

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**EFFECTO DE LA FORMA DE APLICACIÓN Y DOSIS DE POTASIO, EN  
LA PRODUCCIÓN DE TRIGO ( *Triticum aestivum*. L. ) Y SU EFECTO EN  
LA DISPONIBILIDAD DEL NUTRIENTE EN UN SUELO ANDISOL, DE  
LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.**

Tesis de grado 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.

**HELMUTH RENÉ ARAVENA BUXTON**  
**TEMUCO – CHILE**  
**2010**

**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES**



**EFFECTO DE LA FORMA DE APLICACIÓN Y DOSIS DE POTASIO, EN  
LA PRODUCCIÓN DE TRIGO ( *Triticum aestivum*. L. ) Y SU EFECTO EN  
LA DISPONIBILIDAD DEL NUTRIENTE EN UN SUELO ANDISOL, DE  
LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.**

Tesis de grado 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.

**HELMUTH RENÉ ARAVENA BUXTON**  
**PROFESOR GUÍA: HERNÁN PINILLA QUEZADA**  
**TEMUCO – CHILE**  
**2010**

**“EFECTO DE LA FORMA DE APLICACIÓN Y DOSIS DE POTASIO, EN LA PRODUCCIÓN DE TRIGO ( *Triticum aestivum*. L. ) Y SU EFECTO EN LA DISPONIBILIDAD DEL NUTRIENTE EN UN SUELO ANDISOL, DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA”**

**Profesor guía**

**: HERNÁN PINILLA QUEZADA**

Ingeniero Agrónomo. M. Sc.

Depto. de Producción Agropecuaria.

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.

Universidad de La Frontera.

**Profesor consejero**

**: HECTOR SANHUEZA ROA**

Ingeniero Ejecución Agrícola.

Depto. de Producción Agropecuaria

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales.

Universidad de La Frontera.

**Calificación**

**:**

*“SACRIFICIO Y ESFUERZO PARA TODA UNA VIDA”  
DEDICADO CON AMOR A MIS PADRES Y HERMANO,  
PARTÍCIPES EN EL LOGRO DE ESTA META.*

## AGRADECIMIENTOS

*Deseo agradecer a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de mi tesis, especialmente a mis padres y hermano, los pilares de mi vida, quienes han estado conmigo en todo momento y me entregaron su apoyo incondicional.*

*A mi tutor Hernán Pinilla Quezada, no sólo por confiar en mí y entregarme sus conocimientos, sino también por los consejos brindados a lo largo de este trabajo de investigación.*

*Al Profesor Héctor Sanhueza Roa, por brindarme su apoyo, responder todas mis inquietudes y asesorar el valioso trabajo de campo, previo a escribir mi tesis. También quiero agradecer a todos los integrantes del equipo de fertilidad de suelos, y al personal del Campo Experimental Maquehue de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera.*

*Finalmente a mis amigos y familiares que me han brindado su apoyo y compañía, y por sobre todo a Dios por todo lo bueno que me ha dado.*

*...muchas gracias*

## ÍNDICE DE MATERIAS

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Hipótesis.</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo General.</b>	<b>2</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos.</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Fisiología del potasio en la planta.</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Potasio en el suelo.</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>Deficiencia de potasio en cereales.</b>	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>Perdidas de potasio en el suelo.</b>	<b>6</b>
<b>2.5</b>	<b>Efecto de la forma de aplicación del potasio.</b>	<b>6</b>
<b>2.6</b>	<b>Extracción de potasio por el cultivo.</b>	<b>7</b>
<b>2.7</b>	<b>Efecto del potasio en el rendimiento.</b>	<b>9</b>
<b>2.8</b>	<b>Captación del potasio según condiciones ambientales.</b>	<b>10</b>
<b>2.9</b>	<b>Niveles relativos de potasio en el suelo.</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Ubicación del ensayo.</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Antecedentes climáticos.</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Diseño experimental.</b>	<b>14</b>

<b>3.4</b>	<b>Manejo agronómico.</b>	<b>14</b>
<b>3.5</b>	<b>Evaluaciones.</b>	<b>16</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Rendimiento de grano.</b>	<b>16</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Potasio intercambiable.</b>	<b>16</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Análisis estadístico.</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Efecto en el rendimiento de grano.</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Disponibilidad de potasio en el suelo.</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>30</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El trigo (*triticum aestivum L.*), es fuente primaria de alimentación y uno de los cereales más cultivados en el mundo. A nivel nacional, el trigo es el cultivo de mayor superficie, alcanzando en la temporada 2008/2009 las 281.786 ha., de las cuales el 39.7% son sembradas en la Región de La Araucanía, con un rendimiento promedio de 44,8 qqm/ha (ODEPA, 2009).

En la búsqueda de un sistema productivo que maximice la rentabilidad y producción, la nutrición vegetal es el factor más importante a considerar, representa el 47% de los costos de producción, según ODEPA (2009). Por esta razón, es importante ajustar la fertilización a los reales requerimientos del cultivo con el objeto de mejorar su rentabilidad.

En Chile existen pocos trabajos tendientes a determinar el efecto del potasio en el rendimiento de las nuevas variedades de trigo. El potasio junto al nitrógeno y fósforo son los nutrientes más demandados por este cultivo, sin embargo, las nuevas variedades podrían tener requerimientos y eficiencias de absorción de potasio diferentes a las variedades precedentes.

El potasio es un elemento esencial para las plantas, se encuentra en todos sus órganos y se moviliza fácilmente, cumple un rol importante en la activación enzimática de varios procesos metabólicos como fotosíntesis y síntesis protéica, tiene incidencia sobre el balance hídrico y el crecimiento meristemático de las plantas (Mengel y Kirby, 1987). La deficiencia de este elemento aumenta la vulnerabilidad a enfermedades y reduce la resistencia a condiciones de estrés como sequías y heladas.

Algunos autores señalan que debido a la extracción y pobre reposición, en las condiciones normales de manejo del suelo, es muy frecuente encontrar suelos con niveles bajos de potasio en el sur de Chile. Por lo tanto es necesario estudiar la respuesta del trigo a distintas dosis de potasio y el impacto que genera en el suelo, la extracción de éste nutriente por el cultivo.

### **1.1 Hipótesis:**

- La forma de aplicación y dosis de potasio afectan el rendimiento del cultivo y la disponibilidad del nutriente en el suelo.

### **1.2 Objetivo general:**

- Evaluar el efecto de la forma de aplicación y dosis de potasio sobre la producción de trigo y la disponibilidad del nutriente en el suelo.

### **1.3 Objetivos específicos:**

- ❖ Evaluar el efecto de dos formas de aplicación de potasio en el rendimiento de grano.
- ❖ Determinar el efecto de distintas dosis de potasio en el rendimiento de grano, en un suelo con  $203 \text{ mg kg}^{-1}$  de potasio intercambiable.
- ❖ Determinar la disponibilidad de potasio intercambiable del suelo, en distintas etapas fenológicas del cultivo.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1 Fisiología del potasio en la planta.**

El potasio forma parte de los llamados macroelementos, aquellos que son requeridos en cantidades elevadas por la planta. Este elemento ingresa a la planta en forma de catión  $K^+$ , único catión monovalente esencial para el desarrollo vegetal y como tal, lo podemos encontrar en la fracción soluble de la célula vegetal (Raven y Marsh, 1975). Se trasloca fácilmente desde las partes viejas de la planta hasta los tejidos meristemáticos, razón por la cual los síntomas de deficiencia se vuelven visibles primero en las hojas viejas, mostrando alteraciones como clorosis en los bordes y entre nervios, debilitamiento de tallos y raíces, mientras que en casos más severos se advierte la presencia de tejido muerto (Barceló, 1988).

Según Mengel y Strakebel (1995) el potasio cumple un rol importante en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos, los cuales desencadenan variados procesos metabólicos, indispensables para la formación de carbohidratos y proteínas.

En el proceso de fotosíntesis, el potasio participa de forma activa en la síntesis de glúcidos e hidratos de carbono, favorece la movilidad de estas sustancias y la acumulación en ciertos órganos de reserva. Además disminuye la transpiración de la planta, al ser un elemento regulador del cierre y apertura de los estomas. Es importante destacar su función osmoreguladora, que al acumularse en las raíces de las plantas, genera un gradiente osmótico que permite el movimiento vertical del agua e incrementa la resistencia a enfermedades radiculares (Mortvedt y Cox, 1994).

### **2.2 Potasio en el suelo.**

El potasio es un constituyente abundante y vastamente distribuido en las rocas superficiales de la tierra, se encuentra mayoritariamente en minerales clasificados como feldespatos y micas. La mayor porción del potasio presente en el suelo es componente estructural de estos minerales y no está disponible para el crecimiento vegetal (Zubillaga, 1994).

Según Goulding (1987), debido a diferencias en los materiales parentales del suelo y el efecto de la erosión sobre estos materiales, el contenido de potasio suministrado por los suelos dista mucho de una zona a otra.

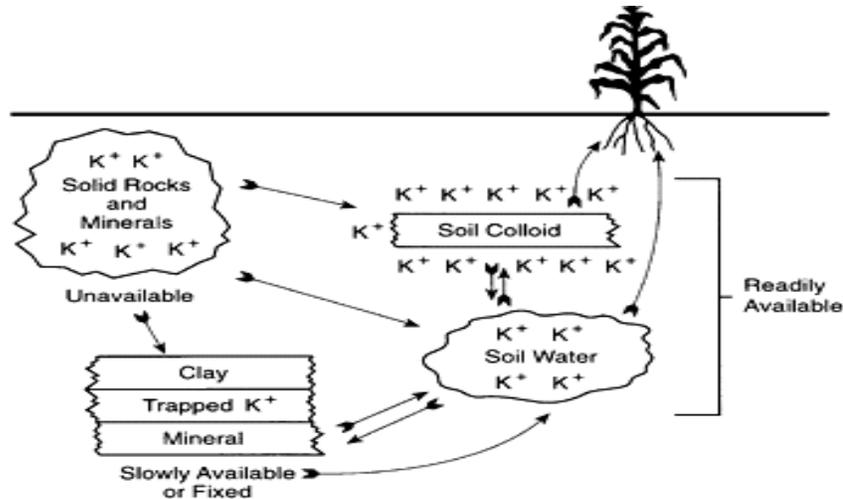
Rich (1968) y Rehm y Schmitt (2002) señalan que existen tres formas de potasio presentes en el suelo; K no disponible, K intercambiable y K en solución.

Según Conti, *et al.*, (2001) el K de la solución del suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma instantánea, pero las cantidades presentes son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total del suelo se encuentra en esta forma. Las plantas en crecimiento rápidamente extraen el K de la solución del suelo, pero a medida que el K es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por las formas menos accesibles, ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo. El proceso de adsorción-desorción es el responsable de reponer y equilibrar la concentración de K de la solución del suelo.

Varios autores señalan que al pasar de una forma a otra, la tasa de conversión se ve afectada por factores como la absorción radicular, la aplicación de fertilizantes potásicos, la humedad y temperatura del suelo, entre otras alteraciones en el ambiente.

Las reservas de K en el suelo dependen fundamentalmente de la cantidad y calidad de las arcillas presentes en el suelo. El término arcilla se refiere a las partículas minerales más pequeñas del suelo, menores a dos micrones de diámetro formadas en el proceso de edafogénesis, a partir de las alteraciones químicas en los minerales de las rocas que originan los suelos (Conti, *et al.*, 2001).

Ghosh y Bhattacharya (2006) presentaron una descripción de las formas de potasio en el suelo y su relación en el sistema suelo-planta, el cual se presenta en la figura 1, este modelo es concordante a lo señalado anteriormente por Bergmann (1992) quien asegura que el potasio en el suelo se presenta en las formas anteriormente señaladas, este autor además indica que el contenido de potasio en la litosfera sería cercano al 1,6 %.



**Figura 1.** Relación entre las formas de potasio en el sistema suelo-planta.

Según Rich (1968) la mayor parte del potasio del suelo, entre un 90 – 98 %, se encuentra en formas no aprovechables por las plantas, formando parte de las redes cristalinas de los minerales primarios como son los feldspatos y las micas, porción que se conoce como potasio no disponible o de reserva. Según Rehm y Schmitt (2002) entre 1 - 10 % del potasio total, corresponde a formas lentamente asimilables o de intercambio, las cuales se encontrarían formando parte de los minerales secundarios, mientras que entre 1 – 2% del potasio total, corresponde a formas rápidamente asimilable o en solución.

### 2.3 Deficiencia de potasio en cereales.

Marschener (1998) señala que si el suministro de potasio en el cultivo de trigo es deficiente, el crecimiento se atrofia y los rendimientos se reducen. Varios esfuerzos de investigación han demostrado que el potasio estimula el crecimiento temprano, aumenta la producción de proteínas, y mejora la resistencia a la sequía y enfermedades, factores de gran importancia en la producción de cultivos rentables.

Devlin (1980) y Barceló (1988) coinciden en que el primer síntoma de deficiencia de K es la aparición de clorosis, dando paso posteriormente a hojas con bordes y puntas secas. Los síntomas son parecidos a la deficiencia de magnesio, nitrógeno y fósforo, pero se centran mayoritariamente en los bordes de las hojas. Varios autores señalan que el análisis foliar de los tejidos es la medida más útil para identificar y confirmar las deficiencias de potasio. Raven y Marsh (1975) señalan que plantas deficientes en potasio muestran una disminución del turgor y se estresan producto del déficit hídrico. En el trigo, la deficiencia de potasio puede resultar en entrenudos más cortos, debilitamiento de tallos, y un crecimiento más lento. Según Mengel y Kirby (1987) un déficit de potasio en estadios iniciales del desarrollo vegetativo, no solo retarda la producción de materia verde, sino que incide fuertemente en los componentes de rendimiento, debido a que el llenado de granos depende sustancialmente del nivel de potasio absorbido antes de floración.

#### **2.4 Pérdidas de potasio en el suelo.**

Según Conti *et al.*, (2001) las pérdidas de potasio del suelo pueden realizarse por tres medios; lixiviación, erosión y extracción de los cultivos. En determinadas circunstancias el potasio presente en el suelo puede lixiviarse, al aplicar cantidades altas del fertilizante en suelos de texturas gruesa, que tienen muy poca arcilla, que lo retengan (Rehm y Schmitt, 2002). La erosión, ejerce presión sobre el sistema trasladando coloides por medio del agua y el viento, mientras que no menor es la tasa de extracción de los cultivos, que en algunos casos alcanza valores muy elevados.

#### **2.5 Efecto de la forma de aplicación del potasio.**

Rehm y Schmitt (2002) plantean que las formas de aplicación del potasio varían según el cultivo. Hay una mayor probabilidad de éxito en el establecimiento de cultivos perennes como alfalfa y gramíneas, al aplicar fertilizantes potásicos antes de la siembra, seguido de aplicaciones parcializadas, basadas en resultados obtenidos de las pruebas de rutina de K para el suelo.

Según Tandon y Sekhon, (1988) la recomendación común en cereales, es aplicar la dosis completa de potasio en la banda de siembra al inicio del cultivo, sin embargo cuando la capacidad de intercambio catiónico del suelo es baja y el drenaje en el suelo es excesivo, la aplicación total a la banda de siembra pierde eficiencia, haciendo necesario un suministro parcializado hasta el fin del desarrollo vegetativo. De igual forma en suelos de textura gruesa, la aplicación parcializada de potasio alcanza una mayor eficiencia debido a la reducción de la lixiviación.

Kolar y Grewal (1989) reportaron un aumento del rendimiento entre 200 y 250 kg ha<sup>-1</sup> en experimentos con arroz y trigo, haciendo uso de aplicaciones parcializadas, en comparación con una aplicación única de potasio a la siembra. Del mismo modo, en un suelo franco arenoso, Singh and Bhandari (1995) en un estudio realizado en Gurgaon, India, informaron una ventaja de rendimiento de 440 - 490 kg de grano ha<sup>-1</sup> en trigo, por la aplicación dividida de potasio en comparación con una sola aplicación.

Rehm y Schmitt (2002) plantean que en cereales de grano pequeño, el potasio puede ser aplicado en una banda cerca de la semilla en el momento de siembra o en cobertera. Sin embargo cuando se aplica en una banda, la recomendación de potasio puede ser menor, sin causar una merma del rendimiento.

## **2.6 Extracción de potasio por el cultivo.**

Dibb y Thompson, (1985) señalaron que la extracción de K por el cultivo dependerá principalmente del rendimiento esperado, a mayor rendimiento, mayor demanda de nutrientes por el cultivo. Este aumento de la demanda se debe a una mayor cantidad de materia seca formada y no a un aumento de la concentración del elemento en planta.

Según Leigh (1989) el potasio en los cereales se encuentra normalmente en un rango de 1 a 4 % de la materia seca (MS), pudiendo alcanzar más del 8 % en algunos casos.

Durante la germinación, los nutrientes son transportados por el flujo del floema hacia las raíces, o brotes, alcanzando entre 0,4 y 1,0 % de potasio en relación a la materia seca. Según

Swya y Kafkafi (2000) esta cantidad es suficiente para la germinación y el establecimiento inicial, pero es insuficiente para mantener el crecimiento por un período más largo. Iniciado el período vegetativo, el trigo y otros cereales requieren altas cantidades de potasio, que en algunos casos es mayor que la demanda de nitrógeno y fósforo.

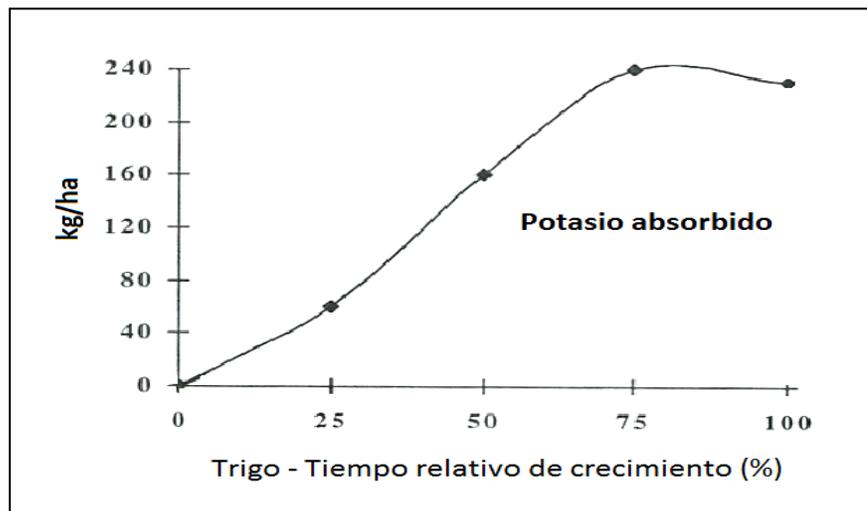
Para Kafkafi y Xu (1999) la mayoría de los cultivos anuales de grano requieren potasio en los primeros estadios de crecimiento, mientras que la máxima absorción se verifica durante el período reproductivo.

La extracción de potasio en trigo, puede variar desde 40 kg ha<sup>-1</sup> a más de 200 kg ha<sup>-1</sup> dependiendo del nivel de rendimiento (Beaton y Sekhon, 1985).

Según Kafkafi y Halevy (1974) la acumulación máxima de K en las partes aéreas del trigo se encuentra cerca del momento de la floración, mientras que las tasas máximas de absorción ocurren al comienzo de la elongación de la macolla principal, cuando la mayor parte de las hojas están todavía verdes y expandiéndose. Coincidentemente Dixit (2004) sostiene que en el período de pre antesis, la absorción de potasio es superior que en post antesis, aun así, la absorción es constante durante toda la fenología del cultivo.

Hocking (1994) señala que antes de antesis se acumula cerca del 75% de todo el potasio absorbido por el cultivo y en esta etapa son los tallos los que acumulan la mayor proporción de este elemento. Para Lawron y Cook, citado por Swya y Kafkafi (2000) durante la antesis se observa la redistribución de elementos inorgánicos, y una baja en el contenido de potasio total dos semanas después de la espigadura, seguida por un pequeño aumento de la absorción de potasio durante un corto período, hasta finalmente descender hacia a la madurez.

En la figura 2 se observa la curva sigmoidea característica, que representa la acumulación de potasio en el trigo. La curva alcanza su mayor pendiente entre fin de macolla y comienzo de floración, decreciendo hacia la madurez, no obstante los requerimientos de potasio cambian según el cultivar, sin embargo las curvas siguen la misma tendencia.



**Figura 2:** Absorción de potasio en el tiempo relativo de crecimiento del trigo.

## 2.7 Efecto del potasio en el rendimiento.

Según varios autores, el potasio mejora el rendimiento y las variables de calidad en las plantas superiores. Koch y Mengel (1977) atribuyen el aumento de rendimiento en los cereales a la reducción de macollos improductivos por efecto del aumento en las dosis de  $K_2O$ .

Jabbar *et al.*, (2009) en un estudio realizado en Okara, Pakistán, durante dos años consecutivos para estudiar el efecto del K en el rendimiento de trigo, evaluaron aplicaciones de 0, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 kg de  $K_2O$ , con una dosis base de 100 - 100 kg  $ha^{-1}$  de N y  $P_2O_5$  respectivamente en un suelo con 130 mg  $kg^{-1}$  de potasio intercambiable. Las características agronómicas y rendimiento de grano mejoraron significativamente tras la adición  $K_2O$ . El mayor rendimiento de grano se obtuvo con la aplicación de 75 kg de  $K_2O$ , alcanzando un rendimiento 8,6% superior en comparación con el control, muy similar al obtenido con 100 kg de  $K_2O$ , sin embargo en dosis superiores el rendimiento se mantuvo constante debido al limitado suministro de N y  $P_2O_5$ .

Contanzo (1997) estudió diferentes dosis de potasio en trigo, en un suelo Andisol con baja cantidad de potasio de intercambio, equivalente a  $55 \text{ mg kg}^{-1}$ , en el cual se aplicó una fertilización base de  $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$  e igual cantidad de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Las evaluaciones correspondían a dosis de 0, 44, 88 y  $132 \text{ kg de K}_2\text{O}$ . Como resultado se obtuvo que el rendimiento de grano con  $44 \text{ kg de K}_2\text{O}$  fuera un 23,6% superior que el control, además determinó que no existían diferencias significativas, entre las dosis de 88 y  $132 \text{ kg de K}_2\text{O}$ , con un rendimiento 43,9% superior que el control.

Tariq y Shah (2002) evaluaron la respuesta de la fertilización potásica en trigo, en un suelo con  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  de potasio intercambiable, con dosis de 0, 30, 60, 90, 120 y  $150 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$  y una fertilización base de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Estos autores concluyen que con  $60 \text{ kg de K}_2\text{O}$  se obtuvo el mayor rendimiento,  $5,5 \text{ qqm ha}^{-1}$  más que el control, aun cuando el nivel de potasio presente en el suelo era suficiente para el desarrollo del cultivo.

## **2.8 Captación del potasio según condiciones ambientales.**

Rehm y Schmitt (2002) afirman que la captación de potasio por las plantas se ve afectada por varios factores. Un índice mayor de humedad en el suelo por lo general significa una mayor disponibilidad de potasio, y según sus investigaciones por este motivo habría mayor respuesta a la fertilización potásica en períodos secos, debido a que las sequías reducen la absorción de K. No obstante los procesos fisiológicos de la planta se incrementan a medida que aumenta la temperatura del suelo, situación que conduce a una mayor absorción mineral. Asimismo aseguraron que la temperatura óptima del suelo para la absorción fluctúa entre  $15,5$  y  $26,6^\circ \text{ C.}$ , y que la captación de potasio se reduce a bajas temperaturas de suelo. Marques *et al.*, (1996) señala que en las distintas fracciones del suelo, el contenido de potasio disponible varía a través de las distintas etapas del año.

## 2.9 Niveles relativos de potasio en el suelo.

Peyrelongue (1985) clasifica los niveles de potasio intercambiables (cuadro 1) de acuerdo a la disponibilidad y respuesta a la fertilización para cultivos de cereales en La Región de La Araucanía, haciendo la siguiente distinción.

**Cuadro 1:** Niveles relativos de los valores de análisis de suelo para potasio intercambiable en los suelos de La Araucanía.

<b>K Intercambiable mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>Disponibilidad de Ki</b>	<b>Respuesta a la Fertilización</b>
39 - 120	Baja	Altamente Probable
121- 235	Media	Poco Probable
236 - 391	Alta	Muy poco Probable
Mayor 391	Muy Alta	Nula

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1 Ubicación del Ensayo.

El ensayo se realizó durante la temporada agrícola 2008-2009 en el Campo Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera, ubicado a 11 km. al sur oeste de Temuco, Región de La Araucanía, Chile. La posición geográfica a la cual se hace referencia, corresponde a los 38°50'29.46" latitud Sur y 72°41'48.13" longitud Oeste, en un suelo trumao Andisol correspondiente a la serie Freire (Mella y Kühne, 1985), bajo condiciones de secano y cuyas características químicas se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Características químicas del suelo, profundidad 0-20 cm.

Análisis	Valor
Fósforo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	18
Potasio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	203
pH (en agua)	5,91
Materia Orgánica (%)	16
K ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	0,52
Na ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	0,39
Ca ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	7,52
Mg ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	1,31
Al ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	0,04
Saturación de Al (%)	0,41
CICE ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	9,76
S. Bases ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	9,74
B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0,58
Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0,9
S ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	9,0

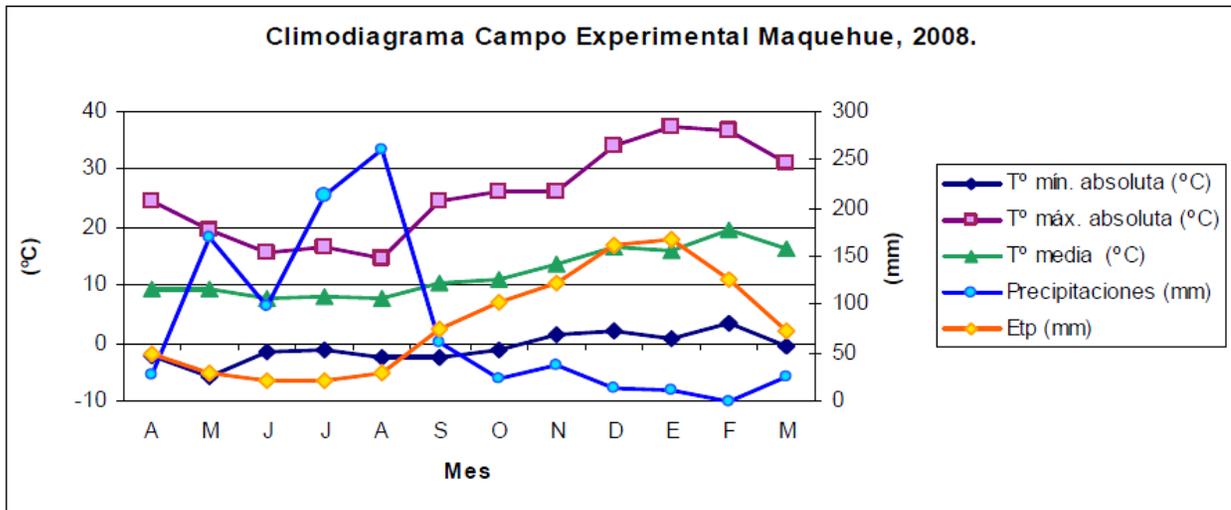
**Fuente:** Laboratorio de análisis químico de suelos y plantas. Instituto de Agroindustria, Universidad de La Frontera.

### 3.2 Antecedentes Climáticos.

El Campo Experimental Maquehue, presenta marcadas variaciones estacionales, definiéndose meses fríos, templados y cálidos. Sus características climáticas son de tipo templado lluvioso con influencia mediterránea y con estación seca corta. El período libre de heladas al igual que el de déficit hídrico, se extiende entre los meses de diciembre y febrero, (Rouanet *et al.*, 1988).

Las temperaturas medias en el período invernal son cercanas a 6 °C, mientras que en época estival alcanzan un promedio de 18 °C, con una media anual que tiende a los 12 °C. El mayor volumen de agua caída se concentra entre los meses de mayo y agosto, mientras que la pluviometría anual alcanza un promedio de 1.100 mm, (Dirección Meteorológica de Chile, 2003).

En la figura 3, se incluye el climodiagrama de la temporada 2008-2009 y los promedios de temperatura y precipitaciones para esta localidad. En el anexo 1, se detallan algunas de las variables climáticas de la temporada en estudio.



**Figura 3.** Climodiagrama Campo Experimental Maquehue, temporada 2008 - 2009.

**Fuente:** Dirección Meteorológica de Chile, y estación meteorológica Campo Experimental Maquehue.

### 3.3 Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño de bloques completos distribuidos al azar (Little y Hills, 1973). Para los tratamientos se realizaron cuatro repeticiones en factorial 2x3, en parcelas de 12 m<sup>2</sup>, con un total de 24 parcelas. Se estudiaron dos formas de aplicación, y se evaluaron tres dosis de K<sub>2</sub>O como se detalla en el cuadro 3.

**Cuadro 3:** Tratamientos y subtratamientos

Tratamientos	Subtratamientos kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>
Surco	0 kg K <sub>2</sub> O
	50 kg K <sub>2</sub> O
Voleo	100 kg K <sub>2</sub> O

### 3.4 Manejo Agronómico.

La siembra se realizó el 19 de julio de 2008 con una sembradora Planet Cole de una unidad de siembra. Se utilizó el cultivar Porfiado-Baer, perteneciente a la especie *Triticum aestivum* L., el cual corresponde a un trigo de hábito de crecimiento invernal – alternativo que alcanza una altura entre 90 – 100 cm, de espigas sin barbas, blancas, semi compactas y grano de color rojizo.

Se emplearon 160 kg de semilla por hectárea, desinfectada con Teflutrina (Force 20 CS) en dosis de 125 cc de producto comercial por cada 100 kg de semilla y Tebuconazole (Raxil 060 FS) con dosis de 50 cc de producto comercial por cada 100 kg de semilla.

Los seis tratamientos recibieron una fertilización base aplicada al surco de siembra como se indica en el cuadro 4. Es importante señalar que del nitrógeno aplicado, un 50% provenía de una fuente nítrica.

**Cuadro 4:** Fertilización al surco de siembra.

<b>Nutriente</b>	<b>kg/ha</b>
Nitrógeno	30
Fósforo	179
Calcio	46
Boro	2

Los productos comerciales utilizados en la mezcla de siembra fueron Fosfato monoamónico, Superfosfato triple, Salitre sódico y Boronat, mientras que para la fertilización potásica se utilizó Cloruro de potasio.

La fertilización restante se completó con 90 kg de nitrógeno aplicados al estado Z21 de la escala Zadoks, *et al.*, (1974) y 90 kg de nitrógeno en estado Z31, utilizando Supernitro 30 y Urea respectivamente. En total la fertilización nitrogenada alcanzó los 210 kg de nitrógeno por hectárea.

Para el control químico de malezas latifoliadas y gramíneas se utilizó Iodosulfuron-metil-sodio (Husar WG) con dosis de 300 g ha<sup>-1</sup> y metsulfuron metil (Ally WG) con dosis de 4 g ha<sup>-1</sup>, en estado Z14. El control químico de enfermedades fúngicas correspondió a una aplicación preventiva de Prothioconazole y Tebuconazole (Prosaro 250 EC) con una dosis de 800 cc ha<sup>-1</sup> en estado Z21. Se realizó un control químico contra insectos del follaje, debido a un incipiente ataque del áfido *Metopolophium dirhodum*, para ello se aplicó Pirimicarb (Pirimor 50 WG) con dosis de 250 cc ha<sup>-1</sup>, en estado Z21.

Las aplicaciones de herbicida, fungicida e insecticida, se efectuaron con una bomba asperjadora de espalda, de 4 boquillas tipo abanico plano, con gasto de agua de 150 l ha<sup>-1</sup>.

La cosecha se realizó el día 3 de febrero de 2009 con una máquina estacionaria de ensayos, posterior al corte manual de las 6 hileras centrales de cada parcela.

### **3.5 Evaluaciones.**

#### **3.5.1 Rendimiento de Grano.**

Esta variable fue medida en las seis hileras centrales de cada parcela, para evitar anomalías relacionadas con la dinámica poblacional o errores que pudieran suscitarse en los bordes de cada parcela al momento de siembra, aplicaciones de agroquímicos, o agentes abióticos, los cuales pudieran alterar el resultado.

Se cosecharon en forma manual, 36 metros lineales por parcela, los cuales fueron trillados en una máquina estacionaria diseñada para volúmenes bajos de cosecha. Posteriormente las impurezas fueron eliminadas por aireación y una vez limpio el grano, se procedió a pesar. El resultado obtenido fue llevado a  $\text{qqm ha}^{-1}$ , considerando que una hectárea está conformada por 58.823 metros lineales. Los pesos obtenidos corresponden al peso del grano con 14% de humedad.

#### **3.5.2 Potasio Intercambiable.**

Se realizó muestreo de suelo a profundidad 0 – 20 cm, para determinar mediante análisis químico la disponibilidad de potasio intercambiable del suelo, entre tratamientos y en distintas etapas del cultivo. Dicho análisis se realizó por medio de muestras compuestas tomadas de las repeticiones de cada subtratamiento, para ello se tomaron seis submuestras por cada parcela. Los muestreos de suelo se realizaron en la entre hilera del cultivo en los estados: Z23, Z31, Z45, Z57, Z77 de la escala Zadoks y adicionalmente se realizó un muestreo post cosecha, para determinar el nivel de potasio residual.

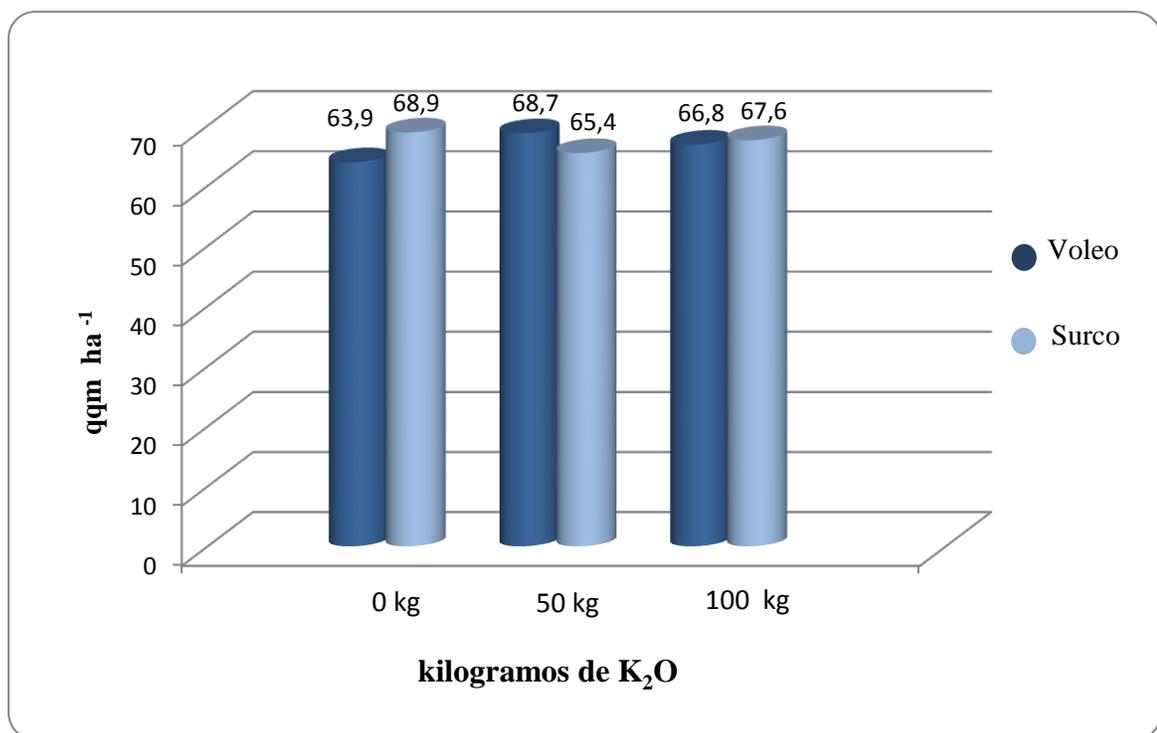
### **3.5.3 Análisis estadístico.**

Los resultados de rendimiento obtenidos en el diseño de bloques al azar, de cuatro repeticiones y constituido por 24 unidades experimentales, fueron evaluados mediante análisis de varianza factorial, con el fin de verificar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Dicho análisis se realizó con el software JMP, Versión 8, con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1 Efecto en el rendimiento de grano.

En la figura 4 se presenta el efecto de la forma de aplicación y dosis de potasio en el rendimiento de grano en un cultivar de trigo.



**Figura 4.** Efecto de la forma de aplicación y dosis de potasio sobre el rendimiento, valores expresados en qqm ha<sup>-1</sup>.

De acuerdo al análisis de varianza (anexo 2), no se produjeron diferencias estadísticas significativas de rendimiento, por efecto de las dos formas de aplicación evaluadas en este estudio. Esta situación sería atribuible al alto nivel de potasio intercambiable presente en el suelo, el cual al momento de siembra alcanzó los 203 mg kg<sup>-1</sup>, situación que coincide con lo señalado

por Rojas (2000), quien asegura que existe una mayor respuesta a la fertilización potásica en el surco de siembra, cuando el índice de disponibilidad en el suelo es bajo, sin embargo a medida que la fertilidad aumenta, la diferencia entre la aplicación al surco de siembra y al voleo desaparece. Es importante señalar que Rojas (2000) y Rehm y Schmitt (2002) advierten que en suelos deficitarios, debe cuidarse el exceso de concentración de sales solubles cerca de la semilla, especialmente en aplicaciones de altas concentraciones de nitrógeno y potasio en el surco de siembra, por su efecto adverso para el desarrollo de la planta.

En cuanto al efecto de las distintas dosis de potasio en el rendimiento de grano, tampoco se produjeron diferencias estadísticas significativas (anexo 2). Los rendimientos obtenidos corresponden a 66,4; 67,0 y 67,2 qqm ha<sup>-1</sup>, por efecto de las dosis de 0, 50 y 100 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> respectivamente. El similar rendimiento entre los tratamientos sería atribuible al alto aporte de potasio otorgado por el suelo. Según Peyrelongue (1985), un suelo con 203 mg kg<sup>-1</sup> de potasio intercambiable, se categoriza en el nivel medio - alto de potasio en el suelo, nivel en el cual es muy poco probable encontrar respuesta a la fertilización potásica. Rodríguez *et al.*, (2001) señala que el nivel crítico de potasio intercambiable es de 110 mg kg<sup>-1</sup>, es decir con niveles superiores no habría respuesta a la aplicación de potasio.

Estudios realizados por Contanzo (1997) y Jabbar *et al.*, (2009), indican que hay un aumento de rendimiento al aplicar potasio en dosis crecientes, en suelos con niveles de 55 y 130 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, situación que difiere con las características químicas de suelo utilizados en este estudio.

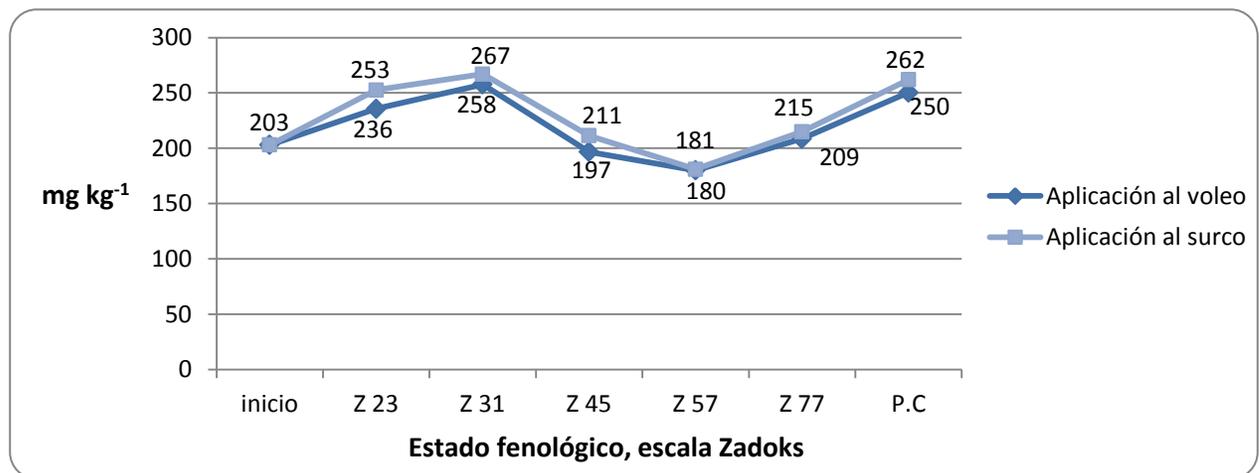
En este experimento, el hecho de no haberse producido diferencias significativas en el rendimiento, por efecto de las distintas dosis de potasio aplicadas, estaría indicando que el nivel de 203 mg kg<sup>-1</sup> de potasio intercambiable, es suficiente para satisfacer los requerimientos de 67 qqm ha<sup>-1</sup>, obtenido como promedio en los subtratamientos.

El bajo rendimiento de grano alcanzado a nivel de ensayo, es atribuible a un importante déficit hídrico, producto de la baja pluviometría, altas temperaturas y elevada evapotranspiración,

en comparación con un año normal (figura 3). Esta limitante fue registrada entre los meses de octubre y diciembre, que coincidió con el período de formación y llenado de grano, provocando un impacto relevante en el rendimiento potencial de la variedad utilizada. Según Doorenbos y Pruitt, (1976) la falta de agua en períodos críticos del cultivo, genera una disminución en los rendimientos o una baja de la productividad en cosecha. Además Rehm y Schmitt (2002) señalan que las sequías tendrían un efecto represor sobre la absorción de potasio en el sistema suelo-planta, debido a que el traspaso de potasio de una forma a otra, sería afectado por el contenido de humedad del suelo. Por este motivo, es recomendable repetir el estudio en una temporada donde las condiciones climáticas permitan que el cultivar exprese su potencial de rendimiento, con la finalidad de evaluar la respuesta de la fertilización potásica a potenciales mayores de productividad.

#### 4.2 Disponibilidad de potasio en el suelo.

En la figura 5, se presenta el efecto de las dos formas de aplicación de potasio en la disponibilidad de potasio intercambiable, en la estrata 0 - 20 cm, en distintas etapas fenológicas del trigo. Los valores presentados para ambas formas de aplicación o tratamientos, corresponden a las medias de los valores obtenidos en cada subtratamiento.



**Figura 5.** Efecto de la forma de aplicación de potasio en la disponibilidad del suelo en distintas etapas fenológicas del trigo. Valores expresados en mg kg<sup>-1</sup>.

En la figura 5, se evidencia una clara similitud en la curva de disponibilidad de potasio intercambiable del suelo, por efecto de las dos formas de aplicación del nutriente. La disponibilidad media de potasio intercambiable, en aplicación al voleo y surco de siembra, corresponden a 219 y 227 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, si bien el valor de potasio intercambiable en la aplicación al surco es levemente superior, respecto a la aplicación al voleo, del punto de vista del suministro para el cultivo, no es relevante. Este resultado se puede explicar por las características químicas de la fuente potásica utilizada en el experimento. El Cloruro de potasio se disocia en iones potasio K<sup>+</sup>, los cuales son retenidos en la zona coloidal de la arcilla y la materia orgánica, mientras que los iones cloruro Cl<sup>-</sup> se lixivian dependiendo de la pluviometría. El Cloruro de potasio es un fertilizante altamente soluble y por tanto se mueve fácilmente en el suelo (FAO e IFA, 2002), razón por la cual en aplicaciones al surco de siembra, se movilizaría sin problemas hacia zonas próximas, por este motivo, la concentración de potasio intercambiable medido para ambas formas de aplicación, en la entre hilera de siembra, fueron similares.

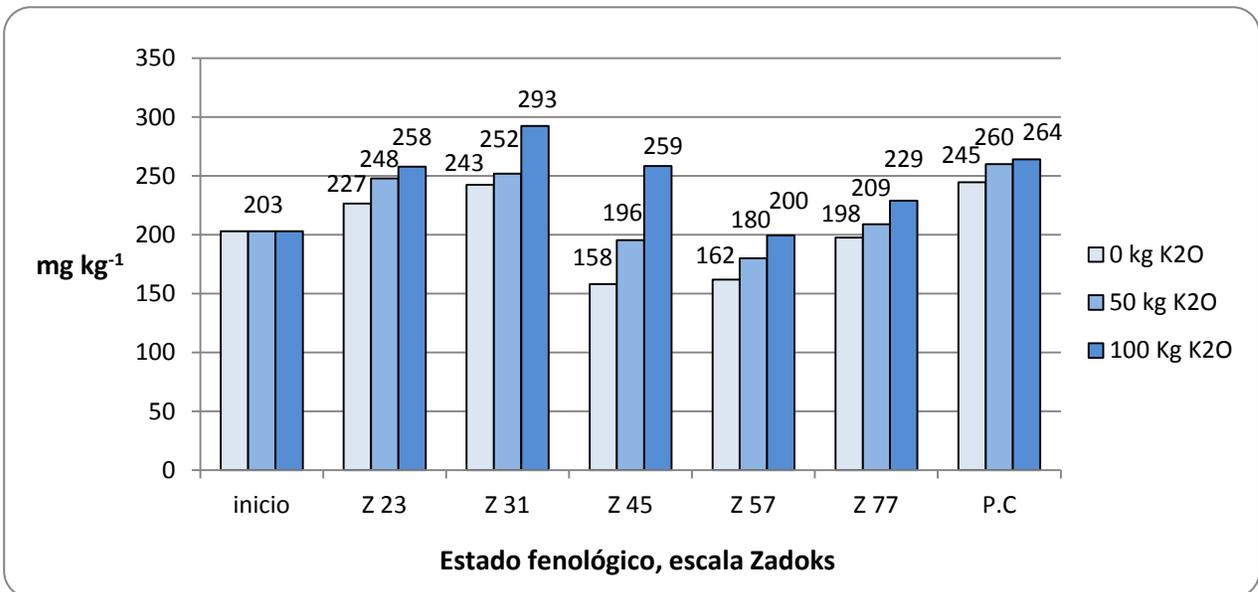
En cuanto al nivel de potasio intercambiable en los distintos estados fenológicos del cultivo, se observa un aumento en la disponibilidad de potasio en el suelo hasta fines del período vegetativo, probablemente favorecido por la condición de humedad generada por las precipitaciones en este período (Figura 3) y la solubilidad de la fuente potásica. Esto coincide con lo señalado por Rehm y Schmitt (2002), quienes indican que un índice mayor de humedad en el suelo, genera una mayor disponibilidad de potasio.

Kafkafi y Xu 1999 señalan que la máxima absorción de potasio se verifica durante el período reproductivo, por este motivo la alta tasa de extracción de potasio, podría ser la causa del descenso del nivel intercambiable en este período. Las raíces del trigo en crecimiento, producirían una rápida disminución en la concentración del nutriente en la solución del suelo cercana a ellas. Esto desencadenaría un proceso de difusión con liberación de potasio intercambiable adsorbido por las cargas de las arcillas y la materia orgánica, hacia formas asimilables por la planta. Lawron y Cook, citado por Swya y Kafkafi (2000), afirman que una vez iniciado el período de crecimiento de grano, comienza a disminuir la tasa de absorción de potasio hacia la madurez, esta situación permitiría que la disponibilidad en el suelo nuevamente

comience a incrementarse, llegando incluso a valores superiores al nivel inicial del suelo, lo cual tendría relación con lo señalado por Rodríguez (1993) y Conti *et al.*, (2001). Ambos autores plantean que cuando la concentración potásica de la solución ha disminuido hasta un mínimo, el mismo es liberado de las interláminas de las arcillas, para reponer el potasio en la solución del suelo que fue extraído, situación atribuible al traspaso de potasio no disponible a formas aprovechables por el cultivo.

Según Rodríguez (1993), la tasa de desorción depende de la energía con que es retenido el potasio en sus diferentes formas. La concentración en la solución y en el pool intercambiable del suelo debe ser bajo para que fluya potasio desde formas no intercambiables a posiciones de intercambio.

En la figura 6 se presenta el efecto de distintas dosis de potasio, en la disponibilidad de potasio intercambiable en la estrata 0 - 20 cm, en distintos estados fenológicos del cultivo. Los valores presentados para las distintas dosis, corresponden a las media de los valores obtenidos en cada tratamiento.



**Figura 5.** Efecto de las diferentes dosis de K<sub>2</sub>O, en el potasio intercambiable en distintos estados fenológicos del cultivo. Valores expresados en mg kg<sup>-1</sup>.

En la figura 6, se puede observar que un aumento del suministro de potasio, produce un incremento en la disponibilidad de K intercambiable en el suelo. Esto concuerda a lo señalado por Rehm y Schmitt (2002), quienes indican que habría una estrecha relación y generalmente directamente proporcional entre las dosis de potasio aplicadas y la disponibilidad en el suelo.

Los valores de potasio intercambiable obtenidos en los muestreos de suelos permitieron determinar que por cada 50 kg de  $K_2O$  adicionado, independiente de la forma de aplicación, se produce un incremento promedio de  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  en el nivel de potasio intercambiable del suelo, bajo las condiciones en que se realizó la investigación.

## 5. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados presentados, y bajo las condiciones en que se desarrolló la investigación, se puede concluir que:

- ✓ No se produjeron diferencias significativas de rendimiento por efecto de la aplicación de potasio al voleo y al surco de siembra.
- ✓ No se produjeron diferencias significativas de rendimiento, atribuible a las diferentes dosis de potasio aplicadas a un cultivar de trigo, en un suelo con  $203 \text{ mg kg}^{-1}$  de potasio intercambiable.
- ✓ La disponibilidad de potasio intercambiable en el suelo, por efecto de la forma de aplicación del nutriente, en los distintos estados fenológicos del cultivo, es similar y sigue la misma tendencia, alcanzando valores promedios de  $219$  y  $227 \text{ mg kg}^{-1}$ .
- ✓ En relación a las dosis de potasio, se produjo un incremento promedio de  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  en el nivel de potasio intercambiable por cada  $50 \text{ kg}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicado.
- ✓ Es recomendable repetir el estudio en una temporada donde las condiciones climáticas permitan que el cultivar exprese su potencial de rendimiento, con la finalidad de evaluar la respuesta de la fertilización potásica a potenciales mayores de productividad.

## 6. RESUMEN.

En un suelo Andisol de La Región de La Araucanía, con  $203 \text{ mg kg}^{-1}$  de potasio intercambiable, se evaluó el efecto de dos formas de aplicación y distintas dosis de potasio en el rendimiento de grano en un cultivar de trigo. La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Maquehue de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, en la temporada agrícola 2008 - 2009.

Se utilizó un diseño factorial  $2 \times 3$ , dispuesto en bloques al azar, con dos tratamientos que correspondían a aplicaciones al voleo y al surco de siembra, y tres subtratamientos con dosis de 0, 50 y 100 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ , con 4 repeticiones.

Las evaluaciones señalaron que no se produjeron diferencias estadísticas significativas de rendimiento por efecto de la forma de aplicación y dosis de potasio, atribuible al alto nivel de potasio presente en el suelo. Los resultados obtenidos en las mediciones de potasio intercambiable en el suelo, para ambas formas de aplicación son similares, alcanzando valores promedios de 219 y  $227 \text{ mg kg}^{-1}$ , en aplicaciones al voleo y surco de siembra respectivamente. Por efecto de las dosis de potasio evaluadas, se concluyó que existiría una estrecha relación entre la dosis de K aplicada y la disponibilidad de K intercambiable en el suelo, con un incremento promedio de  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  en el nivel de potasio intercambiable por cada 50 kg de  $\text{K}_2\text{O}$  aplicado.

## 7. SUMMARY

In a soil Andisol of the Region of La Araucanía, with  $203 \text{ mg kg}^{-1}$  of exchangeable potassium, was evaluated the effect of two forms of application and different doses of potassium in the grain yield of a wheat cultivar. The research was done in the Experimental Station Maquehue of the Faculty of Agricultural and Forest of the Frontera University, during the agricultural season 2008-2009.

In this study was used a  $2 \times 3$  factorial design, arranged in randomized blocks with two treatments corresponding to broadcast applications and the planting furrow and three subtreatments with doses of 0, 50 and  $100 \text{ kg K}_2\text{O}$ , with four replications.

The assessments indicated that there were no statistically significant difference in performance due to the application form and dose of potassium, which is attributable to the high level of potassium in the soil. The results obtained in measurements of exchangeable potassium in soil, for both forms of implementation are similar, reaching average values of 219 and  $227 \text{ mg kg}^{-1}$ , in broadcast applications and planting furrow respectively. The effect of potassium doses evaluated, concluded that there would be a close relationship between the dose of K applied and the availability of exchangeable K in soil, with an average of  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  at the level of exchangeable potassium per  $50 \text{ kg}$  of  $\text{K}_2\text{O}$  applied.

## 8. LITERATURA CITADA

- Barceló, J.** 1988. Fisiología Vegetal. Edición Pirámide. Madrid. España.823p.
- Beaton, J. and Sekhon, G.** 1985. Potassium nutrition of Wheat and other small grains. Munson (ed.) Potassium in agriculture. ASA, Madison, WI. 701-752 p.
- Bergmann, W.** 1992. Nutritional Disorder of Plant. Gustav Fischer Verlag, New York.
- Contanzo, A.** 1997. Efecto de diferentes dosis y épocas de aplicación de potasio en trigo en un suelo Andisol con baja disponibilidad de potasio de intercambio. Tesis de grado presentada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de La Frontera. 58 p.
- Conti, M., De la Horra, A, Marchi A.** 2001. Disponibilidad de Potasio y Aspectos Relacionados a la Dinámica de Liberación y Renovación de la Solución del Suelo. Publicación Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.
- Devlin, R.** 1980. Fisiología Vegetal. Rev.4, Edición Omega, Barcelona España. 535 p.
- Dibb, D. and Thompson, W.** 1985. Interaction of potassium with other nutrients. In: R. Munson (ed). Potassium in agriculture. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 4 (3): 32-56.
- Dirección Meteorológica de Chile.** 2003. Boletín decadal y distribución regional, Chile.
- Dixit, A.** 2004. Wheat cultivar response to potassium chloride on soils testing high in potassium, New Zealand. Journal of Plant Nutrition. Volume 36, Issue 6 august 2005, 987 – 1001p.
- Doorenbos, J. Y W.O. Pruitt.** 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje 24. 12: 345-396.
- FAO e IFA.** 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición. Roma. 87p.
- Ghosh, S and Bhattacharya, T.** 2006. Mineralogy of soils of Bihar, Uttar Pradesh, Gujarat and Rajasthan. . In Mineralogy of Soil Potassium, PRII Research Review, Gurgaon, India.
- Goulding, K.W.T.** 1987. Potassium fixation and release. International Potash Institute held in Baden Bei Wien/Australia.3A - 38:12- 45.
- Hocking, P. J.** 1994. Dry-matter production, mineral nutrient concentrations, and nutrient distribution and redistribution in irrigated spring wheat. Journal of Plant Nutrition, Volume 17, Issue 8 July 1994 , 1289 – 1308p.

**Jabbar, T. Aziz, R. y Bhatti, D.** 2009. Effect of potassium application on yield and protein contents of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. Institute of Soil & Environmental Sciences, University of Agriculture, Faisalabad. Pakistán.

**JMP, Version 8, Software.** 1989-2007. Cary, NC, SAS Institute Inc., ver.8.0 for Windows x86.

**Kafkafi, U. and Halevy, J.** 1974. Growth rate and mineral uptake by semi-dwarf wheat grown in various levels of N and P in soil. *Hassadeh* 55(3): 369-375.

**Kafkafi, U. and Xu, G.H.** 1999. Potassium nutrition for high crop yields. In: *Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants* (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.

**Koch, K and Mengel, K.** 1977. Effect of N on N utilization by spring wheat at during grain protein formation. *Agronomy Journal* 69: 477- 480.

**Kolar, J. and Grewal, H.** 1989. Response of rice to potassium. *International Rice Research Newsletter* 14: 33.

**Leigh, RA.** 1989. Potassium concentrations in whole plants and cells in relation to growth. In: *Methods of K-research in plants (IPI)*. Bern, Switzerland.

**Little, T.M., and Hills, F.P.** 1973. *Agricultural Experimentation and analysis*. John Wiley and Sons, New York, USA. 350 p.

**Marques, R., Ranger, J., B., Pollier, Q., Ponette, Q. y Goedert, O.** 1996. Comparison of Chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate lysimeters with those ceramic-cup lysimeters in a forest soil. *European Journal soil Science* September 47: 407-417.

**Marschener, H.** 1998. *Mineral Nutrition of Wheat Plants*. Academic Press. Edition London UK. 843 – 872p.

**Mella A; Kuhne, G.** 1985. Sistema de descripción de las familias, asociaciones y series de suelos derivados de materiales piroclásticos de la zona central-sur de Chile. En: J.Tosso (Ed). *Suelos Volcánicos de Chile*. INIA. Ministerio de agricultura. Santiago. Chile. Cap.1: p 25-95.

**Mengel, L. and Kirby** 1987. Potassium in crop production. *Agronomy Journal* 33: 59-110.

**Mengel, K. and Strakebel, R.** 1995. Potassium in *Principles of Plants Nutrition*. I.A.F Switzerland. Cap 34: 34 – 58p.

**Mortvedt, J. and Cox, F.** 1994. *Micronutrients in Agriculture*. 3<sup>th</sup> Edition . Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

- ODEPA.** 2009. Mercado del trigo, nuevos desafíos en busca del equilibrio. Publicación anual Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Mercados Agropecuarios, Junio 2009.
- Peyrelongue A.** 1985. Disponibilidad de potasio y respuesta a sus aplicaciones en cereales en suelos de la IX Región, II Respuesta en trigo, avena y cebada para malta a la fertilización potásica. Investigación INIA Carillanca 4 (1): 5-11.
- Raven, P y Marsh, H.** 1975 Biología Vegetal. Ed. Omega, Barcelona España. 714p.
- Rehm, G. and Schmitt M.** 2002. Potassium For Crop Production University of Minnesota Extension. Agronomy Journal (2) 6: 21-33.
- Rich, C.J.** 1968. Mineralogy in soil potassium. In The role of Potassium in Agriculture. American Society of Agriculture, Madison/USA.
- Rodríguez, J.** 1993. La fertilización de los cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile. 291 p.
- Rodríguez, J.; Pinochet, D.; Matus, F.** 2001. Fertilización de los cultivos. LOM Ediciones, Santiago, Chile. 117 p.
- Rojas W.** 2000. Estimación de las necesidades de fertilización en cultivos y praderas. Publicación, Centro Regional de Investigación INIA La Platina, 111p.
- Rouanet J. L.; Romero O. y Demanet R.** 1988. Áreas agroecológicas en la IX Región: Descripción. Investigación y Progreso Agropecuario. Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. 7(1): 18-23.
- Singh, B. and Bhandari, A.** 1995. Response of cereals to applied potassium. Potash and Phosphate Institute of Canada – India Programme, Gurgaon, India. 2 (2): 24-39.
- Swya Kant and Uzi Kafkafi.** 2000. Potassium absorption by the crops in different physiological stages. Reprinted in 2000. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, Rehovot, Israel.
- Tandon, H. and Sekhon, G.** 1988. Potassium Research and Agricultural. Production. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi Journal of agriculture Research 11: 356-367.
- Tariq, M. Shah, M.** 2002. Response of Wheat to Applied Soil Potassium. Asian Journal of Plant Sciences Volume 1 Number 4: 470-471.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, and C.F. Konzak.** 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14:415-421.

**Zubillaga, M.** 1994. Relationship between soil Potassium and the mineralogical characteristics of each textural fractions. XV International Soil Science Congress. México.

## **9. ANEXOS**

## Anexo 1 Variables Climáticas

### Anexo 1.1 Temperaturas medias promedio temporadas 2008 y acumulado en 2009.

Año/Meses	2008	2009
Enero	16	15,9
Febrero	19,6	15,1
Marzo	16,3	-
Abril	9,3	-
Mayo	8,6	-
Junio	7,5	-
Julio	8,2	-
Agosto	7,9	-
Septiembre	9,7	-
Octubre	10,7	-
Noviembre	13,4	-
Diciembre	16,3	-

Fuente: Estación meteorológica Campo Experimental Maquehue.

### Anexo 1.2 Precipitaciones temporadas 2008 y acumulado en 2009.

Año/Meses	2008	2009
Enero	11,6	15
Febrero	0,5	30,6
Marzo	49,9	21,2
Abril	13,2	-
Mayo	169,3	-
Junio	99,2	-
Julio	212,2	-
Agosto	261,2	-
Septiembre	60,9	-
Octubre	24,6	-
Noviembre	33,2	-
Diciembre	14	-
Promedio Anual	949,8	-

Fuente: Estación meteorológica Campo Experimental Maquehue.

## Anexo 2 Análisis estadístico de los datos.

### Anexo 2.1 Análisis estadístico de los datos, resumen de rendimiento y respuesta.

RSquare	0,678398
RSquare Adj	0,589065
Root Mean Square Error	3,992006
Mean of Response	66,85417
Observations (or Sum Wgts)	24

**Anexo 2.2** Estimaciones de las componentes de la varianza.

Random Effect	Var Ratio	Var Component	Std Error	95% Lower	95% Upper	Pct of Total
Repeticion[A (Aplic)]	1,06	16,92	13,016	-8,59	42,43	51,50
Residual		15,93	6,50	8,19	43,43	48,49
Total		32,85				100,00

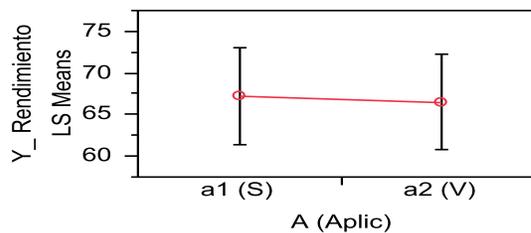
**Anexo 2.3** Pruebas de efectos fijos.

Source	Nparm	DF	DFDen	F Ratio	Prob > F
A (Aplic)	1	1	6	0,0495	0,8314
B Dosis(K <sub>2</sub> O)	2	2	12	0,0866	0,9176
A (Aplic)*B Dosis(K <sub>2</sub> O)	2	2	12	2,1381	0,1606

**Anexo 2.4** Detalles del efecto A (Forma de Aplicación). Mínimos cuadrados medios.

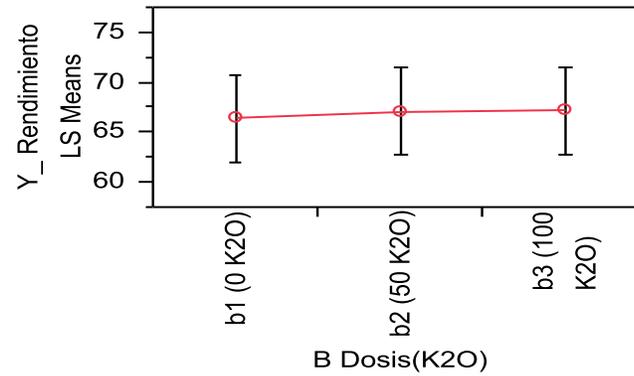
Level	Least Sq Mean	Std Error
a1 (S)	67,225000	2,3576682
a2 (V)	66,483333	2,3576682

**Anexo 2.5** Gráfico LS. medios de la forma de aplicación.

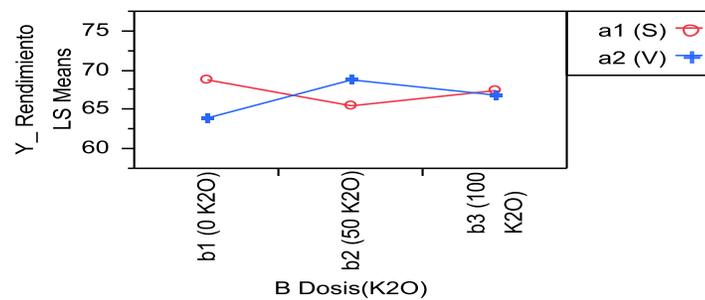


**Anexo 2.6** Repetición [A (Forma de aplicación)], B Dosis (K<sub>2</sub>O), tabla de mínimos cuadrados medios.

Level	Least Sq Mean	Std Error
b1 (0 K <sub>2</sub> O)	66,375000	2,0266497
b2 (50 K <sub>2</sub> O)	67,075000	2,0266497
b3 (100 K <sub>2</sub> O)	67,112500	2,0266497

**Anexo 2.7** Gráfico LS. medios.**Anexo 2.8** A (Aplicación)\*B Dosis (K2O), Tabla de mínimos cuadrados medios de la dosis.

Level	Least Sq Mean	Std Error
a1 (S),b1 (0 K2O)	68,850000	2,8661155
a1 (S),b2 (50 K2O)	65,425000	2,8661155
a1 (S),b3 (100 K2O)	67,400000	2,8661155
a2 (V),b1 (0 K2O)	63,900000	2,8661155
a2 (V),b2 (50 K2O)	68,725000	2,8661155
a2 (V),b3 (100 K2O)	66,825000	2,8661155

**Anexo 2.9** Gráficos LS. medios de la interacción de factores.

Anexo 3 Vista general del ensayo.

