los cultivares utilizados como testigos muestran rendimientos considerables, en donde se destaca el cultivar C10 obtuvo un 100 (qqm/ha). Así como también destaca el cultivar C7, con un rendimiento de 64 (qqm/ha). Cabe destacar que el cultivar C8 muestra un rendimiento de 50(qqm/ha), el cual se utilizó como base genética de los materiales experimentales con resistencia al aluminio fitotóxico, siendo que el cultivar C4 el de mayor rendimiento, demostrando que los genes de resistencias a la saturación de aluminio fitotóxico en este tipo de suelo pueden ser efectivos.

4.2.- Rendimientos (qqm/ha) ensayos realizado en la localidad de Gorbea.

En el grafico N° 2 se presentan los rendimientos (qqm/ha) de 10 cultivares distintos utilizados en el ensayos sembrados en la localidad de Gorbea, cuya característica de suelo presenta niveles altos de saturación de aluminio fitotóxico.

Grafico N°2. Rendimientos (qqm/ha) localidad de Gorbea



De los 10 cultivares presentados en el grafico N°2, los materiales experimentales utilizados en este ensayo, cultivares C2, C3, C4, C5 poseen resistencia a la saturación de aluminio fitotóxico, los cultivares C1 y C6 son testigo, los 4 cultivares restantes son variedades utilizadas igualmente como testigos en este estudio, para permitir una comparación de rendimientos, considerando su alto potencial y comportamientos a la acidez de suelo explicadas anteriormente.

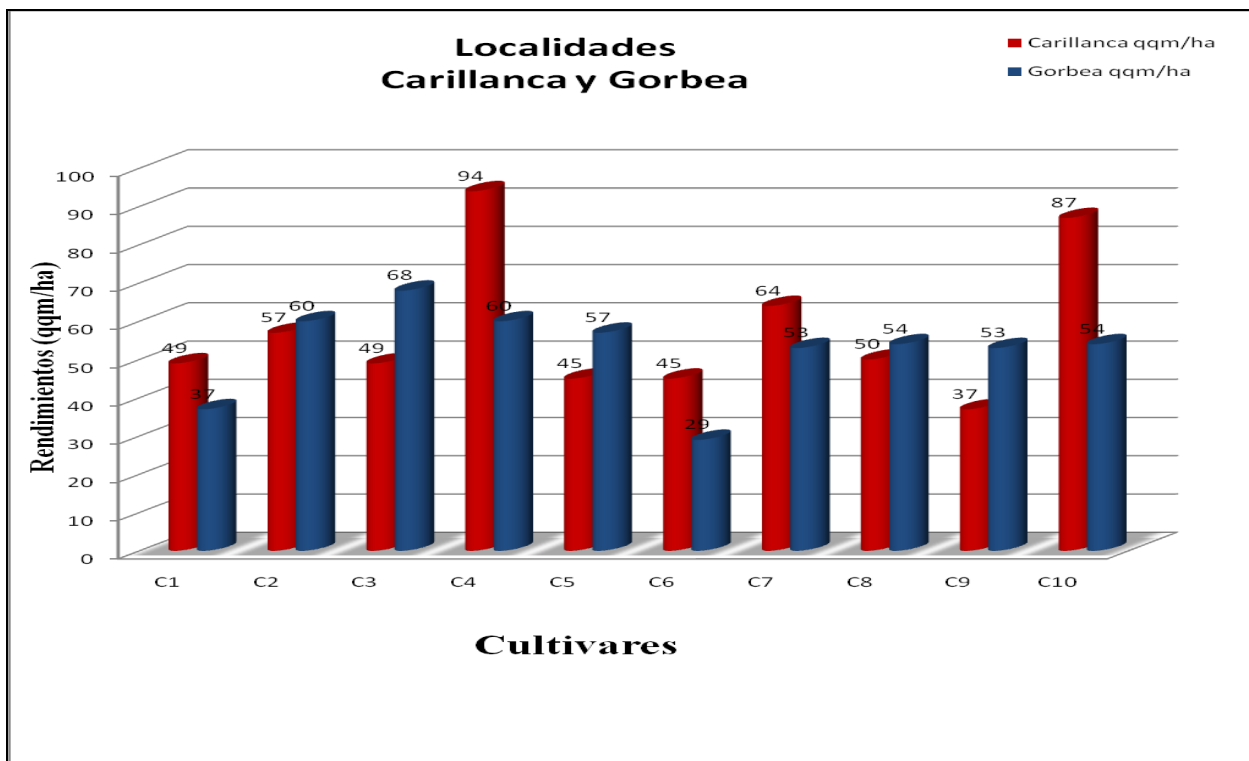
Entre los cultivares que se utilizaron para medir resistencia a la saturación de aluminio fitotóxico a través de rendimientos expresados en (qqm/ha), el cultivar C3 demostró tener un potencial importante a la resistencia de saturación de aluminio fitotóxico, alcanzando los 63 (qqm/ha), mientras que los cultivares C2, C4, C5, muestran rendimientos muy parecidos entre ellos de 60, 58, 57 (qqm/ha) respectivamente, sin embargo sus rendimientos están por debajo del cultivar C3 el cual según su comportamiento muestra mayor tolerancia a la saturación de aluminio considerando que su rendimiento es más alto medido en (qqm/ha). No obstante los

cultivares restantes C1, C6 alcanzaron rendimientos de 37 – 29 (qqm/ha) muy por debajo de los cultivares ya comentados demostrando de esta forma la sensibilidad al estrés a la alta saturación de aluminio fitotóxico en el suelo ya que no portan los alelos de tolerancias a diferencias de los cultivares C2, C3, C4, C5.

Sin embargo, las variedades testigos de esta investigación muestran rendimiento muy parecidos entre ellos, pero menores a lo obtenido por el cultivar C3 esto se podría llegar a deducir que en suelos con alta saturación de aluminio fitotóxico existentes en la Novena Región puede llegar a afectar el rendimiento final de cualquier cultivar que no posea mayores tolerancias a la acidez de suelo alta saturación de aluminio fitotóxico, y se podría asumir que este comportamiento está relacionado con la presencia de uno de estos alelos de tolerantes a la acidez.

4.3.- Comparación de rendimientos a través de gráficos de dos localidades con características de suelo muy distintas.

Grafico N°3: Rendimiento (qqm/ha) de dos localidades.



En el grafico N° 3, se muestran los rendimientos en (qqm/ha) de ambas localidades Carillanca y Gorbea, demostrando que los cultivares tolerantes y testigos utilizados en esta investigación difieren considerablemente su comportamiento en ambas localidades demostrando que los rendimientos (qqm/ha) obtenidos por cada cultivar son muy distintos entre sí en cada una de la localidades estudiadas.

Ahora bien observando los rendimientos (qqm/ha) de los cultivares C3, C4 tolerantes a la saturación de aluminio fitotóxico, demuestran que podrían llegar a desarrollarse sin mayores problemas en suelos con altos niveles de acidez.

4.4.- Análisis estadístico realizado a base de diseño de parcelas divididas en dos localidades.

Para realizar este tipo de análisis estadístico se considera que (A) es el factor asignado a la Localidad, y el factor (B), asignado a los Cultivares de trigos. Es por ello que la interpretación de datos obtenidos en los ensayos fueron analizados a través de el software estadístico JMP (SAS) versión N°8, sigla que proviene de la abreviación de “Statistical Analysis System”, (SAS Institute Inc., 2012a).

A partir de los análisis estadísticos realizados nace la figura N°4, destacando que existen diferencias significativas importantes observándose un mínimo porcentaje de error estadístico entre los distintos Cultivares utilizados en esta investigación independientemente al comportamiento de las Localidades utilizadas. Del mismo modo, se observa que la interacción realizada entre Localidad y Cultivares genera diferencias estadísticas significativas mostrándose y destacándose en la siguiente tabla anova.

Tabla N°6: Tabla ANOVA

Interacciones	F Ratio	Prob > F
Localidad	0,4808	0,5140
Cultivar	7,1839	<,0001*
Localidad*Cultivar	5,2514	<,0001*

Prob > F Variables predictoras.

Como la tabla anova muestra diferencias significativas tanto en el (Cultivar) por sí solo y como en la interacción (Localidad * Cultivar), se hace necesario interpretar la interacción mayor, que en este caso en particular corresponde a (Localidad* Cultivar) es por ello que en la siguiente tabla se muestran los resultados a través de Pruebas de Tukey donde una o más letras en común son estadísticamente iguales según se observa en Figura N°10.

Tabla N°7: Pruebas de Tukey localidad de Gorbea y Carillanca

Interacciones de cultivares							
Carillanca	C 4	a					
Carillanca	C 10	a	b		D	e	
Gorbea	C 3	a	b	c			
Carillanca	C 7		b	c	D	e	f
Gorbea	C 10	a	b	c	D		f
Gorbea	C 2	a	b	c	D		f
Gorbea	C 4	a	b	c	D		f
Gorbea	C 5	a	b	c	D		f
Carillanca	C 2		b	c	D	e	f
Carillanca	C 6		b	c	D	e	f
Gorbea	C 8	a	b	c	D	e	f
Carillanca	C 1		b	c	D	e	f
Gorbea	C 7		b	c	D	e	f
Carillanca	C 5		b	c	D	e	f
Gorbea	C 9	a	b	c	D	e	f
Carillanca	C 3		b	c	D	e	f
Carillanca	C 8		b	c	D	e	f
Carillanca	C 9			c			f
Gorbea	C 1				D	e	f
Gorbea	C 6					e	

Pruebas Tukey P< 0,05 -. Muestra que combinaciones conectadas por una o más letras en común son estadísticamente iguales.

- Los Cultivares C 2, C 3, C 4, C 5, C 8, C 9, sembrados en la Localidad de Gorbea son estadísticamente iguales entre sí ya que están enlazados por la letra (a), del mismo los cultivares C4 y C 10, sembrados en INIA Carillanca estadísticamente son iguales entre y además son muestran similitud estadística con los Cultivares sembrados en la Localidad de Gorbea.

- Por el contrario a lo que ocurre con el Cultivar C4 sembrado en INIA Carillanca y el Cultivar C6 sembrado en Gorbea donde claramente su diferencia estadística es distinta haciéndose evidente ya que sus letras de enlaces son totalmente distintas siendo (a) y (e) respectivamente.

4.5.- Análisis estadístico realizado a base de diseño de parcelas divididas en localidad de Gorbea.

Tabla N°8: Tabla ANOVA

INTERACCION	F Ratio	Prob > F
Localidad	0,4808	0,5140
Cultivar	4,4694	0,0001*

Prob > F Variables predictoras.

Como se observa en la tabla anova si existen diferencias significativas entre los cultivares utilizados en la localidad de Gorbea, se hace necesario interpretar los resultados a través de Pruebas de Tukey donde una o más letras en común son estadísticamente iguales como se muestra en la Tabla N°9.

Tabla N°9: Pruebas de Tukey

Localidad	Cultivares			
Gorbea	C 0,4	a		
Gorbea	C 10	a	b	

Gorbea	C 0,3	a	b	C
Gorbea	C 0,2	a	b	C
Gorbea	C 0,7	a	b	C
Gorbea	C 0,5	a	b	c
Gorbea	C 0,8		b	C
Gorbea	C 0,9		b	C
Gorbea	C 0,1		b	C
Gorbea	C 0,6			C

Pruebas Tukey $P < 0,05$ -. Muestra que combinaciones conectadas por una o más letras en común son estadísticamente iguales.

- En la Tabla N°9, se observa que el comportamiento de cada uno de los materiales utilizados en esta investigación medidos a través de rendimientos (qqm/ha) difieren entre sí en la localidad de Gorbea generándose diferencias estadísticas significativas entre ellos, del cual podemos destacar la diferencia estadística que genera el cultivar C4 donde se puede asumir que este comportamiento esta relacionado con la presencia de unos de los alelos de tolerancia a la acidez y alta saturación de aluminio fitotóxico, es por ello que estos cultivares pueden llegar a generar una opción real a los agricultores que permanentemente están propensos a establecer sus semillas en suelos con estos niveles de estrés permanente para sus cultivos.

- Sin embargo, los demás cultivares solo muestran una marcada diferencia estadística con el cultivar C6, siendo este uno de los materiales utilizados sin la presencia de alelos de tolerancia a la acidez y alta saturación de aluminio fitotóxico, demostrando que los alelos utilizados en los materiales en estudio de alguna u otra forma se comportan de acuerdo a las características de los suelos en el cual se establecen los cultivares, considerándose la alta saturación de aluminio fitotóxico presentadas en este sitio.

5.- CONCLUSIÓN

El trigo es el cultivo más importante en lo que corresponde a cereales en Chile, en términos de volumen, superficie y valor económico de la producción, presentando una particular gravitación en las regiones VII, VIII, IX y X, sin embargo la condición ambiental que más seriamente limita la productividad de trigo son los suelos ácidos, los cuales se ubican en el centro-sur y sur, del país, zona donde se siembra el 75% de la superficie nacional destinada a este cereal, no obstante, pese números esfuerzos realizados en nuestro país, para mejorar los rendimientos (qqm/ha) y combatir el estrés que representan principalmente los suelos ácidos en general aun no se generan herramientas efectivas.

Sin embargo, el desarrollar materiales tolerantes a la alta saturación de aluminio fitotóxico y además realizar un manejo agronómico consiente y responsable de lo que aporta y extraen cada uno de los cultivares sembrados, genera una opción real para los agricultores que presentan altos grados de acidez de suelo para sus cultivares, por ello que en este estudio se evaluaron 10 cultivares, donde 4 de ellos presentan tolerancias a la saturación de aluminio y los cultivares restantes se utilizaron como materiales testigos en dos localidades con características de suelos muy distintas como son las localidades de Gorbea y Carillanca, siendo Gorbea la localidad que no se realizo ninguna corrección a la acidez de suelo considerando su alto (%) de saturación de aluminio lo que difiere considerablemente a las características utilizadas en el suelo de Carillanca, del cual al observar los resultados obtenidos en rendimientos de (qqm/ha) se determina que los cultivares tolerantes mostraron diferencias significativas al compararlos con los cultivares testigo.

No obstante, al comparar los rendimientos (qqm/) entre localidades solo dos cultivares tolerantes C3, C4 respectivamente mostraron mayor resistencia a dicho estrés de suelo reflejándose en valores muy por encima de sus pares en esta investigación, así nos demuestra que estos cultivares pueden llegar a generar una opción real para el futuro.

Sin embargo al generar una comparación de todos cultivares entre si, en cada una de las localidades por sí sola, no se generan diferencia significativas en los cultivares tolerantes, pero si se muestra diferencias entre cultivares tolerantes y testigos.

6.- RESUMEN

El trigo (*Triticum aestivum*) perteneciente a la familia de las gramíneas, es una especie ampliamente cultivada en el mundo cuyos granos, contienen principalmente almidón, proteínas, agua, y en menor proporción grasas, minerales, celulosa y vitaminas, el objetivo esencial de su producción es el rol alimenticio de primer orden y el aporte nutritivo a la alimentación humana, es consumido en diversas formas por más de dos mil millones de personas y su contribución en calorías y proteínas a la dieta diaria es mayor a la que aporta cualquier otro alimento.

Su importancia radica en su grano, conformado por tres partes esenciales: el germen o embrión; el endosperma, en el que se encuentran los dos componentes más importantes de la harina: el gluten y el almidón; y la envoltura del grano o pericarpio

Sin embargo en Chile, la condición que más seriamente limita la productividad de trigo son los suelos ácidos, los cuales se ubican en el centro-sur y sur del país, zona donde se siembra el 75% de la superficie nacional destinada al cultivo de este cereal.

La acidificación es un proceso natural que ocurre muy lentamente en los suelos con alta pluviometría como consecuencia de la lenta pero constante pérdida de bases.

El síntoma inicial de la toxicidad de aluminio en trigo es la disminución de la longitud de las raíces, las que son pocas desarrolladas, engrosadas, endurecidas, con escasas ramificaciones laterales, en tanto que las hojas muestran un color amarillento y con tendencia a secarse prematuramente.

Para disminuir la incidencia del problema, este país ha estado utilizando en la última década una estrategia de corrección de pH mediante cal y el desarrollo de cultivares tolerantes al aluminio fitotóxico.

No obstante, los bajos niveles productivos logrados indicaron la necesidad de reenfocar la

estrategia hacia una mayor tolerancia genética en nuevos cultivares de trigo. En Chile, solo ocasionalmente se han lanzado al mercado variedades de trigo de características sobresalientes en cuanto a tolerancia al aluminio fitotóxico y rendimiento del cual se hace necesario a muy corto plazo la forma de generar y potenciar el desarrollo de creación de nuevos cultivares con mayor tolerancia a al estrés provocado por la acidez de suelo.

7.- SUMMARY

Wheat (*Triticum aestivum L*) belonging to the grass family, is a widely cultivated species in the world whose grains contain mostly starch, protein, water, and, less fats, minerals, cellulose and vitamins, the essential objective of their food production is the role of the first order and the nutrition for human consumption, is consumed in various forms for more than two billion people and its contribution in calories and protein to the diet is greater than that provided by any other food.

Its importance lies in its grain, consist of three essential parts: the germ or embryo, the endosperm, which are the two most important components of flour: gluten and starch, and the shell of the grain or pericarp

However, in Chile, the condition more seriously limits the productivity of wheat are acidic soils, which are located in the south-central and south, planted area where 75% of the national area planted to this cereal.

Acidification is a natural process that occurs very slowly in soils with high rainfall as a result of the slow but steady loss of bases.

The initial symptom of toxicity of aluminum in wheat is the decreased length of the roots, which are few developed thickened hardened with few lateral branches, whereas leaves showing a yellowish color and tendency to dry prematurely .

To reduce the incidence of the problem, this country has been using in the last one decade pH correction strategy using lime and development phytotoxic aluminum-tolerant cultivars.

However, the low production levels achieved indicated the need to refocus the strategy towards greater tolerance gene in wheat new cultivars. In Chile, only occasionally have launched wheat varieties outstanding characteristics in terms phytotoxic aluminum tolerance and performance which is necessary in the very short term way to build and enhance the development of creating new cultivars with greater tolerance to the stress caused by soil acidity.

8.- BIBLIOGRAFIA

- Aniol A. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). *Plant Soil* 1990; 123 (2): 223-227.
- Borie F, y Gallardo A, 1999. Sensibilidad y tolerancias de especies y cultivares a condiciones de acidez.
- Carbonell, C. Cereales: 1999 El trigo en el mundo y las posibilidades de su producción en Chile http://www.odepa.gob.cl/articulos/MostrarDetalle.action?Idn=17_03&idcla=2&idcat=2&idclase= .
- Campillo R. 1993. Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros
- Curtis BC. 2002. Wheat in the world. In: Bread Wheat. Improvement and Production. Curtis BC, Rajaram S, Gomez-Mcpherson H (eds). Pp 1-17. FAO. Rome Italy.
- Delhaize E, Ryan PR, Randall PJ. Aluminium tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) II. Aluminium stimulated excretion of malic acid from root apices. *Plant Physiol.* 1993; 103 (3): 695-702.
- Delhaize E, Ryan PR. Aluminium toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiol.* 1995; 107 (2): 315-321.
- Gallardo, f, Borie, f, Alvear, M. AND. e. Von Baer. 1999. Evaluation of aluminum tolerance of three barley cultivars by two short-term screening methods and field experiments. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45: 713-719.
- Gil, J. 2001. Comparación de los procedimientos GLM y MIXED del SAS® para analizar diseños de parcelas divididas con bloques al azar. *Zootecnia Tropical (Venezuela)*. 19 (1): 43 – 58. Disponible en <http://www.bioline.org.br/request?zt01004>. Consultado el 21 de diciembre de 2012.

- **Guía de uso Cal Agrícola 4º Edición www.soprocal.com**
- **Hacke, E- Auger, J; 2009 Enfermedades del trigo y otro cereales-1º Edición Santiago: LOM Ediciones, 2009. 256p.**
- **Jobet, C - López X. 2002. Comunicación personal. Granotec. Santiago, Chile. <http://www.tattersall.cl/revista/Rev192/pan.htm>**
- **Little, T y Hills, F. 2002. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Segunda edición. Editorial Trillas. México, D. F., México. 270 p.**
- **López, 1993. Análisis del gradiente edáfico *Cienc. suelo* [online]. 2007, vol.25 pp. 53-63. Disponible en: <<http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sciarttext&pid>.**
- **Los suelos de Chile, Acidez de los suelos de Chile <http://www.santillana.cl/qui1/quimica1u5e7-acidez.htm>**
- **Mellado, M, Madariaga, R. 1998. Pandora-INIA, nuevo cultivar de trigo harinero de primavera para Chile Pandora-INIA, new spring bread wheat cultivar for Chile.**
- **Mellado M. 1998. Análisis del cultivo del trigo en Chile durante el siglo veinte. Agricultura Técnica (Chile). 58: 230-240**
- **Mellado, M., R. Madariaga, y D. Granger. 2000. Opala-INIA, nueva variedad de trigo de primavera para la Zona Centro Sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 60:415-418.**
- **Mellado, M., R. Madariaga, 2002. PANDORA - INIA, nuevo cultivar de trigo harinero de primavera para Chile. New spring bread wheat cultivar for Chile. Agricultura Técnica (Chile).**
- **Mellado M. 2000. Mejoramiento de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) en la zona centro sur de Chile. II. Análisis del rendimiento y variables asociadas en trigos de primavera. Agricultura técnica (Chile). 60 (1): 32 – 42**

- Mellado, M. 2004. *Boletín de trigo 2004 manejo tecnológico*. Instituto de Investigación Agropecuarias. Chillán. Boletín INIA N° 114.
- Mellado, M. 2007. *El Trigo en Chile. Cultura, Ciencia y Tecnología*. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu.
- MORA, María de la Luz, ALFARO, Marta, WILLIAMS, Prue *et al.* Efecto de la aplicación de fertilizantes sobre la acidificación del suelo en relación con el crecimiento y la composición química de una pradera y la producción animal. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, jun. 2004, vol.4, no.1, p.29-40. ISSN 0718-2791.
- Oettler G, Geiger R, Wiethölter S, Gaus CS, Hesemann CU, Horst WJ. *Methodische und genetische Untersuchungen zur Aluminium tolerant von Triticale*. *Vortr Pflanzenzüchtg* 1997; 38: 41-56.
- Pinilla H. Universidad de La Frontera, Temuco-Chile. **ACIDEZ DE SUELO Y ENMIENDAS CALCAREAS EN CERO LABRANZA**.
- Slafer G., Andrade F. y Feingold S. 1990. *Genetics improvement of bread wheat (Triticum aestivum) in Argentina: relationships between nitrogen and dry matter*. *Euphytica*. 50: 63-71.
- Suarez F, 1994. *Uso de cales y fertilizantes en praderas de la zona sur*. P: 39-65. *Producción animal*. Universidad Austral de Chile.
- SUAREZ F., Domingo. *Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas*. *Agric. Téc.* [online]. 2005, vol.65, pp. 55-64.
- Zúñiga, 2013. *Comunicación personal*.
- Sadzawka, A., y R. Campillo, (1993). *Problemática de la acidez de los suelos de la IX Región. Génesis características del proceso*. *Investigación y progreso agropecuario*. 12(3): 3-8.