

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

Variación de la producción de materia seca y eficiencia de absorción de nitrógeno en cultivares antiguos y modernos de trigo (*Triticum aestivum*) a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno en suelos volcánicos.

Tesis presentada como parte de
los requisitos para optar al grado
de Licenciado en Agronomía

FRANCISCO JAVIER QUIÑONES ANTIVILO
VALDIVIA – CHILE
2007

PROFESOR PATROCINANTE

Sr. Dante Pinochet
Ing. Agr., MSc., Ph.D.

PROFESORES INFORMANTES

Sr. Ricardo Fuentes P.
Ing. Agr., M.Sc.

Sr. Jerman Carrasco A
Ing. Agr.

ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Antecedentes generales del cultivo de trigo	4
2.1.1	Importancia	5
2.1.2	Descripción botánica	5
2.1.3	Variedades de trigo	7
2.1.4	Situación del trigo en Chile	8
2.1.5	Evolución del mejoramiento de trigo a nivel mundial	8
2.1.6	Evolución del mejoramiento de trigo en Chile	9
2.2	Nutrición de nitrógeno en el trigo	11
2.3	Eficiencia de uso de nitrógeno	13
2.4	Disponibilidad de nitrógeno en el suelo	13
2.4.1	Tasa de mineralización de nitrógeno en el suelo	15
3	MATERIAL Y MÉTODO	17
3.1	Ubicación del ensayo	17
3.1.1	Características del lugar del ensayo	17
3.1.2	Características climáticas de la zona	18
3.2	Variedades de trigo utilizadas	19
3.2.1	Variedades antiguas	20
3.2.2	Variedades modernas	20
3.2.2.1	Dollinco-INIA	20
3.2.2.2	Tukan-INIA	21
3.2.2.3	Kumpa-INIA	21
3.2.2.4	Rupanco-INIA	21
3.3	Manejo general y establecimiento del ensayo	22

Capítulo		Página
3.3.1	Fertilización basal del ensayo	22
3.3.2	Siembra de las variedades de trigo	23
3.3.3	Manejo de control de malezas y plagas	23
3.4	Diseño experimental	23
3.4.1	Diseño experimental del ensayo	23
3.4.2	Descripción de los tratamientos	25
3.4.3	Diseño experimental para determinar la mineralización de N	26
3.5	Evaluación del ensayo	27
3.5.1	Muestreo del material vegetal	27
3.5.2	Muestreo del suelo	27
3.5.3	Evaluaciones realizadas en el trigo	28
3.5.3.1	Producción de materia seca de los diferentes órganos de la planta	28
3.5.3.2	Altura de las plantas en la cosecha	28
3.5.3.3	Índice de cosecha	28
3.5.3.4	Concentración de nitrógeno al momento de la cosecha final	28
3.5.3.5	Eficiencias del uso de nitrógeno	28
3.5.3.6	Eficiencia de absorción de N	30
3.5.4	Evaluación a realizar en el suelo	31
3.6	Análisis estadístico	31
4	PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	32
4.1	Producción de materia seca total	32
4.1.1	Producción de materia seca de los cultivares antiguos	
4.1.2	Producción de materia seca de cultivares modernos	36
4.2	Rendimiento de grano	40
4.3	Índice de cosecha (IC)	42
4.4	Altura de la planta	44

Capítulo		Página
4.5	Concentración de N en los distintos órganos de la planta en estado de madurez de cosecha	45
4.6	Mineralización de nitrógeno	48
4.7	Eficiencia del uso de nitrógeno de los cultivares de trigo	52
4.8	Eficiencia de absorción relativa de nitrógeno	55
5	CONCLUSIONES	61
6	RESUMEN	63
	SUMMARY	64
7	BIBLIOGRAFÍA	67
8	ANEXOS	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Análisis químico del sitio utilizado para el ensayo de campo	17
2	Antecedentes climáticos de Valdivia desde mayo de 2004 hasta abril de 2005 y promedios de 38 años de los valores mensuales	18
3	Características agronómicas de variedades antiguas	20
4	Fuentes y dosis de fertilizantes usados al establecimiento del ensayo	23
5	Composición química de la mezcla Frolich	23
6	Factores y nivel del diseño de parcelas divididas	24
7	Resumen de los tratamientos	25
8	Dosis, fuente y momento de Fertilización Nitrogenada en los tratamientos con aplicación de N	26
9	Producción de materia seca total (g m^{-2}) en cuatro cultivares antiguos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo	33
10	Parámetros de ajuste a un modelo sigmoideo (ecuación 1) de la materia seca total producida en el tiempo, para dos niveles de disponibilidad de N en el suelo (cultivares antiguos)	35
11	Producción de materia seca total (g m^{-2}) en cuatro cultivares modernos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo	36
12	Parámetros de ajuste a un modelo sigmoideo (ecuación 1) de la materia seca total producida en el tiempo, para dos niveles de disponibilidad de N en el suelo (cultivares modernos)	39
13	Variación en el rendimiento de grano de cultivares de trigo antiguos y modernos para los tratamientos N 0 y N 180	40

Cuadro		Página
14	Índice de cosecha (%) de variedades de trigo antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno	43
15	Altura (cm) de ocho variedades de trigo con dos niveles de disponibilidad de N en el suelo	44
16	Concentración de N (%) total de variedades antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno	45
17	Concentración de N (%) en hojas + tallo + espiguilla en variedades antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno	45
18	Concentración de N (%) en el grano de variedades antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno	48
19	Eficiencia del uso de nitrógeno	54
20	Factor de suministro de nitrógeno (kg N ha^{-1}) para los ocho cultivares en estudio	57
21	Eficiencia absorción relativa de nitrógeno, con respecto a Baron, de las variedades de trigo estudiadas	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representación esquemática de la aminación	14
2	Representación esquemática de la amonificación	14
3	Representación esquemática de la nitrificación	15
4	Precipitaciones medias mensuales (mm) durante el periodo que se realizó el ensayo y de un año promedio	19
5	Temperaturas medias mensuales (°C) durante el periodo que se realizó el ensayo y de un año promedio	19
6	Diagrama del ensayo y distribución de los tratamientos	24
7	Producción de materia seca total (g m ⁻²) en cuatro cultivares antiguos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo	34
8	Producción de materia seca total (g m ²) en cultivares modernos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo	38
9	Nitrógeno mineral en el suelo en parcelas sin cobertura plástica	50
10	Nitrógeno mineral en el suelo en parcelas con cobertura plástica	50
11	Mineralización y pérdidas acumuladas de N a 90 cm de profundidad	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Nitrógeno disponible en el suelo al momento de la siembra y la cosecha, para el tratamiento N0, en los cultivares de trigo evaluados	73
2	Absorción de N en los cultivares evualuados, en estado de madurez de cosecha	73
3	Análisis de varianza para rendimiento de materia seca total de cultivares antiguos de trigo	73
4	Análisis de varianza para rendimiento de materia seca total de cultivares modernos de trigo	74
5	Análisis de varianza para rendimiento en grano de ocho cultivares de trigo	74
6	Análisis de varianza para altura de plantas de ocho cultivares de trigo	74
7	Análisis de varianza para Índice de Cosecha de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$)	74
8	Análisis de varianza de concentración de N en la materia seca total de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$)	75
9	Análisis de varianza de concentración de N en el grano de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$)	75
10	Análisis de varianza de concentración de N en Hoja, tallo y espiguilla de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$)	75
11	Análisis de varianza de número de espigas por m ² de ocho cultivares de trigo	75

1. INTRODUCCION

En Chile, el cultivo del trigo es realizado en todos los ecosistemas agrícolas, desde la región Coquimbo hasta la región de Los Lagos. Es importante en términos de superficie sembrada, rotaciones culturales, demanda de trabajo y abastecimiento de mercados, en la que participan grandes, medianos y pequeños productores.

La tecnología agrícola desarrollada en trigo ha permitido el aumento en la producción por superficie, mejoras en la calidad industrial y la resistencia a enfermedades, aumentando el rendimiento promedio nacional desde 18 qqm/ha en 1980 a 47 qqm/ha en 2007. Sin embargo, la variabilidad de los distintos agroecosistemas, fuerza a plantear nuevos desafíos en la mejor utilización de los recursos desde el suelo y evaluar la variación presentada por los diversos materiales genéticos. De esta forma, la eficiencia de uso de los nutrientes nativos del suelo es un desafío agronómicamente poco estudiado y es particularmente interesante para promover la estabilidad ecológica de un cultivo. Es decir, que sea más productivo en condiciones sin adición de nutrientes, lo que asegura una mayor estabilidad y persistencia, independientemente de la capacidad económica del agricultor.

El nutriente más difícil de evaluar en su disponibilidad nativa desde el suelo para el cultivo es el N. No existe un método químico universalmente aceptado. La absorción del cultivo sin aplicación de fertilizante N, es considerada el índice de disponibilidad más confiable y se asume que es el N que se ha mineralizado en la temporada de cultivo. Esta aproximación, no considera una eficiencia de absorción del cultivo, lo que lleva a preguntarse si los cultivos recuperan la misma cantidad de N mineralizado desde el suelo, tanto entre especies como entre variedades de una misma especie.

En los últimos años, se ha incrementado la información sobre la importancia de la sincronía entre la mineralización del N orgánico del suelo y la tasa de absorción de los cultivos. Esta sincronía, armonía en el tiempo, implica que el N mineral debe estar presente en cantidades importantes en el volumen de suelo desde donde las plantas

puedan extraerlo de acuerdo a su crecimiento radical y necesidades de la demanda nutricional.

El mejoramiento genético tradicional se ha realizado en situaciones en que se fertiliza con altas dosis de N, con el objetivo de asegurar el crecimiento de las plantas. Pero ello, determina que no se privilegie la expresión de las habilidades competitivas por N mineralizado de una variedad. Es decir, que al adicionar N fertilizante, la planta tendrá lo que demande, sin tener que mostrar una eficiente capacidad para recuperar el N nativo del suelo. Desde aquí surge, la pregunta de que si las variedades modernas de trigo han conservado habilidades competitivas por N mineralizado del suelo, dado que el mejoramiento actual ha sido realizado en plantas siempre fertilizadas.

El objetivo general de esta investigación, es determinar en condiciones de campo la eficiencia de absorción de N y sus efectos en la producción de materia seca de cuatro variedades de trigo invernales antiguos (utilizados en la zona sur de Chile antes de 1950) y cuatro variedades de trigo invernales modernos (que se utilizan actualmente en la zona sur de Chile), sometidas a dos situaciones de disponibilidad de nitrógeno, (a) sólo N mineralizado del suelo y (b) a N mineralizado más adición de fertilizante.

La hipótesis de trabajo es que la producción de materia seca de las variedades antiguas es mayor que la producción de las variedades modernas cuando compiten por el N mineralizado del suelo, pero al incluir N fertilizante en forma adicional al N mineralizado del suelo, las variedades modernas tienen una mayor productividad de materia seca que las variedades antiguas.

Los objetivos específicos son los siguientes:

Evaluar, a través del tiempo, la producción de materia seca de ocho variedades de trigo (clasificados como modernos y antiguos) en función del N mineralizado del suelo y a la adición de N fertilizante.

Determinar la concentración de N en la planta de ocho cultivares de trigo en función del N mineralizado del suelo y a la adición de fertilizante.

Evaluar la variación del nitrógeno mineralizado del suelo durante la evolución del periodo de absorción de las variedades de trigos antiguos y modernos.

Determinar la eficiencia de uso de nitrógeno de ocho variedades de trigo, tanto antiguos como modernos.

Determinar la eficiencia de absorción de nitrógeno de ocho variedades de trigo, tanto antiguos como modernos.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Antecedentes generales del cultivo de trigo

El trigo es una especie monocotiledónea, perteneciente a la familia de las poáceas de ciclo anual. Todos los trigos, tomando en cuenta los silvestres y cultivados pertenecen al género *Triticum*. (INGLETT, 1974).

Dependiendo del número de cromosomas en las células reproductivas las especies de trigo se dividen en tres subgrupos: diploides ($2n = 14$), tetraploides ($2n = 24$) y hexaploides ($2n = 42$), en donde el número de cromosomas básicos es $1n = 7$ (AHN *et al.*, 1993, citado por GILL y FRIEBE, 2002).

Para cada nivel de ploidía existen dos especies de *Triticum* biológicamente válidas, los trigos diploides son *Triticum monococcum* el que aún es cultivado en extensas áreas, y su forma silvestre *ssp. Aegilopoides* también conocido como *Triticum aegilopoides* se encuentra distribuido en el medio oriente. La segunda especie diploide corresponde a *Triticum urartu* originario de Armenia. Los híbridos entre *T. monococcum* y *T. urartu* son estériles (GILL y FRIEBE, 2002).

Las especies tetraploides corresponden a *T. turgidum* y *T. timopheevii*, en donde ambos han sido cultivados en sus formas silvestres. *T. turgidum ssp. Dicoccum* es uno de los trigos cultivados más antiguo, sin embargo *T. turgidum ssp. Durum* es el que se cultiva actualmente. *T. timopheevii* tiene poca importancia económica. Las formas silvestres de ambas especies *T. turgidum ssp. Dicoccum* y *T. timopheevii ssp. Armeniacum* se encuentran en Turquía e Iran, *T. turgidum ssp. Dicoccum* también se encuentra en Siria, Israel y Líbano, mientras que, *T. timopheevii ssp. Armeniacum* se encuentra en Azerbaiján y armenia (GILL y FRIEBE, 2002).

Las especies de trigo hexaploides corresponden *T. aestivum* y *T. zhukovskyi* que solo son encontrados en su forma domesticada. *Triticum zhukovskyi* es de poca importancia económica, sin embargo, *T. aestivum*, también conocido como trigo común

o de pan, tiene gran importancia económica y junto con el arroz son un alimento estable de los seres humanos (GILL y FRIEBE, 2002).

Hoy en día gran parte del trigo cultivado en el mundo es hexaploide, conocido botánicamente como *Triticum aestivum* L. del que se obtiene como producto principal harina. La otra especie de trigo importante a nivel mundial es tetraploide, conocida botánicamente como *Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn., que corresponde al trigo duro o candeal cuyo producto principal es la sémola y en segundo lugar la harina (PASSARELLA y SAVIN, 2003).

2.1.1 Importancia. Aproximadamente el 90 a 95 % del trigo cultivado en el mundo corresponde al trigo común *T. aestivum* el que es utilizado mayormente como harina para pan y una gran variedad de masas, de esta forma el trigo provee más nutrientes a la población mundial que cualquier otra fuente de alimentación por sí sola. El consumo de pan aumenta en países subdesarrollados y es particularmente importante como fuente de carbohidratos, proteínas y vitaminas B y E (POMERANZ, 1987, citado por PEÑA, 2002). En Chile el consumo es de 140 Kg/pcap/año (FAO, 2006).

A nivel mundial los países con mayor producción y superficie cultivada de trigo corresponden a India con una producción de 233.960.000 toneladas en 26.300.0000 has, China con una producción de 426.613.448 toneladas y un área cultivada de 22.500.100 has y Estados Unidos de América con una producción de 364.019.526 toneladas y 20.226.410 has de superficie cultivada (FAO, 2006).

2.1.2 Descripción botánica. El trigo es una especie poácea (gramínea). Su sistema radical está compuesto de dos tipos de raíces, las raíces seminales y las raíces adventicias, las raíces seminales son las primeras en desarrollarse junto con la radícula, el sistema radicular seminal puede llegar a alcanzar hasta 2 m de profundidad y soporta a la planta hasta que comienza la aparición de las raíces adventicias. Usualmente la aparición de raíces adventicias comienza cuando emerge la cuarta hoja y comienza el macollaje, el sistema radicular puede alcanzar 1, 2 o más metros dependiendo de la condición del suelo, pero se concentra mayormente en los primeros 30 cm del suelo (KIRBY, 2002).

Las hojas se componen de la vaina que es de forma tubular que se envuelve alrededor de la axila de la hoja y la lámina. En la unión de la vaina y la lámina existe una estructura membranosa, la lígula y un par de pequeñas proyecciones filiformes, las aurículas. La base de la hoja sobre el tallo es engrosada para formar un nudo rígido (KIRBY, 2002).

La parte aérea está compuesta de una serie de unidades repetidas o fitómeros, cada uno potencialmente teniendo un nudo, una hoja, un entrenudo alargado y un brote en la axila de la hoja. Una hoja se inserta en cada nudo, las hojas básales usualmente mueren e incluso terminan por desaparecer (KIRBY, 2002).

Desde el eje principal, dependiendo de las condiciones de cultivo, pueden originarse varios macollos; éstos, luego de desplegar la tercera a cuarta hoja, generan su propio sistema de raíces adventicias. Los macollos, por lo tanto, aunque formando siempre parte de la planta que los originó, comienzan a independizarse progresivamente de ésta, hasta llegar a comportarse como una planta individual. Estos tienen su origen en la base de la planta a partir de una yema que da lugar al crecimiento de ellos (FAIGUENBAUM, 1987).

El número total de macollos por planta puede llegar hasta veinte, dependiendo fundamentalmente del cultivar, fertilidad del suelo, fecha de siembra, densidad de población, competencia ejercida por las malezas y del abastecimiento hídrico (FAIGUENBAUM, 1987).

Las inflorescencias corresponden a espigas, están compuestas por 15 a 25 espiguillas; éstas son sésiles y se presentan dispuestas en torno a un raquis. Cada espiguilla presenta externamente dos brácteas denominadas glumas y contiene tres a cinco antecios dispuestos sobre una raquilla. Cada uno de los antecios se compone de una lemma o glumela inferior, de una pálea o glumela superior y de una flor. Normalmente uno a dos antecios son estériles, generándose un máximo de dos a cuatro flores fértiles en cada espiguilla. En algunos cultivares las lemmas se prolongan en forma de arista, originándose espigas barbadas (KIRBY, 2002).

Cada flor está compuesta por tres estambres y por dos estigmas plumosos que nacen directamente del ovario; en la base de la flor se encuentran dos estructuras transparentes llamadas lodículas o glumélulas; todas las estructuras de la flor se encuentran protegidas por dos brácteas: lemma, la más externa y pálea, la más interna. La flor, que presenta autopolinización, proyecta sus estambres al exterior del antecio una vez que ha ocurrido la antesis (KIRBY, 2002).

El fruto del trigo llamado cariopse contiene una sola semilla que está adherida fuertemente al tegumento del fruto, la semilla está compuesta por el embrión y el endosperma, en donde este último ocupa alrededor del 80 a 90% del peso seco de la semilla y representa el principal tejido de almacenaje de almidón y proteína. En el embrión se diferencia un eje embrionario y un solo cotiledón (PASSARELLA y SAVIN, 2003).

2.1.3 Variedades de trigo. Dependiendo del hábito de desarrollo y requerimientos de temperatura las variedades de trigo se clasifican en tres tipos (MATUS y VEGA, 2004).

Variedades invernales. En general son de crecimiento inicial rastrero y largo periodo vegetativo, requieren de vernalización para pasar del estado vegetativo al reproductivo. De acuerdo a los días entre siembra y espigadura se pueden diferenciar en invernales tardíos e invernales precoces (MATUS y VEGA, 2004).

Variedades de hábito alternativo. Tienen crecimiento inicial semierecto y un periodo vegetativo intermedio entre la variedades invernales y primaverales, requieren menos frío que las variedades invernales pero más que las variedades de invierno (MATUS y VEGA, 2004).

Variedades primaverales. Son de crecimiento inicial erecto y corto periodo vegetativo, no requieren de vernalización para pasar del estado vegetativo al reproductivo. De acuerdo a los días entre siembra y espigadura se pueden diferenciar en primaverales semitardíos y primaverales precoces (MATUS y VEGA, 2004).

2.1.4 Situación del trigo en Chile. Es el cultivo anual más sembrado en Chile ocupando un área de 420.400 hectáreas, de las cuales el 86% está comprendida entre la VII y IX regiones, en términos de productividad el promedio nacional ha evolucionado de 18 qqm $^{-1}$ en el año 1980 a 38 qqm ha^{-1} en el 2003 y 43 qqm ha^{-1} en el año 2004 (VELAZCO y GONZALEZ, 2004).

La IX , VIII y VII regiones son las que concentran la mayor producción de trigo en Chile, alcanzando en la temporada 2004-2005 cerca de 700.000, 476.000 y 260.000 toneladas respectivamente, de un total país de 1.851.940 toneladas. La producción de trigo en la X región para la temporada 2004-2005 fue alrededor de 198.000 toneladas (ODEPA, 2006).

Dependiendo del tipo de agricultura y del agroecosistema, los rendimientos promedios varían, así en la agricultura de riego el rendimiento alcanzable promedio es de 80 qqm ha^{-1} , a su vez en los suelos de tipo trumao de valle es de 70 qqm ha^{-1} , en el seco costero de 60 qqm ha^{-1} , los rojos arcillosos alrededor de 50 qqm ha^{-1} y en el seco interior es de sólo 40 qqm ha^{-1} (RODRÍGUEZ et al., 2001).

2.1.5 Evolución del mejoramiento de trigo a nivel mundial. En 1901 con las leyes de herencia de Mendel comienzan los mejoramientos genéticos a través de la obtención de variabilidad genética y selección de genotipos (BARRIGA, 1988). Pero los primeros cambios sustanciales en el aumento del rendimiento en trigo se observaron en Europa alrededor del año 1950, debido en gran parte al alza sin precedentes del consumo de fertilizantes artificiales, el uso de variedades de alto rendimiento y la lucha contra plagas y enfermedades (CIMMYT, 1987).

Con el aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados, el vuelco o tendadura del trigo se convertía en el principal problema que limitaba el rendimiento, con lo cual en 1953 se empezaron a crear variedades más bajas de trigo, incorporando genes de enanismo de un trigo de invierno japonés (Norín 10) a los trigos de invierno de Estados Unidos (CIMMYT, 1987). Se ha atribuido a las variedades de trigo obtenidas a través de este método, el haber evitado la hambruna masiva que afrontaba el mundo en desarrollo en el decenio de 1960. Esas variedades de trigo han sido adoptadas y

crecen en muchas partes del mundo, especialmente en la India, México y Pakistán (FAO, 2003).

En 1954 luego de cuatro años de severos ataques de la roya del tallo (*Puccinia graminis*) en Estados Unidos y Canadá, motivó a Estados Unidos pedir a siete países, México, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina y Canadá, que se unieran para someter a prueba mil líneas de trigo de la colección mundial de Estados Unidos, para la identificación de germoplasma resistente a la roya del tallo, con lo cual comenzaba a formarse un nuevo mecanismo para la prueba en gran escala de germoplasma, primero con trigo y después con muchos otros cultivos (CIMMYT, 1987).

Con el desarrollo de la biotecnología se produce un impacto potencial en el mejoramiento genético del trigo, en donde se busca descubrir la variabilidad genéticamente estable para los caracteres deseados, seleccionar desde esa variabilidad a los individuos que posean los caracteres deseados, incorporar los caracteres deseados en un adecuado material agronómico, probar la nueva variedad en una amplia gama de ambientes y liberar la nueva variedad (BARRIGA, 1988). Es así como por ejemplo la identificación de los genes enanizantes Rht1 y Rht2 permiten obtener variedades semienanas (portadoras de un solo gen) y variedades enanas (portadoras de ambos genes), otro ejemplo es la identificación de los genes Ppd1 y Ppd2 que determinan la floración, en donde variedades portadoras de un solo gen tienen una madurez intermedia (140 días) y variedades portadoras de ambos genes tienen una madurez temprana (120 días) (RAJARAM et al., 2002).

El incremento del rendimiento potencial, a través, de la resistencia a factores bióticos, adaptación a estrés abiótico y mejoramiento de la calidad industrial son los objetivos principales del mejoramiento de los cultivares de trigo (SKOVMAND, 2004).

2.1.6 Evolución del mejoramiento de trigo en Chile. El primer cultivo de trigo hecho en Chile fue realizado por Pedro de Valdivia, como un cultivo de regadío en el valle de Mapocho, junto a la ciudad de Santiago en el año 1541 o 1542 (MONTALDO, 1991).

Según MELLADO (1983) uno de los factores más cambiantes en el mejoramiento de trigo en Chile es la incorporación de nuevas variedades. Durante el siglo XX el número de variedades de trigo sembradas en Chile fue alrededor de 235, correspondientes a trigos harineros *Triticum aestivum* L (89%) y a trigos duros o candeales *Triticum turgidum* var. *Durum* (11.1%) (MELLADO, 2001).

Las instituciones privadas más destacadas en la creación de variedades de trigo están la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA), el Campo Experimental Semillas Baer y la Universidad Católica de Chile (MELLADO, 2001).

Según MELLADO (2001) durante el siglo XX el Ministerio de Agricultura fue responsable del 61.1% de las variedades liberadas, Semillas Baer del 14.5%, la Universidad Católica de Chile del 6.4% y la Universidad Austral de Chile del 0.4%.

Con respecto al avance en el aumento de los rendimientos HEWSTONE (1998) señala que el aumento de los rendimientos en Chile se debe al mejoramiento de las técnicas de manejo del cultivo y el fitomejoramiento, en donde este último se ha enfocado en la creación de variedades resistentes a enfermedades y a la tendadura, diversificación de los tipos de trigos cultivados y una mejora importante del potencial de rendimiento y la calidad panadera.

A través de la incorporación de genes de enanismo para mejorar la resistencia al vuelco o tendadura, se ha permitido el uso de mayores dosis de fertilizantes que ha influido sobre los aumentos de rendimiento. En la actualidad se siguen seleccionado tipos de trigo más bajos de caña firme y gruesa (HEWSTONE, 1998).

Con relación al hábito de desarrollo, en los años cincuenta un 79% de las variedades de trigos eran invernales o alternativos, a partir de la década de los 60 y hasta el año 2000 el mejoramiento genético en trigos de primavera ha permitido que más de la mitad de las variedades disponibles fuesen primaverales (MELLADO, 2001).

En Chile en conjunto el sector público y privado realiza trabajos en el uso de técnicas de marcadores moleculares y hibridación, para caracterizar los genotipos de

trigo disponibles y para el mejoramiento y obtención de cultivares de mayor calidad industrial y resistencia a enfermedades (JOBET y ZUÑIGA, 2003).

2.2 Nutrición de nitrógeno en el trigo

El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales para las plantas, ya que su ausencia impide completar su ciclo de desarrollo (TAIZ, 2002).

El nitrógeno en las plantas forma parte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, hexoaminas (TAIZ, 2002), también forma parte integral de la clorofila, la cual es necesaria para la fotosíntesis (TISDALE et al., 1993).

Normalmente la cantidad de N en las plantas varía entre 1% a 5% de su peso (TISDALE et al., 1993).

La concentración de nitrógeno en la planta de trigo disminuye con la edad, en estado de plena macolla varía desde un 3.5 – 4.2% hasta un 0.9 – 1.2% en estado de madurez de cosecha. La concentración de N en el grano en estado de madurez de cosecha oscila entre 1.6 – 1.8% (HIRZEL, 2004).

El nitrógeno es adquirido por las plantas principalmente en forma de iones inorgánicos desde el suelo por el sistema radicular y después es traslocado a las diferentes partes de las plantas (TAIZ, 2002). Durante los primeros estados de crecimiento del trigo existe una mayor absorción relativa de amonio, incrementándose posteriormente la absorción relativa de nitrato (HIRZEL, 2004).

La tasa de absorción de nitrógeno en el trigo varía a lo largo de su desarrollo, determinado por la tasa de crecimiento y la composición nutricional de sus nuevos tejidos que están influenciados por el abastecimiento de nutriente y agua, competencia entre plantas y factores ambientales que regulan las condiciones de crecimiento del cultivo (DRECCER et al., 2003).

El nitrógeno absorbido desde la emergencia hasta fin de macollaje representa un tercio o menos del total asimilado a lo largo del ciclo, desde el crecimiento de la

caña hasta la antesis la absorción de N aumenta en forma exponencial cesando o declinando luego de la floración (GARCIA, 1998). La acumulación de nitrógeno en el trigo alcanza aproximadamente el 80% hacia el final de la floración (DRECCER et al., 2003).

Post floración es evidente la movilización del nitrógeno de los diferentes órganos hacia los granos, siendo las hojas las primeras en movilizar el nutriente, en cultivos creciendo bajo condiciones normales a fines de la floración e inicio de llenado de granos es común la reducción de la absorción de nitrógeno debido a que se hace escasa la disponibilidad del nutriente y se reduce de la habilidad del cultivo para mantener la absorción, lo cual es provocado por la disminución de la tasa de crecimiento y expansión de raíces (DRECCER et al., 2003).

RODRIGUEZ et al. (2001) señalan que el cultivo de trigo necesita absorber 2,43 Kg de N para producir 100 Kg de grano. DRECCER et al. (2003) señala este valor igual a 3 Kg de N para producir 100 Kg de grano.

Una absorción excesiva de N, puede causar condiciones adversas al cultivo de trigo como puede ser: la prolongación de la fase vegetativa, retraso de la maduración, disminución de la resistencia al frío y al encamado y mayor sensibilidad a las enfermedades y en caso extremo produce toxicidad con la consecuente necrosis de tejidos (HIRZEL, 2004).

ORTIZ-MONASTERIO (2003) indica que la deficiencia de N afecta principalmente la expansión de la hoja (reduciendo el área foliar e intercepción de luz) y la concentración de N (reduciendo la concentración de clorofila y la eficiencia del uso de la radiación). La deficiencia de N se caracteriza por un escaso macollamiento, se reduce el número de espigas por unidad de área y el número de granos por espiga, aumenta la concentración relativa de proteína en el grano, debido a que decrece la importación de carbohidratos al grano durante el llenado de grano (MENGEL y KIRKBY, 1982).

Los mayores rendimientos se logran cuando se aporta una cantidad de nitrógeno al comienzo del macollado o durante el mismo y una mayor cantidad durante el crecimiento de los tallos. El aporte de nitrógeno demasiado temprano produce un exceso de espigas de reducido tamaño y estériles. La fertilización tardía por su parte reduce la fertilidad de las espigas (ORTIZ-MONASTERIO, 2003).

2.3 Eficiencia de uso del nitrógeno

La eficiencia de uso de nitrógeno ha sido definida como el máximo económico de producción por unidad de N aplicado, absorbido o utilizado por la planta para producir grano y paja (FAGERIA y BALIGAR, 2005).

Las definiciones de la eficiencia de uso de N, han sido clasificadas como eficiencia agronómica, eficiencia fisiológica, eficiencia agro-fisiológica, eficiencia de recuperación aparente y eficiencia de utilización (FAGERIA y BALIGAR, 2005).

La determinación de la eficiencia de uso de N es utilizada como una herramienta que permite evaluar el destino de los fertilizantes químicos (FAGERIA y BALIGAR, 2005).

La eficiencia de uso de nitrógeno en el trigo presenta una disminución al aumentar la dosis de N o al aumentar el nitrógeno mineralizado del suelo (ORTIZ-MONASTERIO, 1998).

2.4 Disponibilidad de nitrógeno en el suelo

El N en el suelo puede estar de forma orgánica o inorgánica, en donde un 95% o más del N de la parte superficial del suelo está como N orgánico. Las formas de N inorgánico en el suelo incluyen Amonio (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) y N elemental (N_2). Las formas de N orgánico están en el suelo formando parte de proteínas, aminoácidos y otros compuestos nitrogenados (TISDALE et al., 1993).

El nitrógeno mineral del suelo disponible para los cultivos (NH_4^+ y NO_3^-), proviene de la transformación del nitrógeno orgánico del suelo a nitrógeno mineral, a

través, de un proceso realizado por la biomasa microbiana denominado mineralización de nitrógeno (RODRÍGUEZ et al., 2001). Otra fuente de nitrógeno mineral en el suelo, es la fijación del N atmosférico, pero con una contribución muy baja en el total de nitrógeno disponible (MADDONI et al., 2003).

La mineralización de N es la conversión de N orgánico a NH_4^+ a través de los procesos de aminación y amonificación realizados por microorganismos heterotróficos (TISDALE et al., 1993). La materia orgánica del suelo contiene principalmente N en forma de proteínas, las cuales son degradadas por bacterias y hongos, si el medio es neutro o básico predominan las bacterias y si el medio es ácido predominan los hongos (MENGEL y KIRKBY, 1982).

La aminación es la degradación de las proteínas dando como resultado aminos, aminoácidos y urea (TISDALE et al., 1993). Su representación esquemática se presenta en la figura 1.

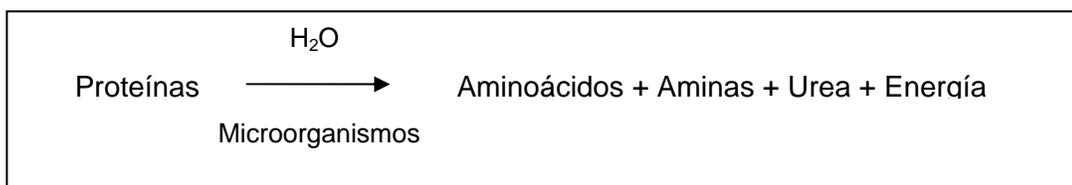


FIGURA 1 Representación esquemática de la aminación.

MENGEL y KIRKBY (1982) señalan que los amino y aminoácidos producidos por la aminación son degradados por los microorganismos liberando el N en forma de amonio (NH_4^+) proceso denominado amonificación, cuya representación esquemática se aprecia en la Figura 2.

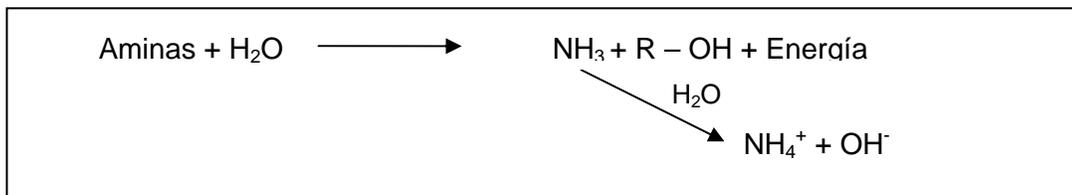


FIGURA 2 Representación esquemática de la amonificación.

El amonio (NH_4^+) puede ser absorbido directamente por las plantas, puede ser usado por microorganismos heterotróficos para descomponer residuos orgánicos, también puede ser liberado lentamente a la atmósfera como N_2 o puede ser transformado a nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-) a través del proceso de nitrificación (TISDALE et al., 1993).

La nitrificación es el proceso en donde el amonio del suelo es oxidado biológicamente a nitrato por los microorganismos del suelo, como resultado de este proceso la mayor parte del nitrógeno en el suelo está en forma de nitrato (LAUCHLI y BIELESKI, 1983). El proceso de nitrificación consta de dos etapas. Primero el amonio (NH_4^+) es oxidado a nitrito (NO_2^-) por bacterias del género *Nitrosolobus* y *Nitrosomonas* y en la segunda etapa bacterias del género *Nitrobacter* oxidan el nitrito (NO_2^-) y a nitrato (NO_3^-). Su representación esquemática se presenta en la figura 3 (MADDONI et al., 2003).

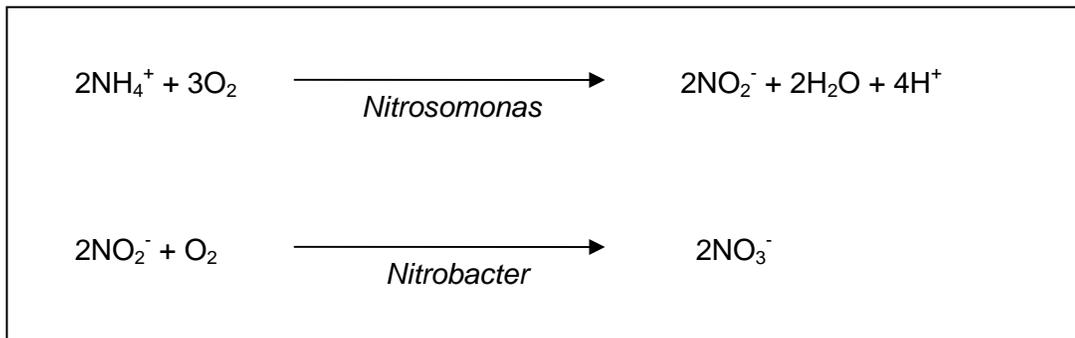


FIGURA 3 Representación esquemática de la nitrificación.

2.3.1 Tasa de mineralización de nitrógeno en el suelo. La materia orgánica del suelo está formada por dos fracciones, la fracción pasiva o materia orgánica vieja y la fracción activa o materia orgánica joven (RODRÍGUEZ et al., 2001).

El nitrógeno orgánico de la fracción pasiva de la materia orgánica puede estar adsorbida en las partículas de arcilla del suelo o estar protegida físicamente por los microagregados, por lo cual no participa en la nutrición durante la temporada de cultivo (RODRÍGUEZ et al., 2001).

El nitrógeno de la fracción activa de la materia orgánica del suelo es alrededor de un 5 a 30 % del nitrógeno del suelo. Se origina a partir de la incorporación de residuos de cosecha al suelo, la cual se divide en un componente lábil de fácil descomposición y un componente resistente de difícil descomposición, la proporción que exista entre ambos depende de la relación C:N, en donde una relación C:N alta determina una mayor proporción del componente resistente, el nitrógeno orgánico lábil de los residuos y nitrógeno resistente constituyen el nitrógeno activo del suelo (RODRÍGUEZ et al., 2001).

La tasa de mineralización de los componentes lábiles de los residuos es mayor que la tasa de mineralización del componente resistente de los residuos de cosecha (RODRIGUEZ, 1993).

Las tasas de mineralización se modifican por la temperatura del suelo ya que inciden sobre la intensidad de los procesos enzimáticos de la biomasa del suelo involucrados en la transformación de los residuos de cosecha y también por la humedad del suelo ya que afecta la actividad de la biomasa del suelo (RODRIGUEZ, 1993).

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Ubicación del ensayo

La realización del ensayo se llevo a cabo en la Estación Experimental Santa Rosa perteneciente a la Universidad Austral de Chile, ubicada a 4 km al norte de la ciudad de Valdivia.

3.1.1 Características del lugar del ensayo. El suelo corresponde a un suelo Trumao, de la serie Valdivia, clasificado como Typic Hapludand. La serie Valdivia está compuesta de depósitos marinos cubiertos por cenizas volcánicas llamado “cancagua”, que corresponde a una toba más o menos cementada mezclada con clastos alterados. La topografía presenta pendientes de 3 a 8 % y en sectores ligeramente ondulados 2 a 5 % (INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS RENOVABLES (IREN), CORPORACION DE FOMENTO (CORFO), UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 1978).

3.1.1.1 Características químicas del suelo en que se realizó el ensayo. A través de un análisis químico realizado en los Laboratorios del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, dependiente de la Universidad Austral de Chile, se caracterizó el estado nutricional y la condición del suelo, como se muestra en el Cuadro 1.

CUADRO 1 Análisis químico del sitio utilizado para el ensayo de campo.

Parámetro	Método	Unidades	Valor
pH en agua	(1:2,5)		5,3
pH en CaCl ₂	(1:2,5)		4,6
M. O.		%	14
Nitrógeno mineral	Extracción con KCl 1M	(mg/kg)	18
Fósforo disponible	Olsen (bicarbonato de Na)	(mg/kg)	14
Potasio intercambiable	Acetato de amonio pH 7,0	(cmol+/kg)	0,29
Sodio intercambiable	Acetato de amonio pH 7,0	(cmol+/kg)	0,04
Calcio intercambiable	Acetato de amonio pH 7,0	(cmol+/kg)	0,71
Magnesio intercambiable	Acetato de amonio pH 7,0	(cmol+/kg)	0,26
Suma de bases		(cmol+/kg)	1,29
Aluminio intercambiable	Extracción con KCl 2M	(cmol+/kg)	0,44
Saturación de Al		(%)	25,16

3.1.2 Características climáticas de la zona. La influencia que ejerce la cercanía al mar y la hoya hidrográfica de los ríos Valdivia y Cruces hacen que esta zona tenga un clima de características marítimas (HUBER, 1970). Esta zona se caracteriza por altas precipitaciones, las cuales fluctúan entre 1800 y 3100 mm anuales, con un promedio de 2500 mm. Estas lluvias, presentan una distribución estacional bien marcada siendo el invierno la estación más lluviosa (MONTALDO y FUENTES, 1980).

Las temperaturas medias anuales son del orden de los 12° C con una oscilación anual de 9,2° C, siendo enero el mes más cálido con 16,7° C y julio el mes más frío con 7,5° C (MONTALDO y FUENTES, 1980).

3.1.2.1 Características climáticas durante la realización del ensayo. Durante el periodo en que se realizó el ensayo, se registró la información climática mensual de precipitación, humedad relativa, temperatura mínima, media y máxima (Cuadro 2) en la estación climatológica del Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile, ubicado en la isla Teja.

CUADRO 2 Antecedentes climáticos de Valdivia desde mayo de 2004 hasta abril de 2005 y promedios de 38 años de los valores mensuales.

Mes/año	Temperatura (°C)				Precipitación (mm)		Humedad relativa (%)	
	Media	Media	Media	Media	Ensayo	Histórica	Ensayo	Histórica
	Máxima Ensayo	Mínima Ensayo	media ensayo	Media histórica				
May-04	14,9	5,9	10,2	10,3	52,7	341,6	86	88
Jun-04	12,4	7,5	5,4	8	559,7	391,6	94	89
Jul-04	12	5,6	8,7	7,7	479,4	376,4	92	88
Ago-04	13,9	5	9,2	8,3	236,8	299	88	86
Sep-04	15,6	5,4	10,3	9,5	185,6	188,1	80	78
Oct-04	16,3	8,1	11,8	11,5	230,4	149,6	85	75
Nov-04	20,3	8,9	13,3	13,7	107,8	108,3	75	72
Dic-04	21	10,8	16,3	15,9	126,5	89	74	68
Ene-05	22,6	11,1	16,8	16,9	49,1	61,3	67	67
Feb-05	26,7	13,4	15,7	16,6	3	56,9	70	69
Mar-05	20,4	10,3	16,1	14,7	142,3	84,4	79	74
Abr-05	17,3	7,1	13,6	12	59	157,9	82	83

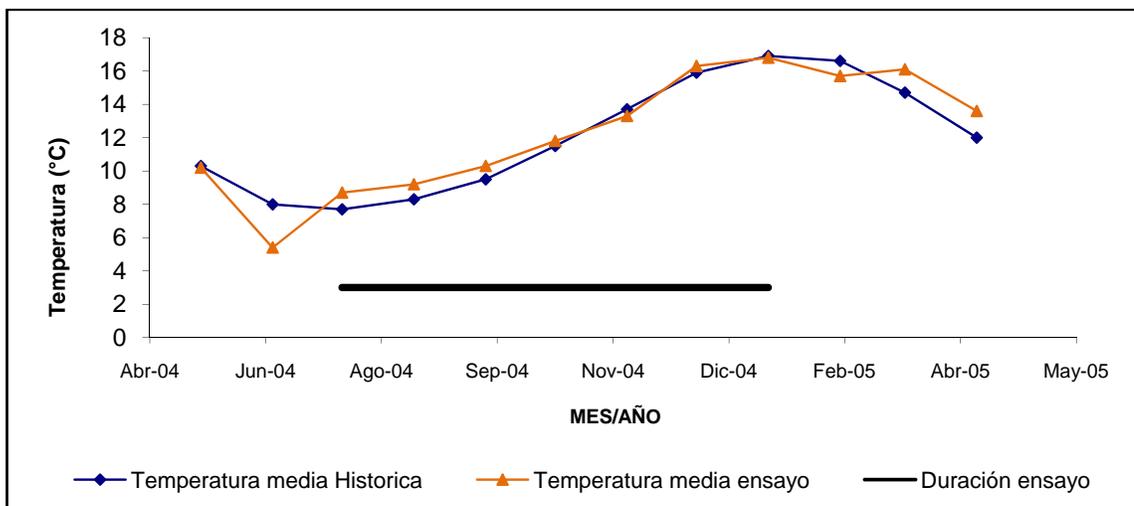


FIGURA 4 Precipitaciones medias mensuales (mm) durante el periodo que se realizó el ensayo y de un año promedio.

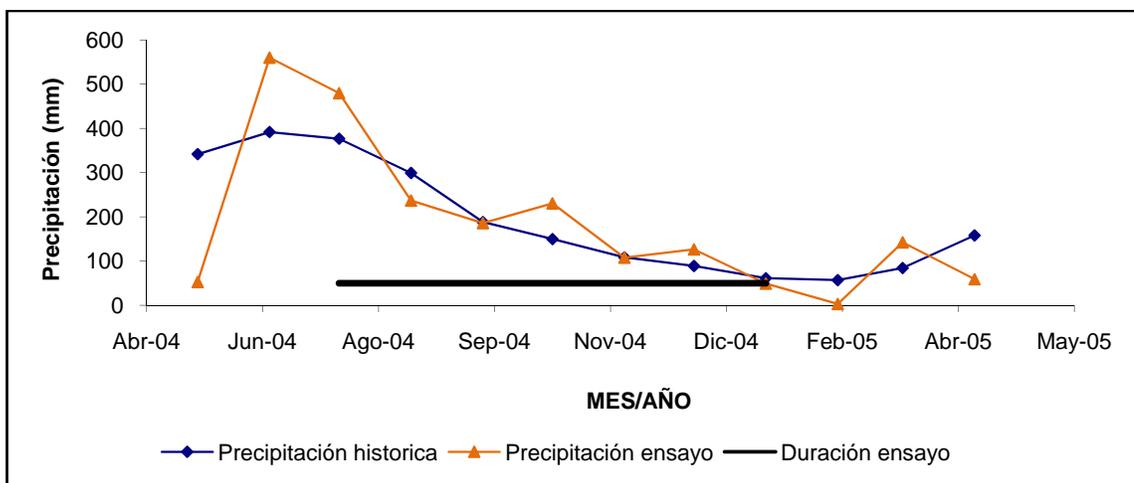


FIGURA 5 Temperaturas medias mensuales (°C) durante el periodo que se realizó el ensayo y de un año promedio.

3.2 Cultivares de trigo utilizados

Se utilizaron seis cultivares de trigo de hábito de crecimiento invernal y dos de hábito de crecimiento alternativo, separados en dos grupos, un grupo compuesto de cultivares antiguos y otro de cultivares modernos. La clasificación de cultivares antiguos y modernos se realizó bajo el parámetro del año de utilización comercial, en donde los cultivares antiguos fueron utilizados antes de la década de 1950 y los cultivares modernos con una utilización comercial posterior al año 1990.

3.2.1 Cultivares antiguos. Los cultivares que se utilizaron corresponden a Baron, Castaño Colorado, Linaza y Vilmorin.

Los cultivares Castaño Colorado, Baron y Vilmorin fueron recomendadas alrededor del año 1939 y alcanzaban una altura promedio de 140 cm. Entre los años 1940 y 1945 el cultivar Vilmorin fue utilizado con éxito comercial entre Los Ángeles y Osorno (CORTAZAR 1950, citado por MELLADO, 1983).

Los cultivares antiguos utilizados en Chile no están descritos en la literatura de forma específica, por lo cual no ha sido posible una descripción particular de cada una de ellos. Sin embargo, MELLADO (1983) describe en forma general algunos parámetros relacionados con los cultivares antiguos utilizados en Chile, los que se muestran en el cuadro 3.

CUADRO 3 Características agronómicas de variedades antiguas.

Características	Promedio	Rango
Altura de planta (cm)	140	115 – 165
Número de granos por espiga	27.7	18.8 – 41.5
Valor de sedimentación (cm ³)	30	13 – 53
Largo de espiga (cm)	9.6	5.6 – 13.5
Peso de 1.000 semillas (g)	42.4	28.0 – 55.0

3.2.2 Cultivares modernos. Los cultivares que se utilizaron corresponden a Dollinco, Tukan, Kumpa y Rupanco.

3.2.2.1 Dollinco-INIA. Es un cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) para pan de hábito de crecimiento alternativo tardío, producida por el Proyecto de Mejoramiento de Trigo del Centro Regional de Investigación Carillanca, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). y proviene de la cruce de Car-3135/Fr-87-10 (HEWSTONE y JOBET, 2001). La espiga es de color blanco, de forma paralela y sin barbas. El grano es ovoide a semi alargado, de tamaño medio, color café, con cepillo ausente o muy corto. La altura varía de 85 cm a 115 cm. Es moderadamente susceptible a la roya estriada (*Puccinia striiformis*) y susceptible a la roya colorada (*Puccinia recondita*), resistente a oidio (*Erysiphe graminis*) y moderadamente resistente a septoria (*Septoria*

tritici, *S. nodorum*, *S. avenae*). Tiene un rendimiento potencial de 100 qqm/ha. Con respecto a la calidad del grano tiene un peso hectolitro de 80 a 83 kg/hl y el peso de mil granos es de 40 g, el valor de sedimentación es de 46 cm³ lo que corresponde a un trigo fuerte (INIA, 2006).

3.2.2.2 Tukan-INIA. Es un cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) para pan, producido por INIA Quilamapu. Tiene hábito de crecimiento invernal precoz. La espiga es de color blanco, decumbente de tamaño medio y compacta. El grano es de color rojo pálido y de tamaño grande. La altura varía de 105 cm a 115 cm. Es moderadamente resistente a la roya estriada (*Puccinia striiformis*) y a oidio (*Erysiphe graminis*), susceptible a la roya colorada (*Puccinia recondita*) y moderadamente susceptible a septoria (*Septoria tritici*, *S. nodorum*, *S. avenae*). Tiene un rendimiento potencial de 100 qqm/ha. Con respecto a la calidad del grano tiene un peso hectolitro de 79 a 82 kg/hl, el peso de mil granos es de 50 g y el valor de sedimentación es de 33 cm³ lo que corresponde a un trigo fuerte (INIA, 2006).

3.2.2.3 Kumpa-INIA. Es un cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) para pan de hábito de crecimiento invernal, introducido como línea experimental en 1995 por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) desde Alemania. Kumpa-INIA es producto de la cruce Apollo/TAW 5.16432-83 (HEWSTONE y JOBET, 2003). Es un trigo semienano de ciclo largo, La espiga es de color blanco, semi curvada, forma paralela, densidad alta y sin barbas. El grano es de forma redondeada, tamaño mediano, color café oscuro, pudiendo presentar ocasionalmente ciertos cambios de pigmentación en el endosperma. La altura de la planta adulta varía entre 85 y 100 cm, con un promedio de 95 cm. con buena resistencia al polvillo estriado (*Puccinia striiformis*) y oidio (*Erysiphe graminis*), moderadamente resistente al polvillo de la hoja (*Puccinia recondita*) y septoria (*Septoria tritici*, *S. nodorum*, *S. avenae*). Con respecto a la calidad del grano tiene un peso hectolitro de 78 a 81 kg/hl, el peso de mil granos es de 35 a 39 g y el valor de sedimentación es de 35 cm³ lo que corresponde a un trigo fuerte (INIA, 2006).

3.2.2.4 Rupanco-INIA. Es un cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) para pan de hábito de crecimiento alternativo tardío, creado por el Proyecto de Mejoramiento de Trigo del

Centro Regional de Investigación Carillanca, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), proviene de la cruzada X-101,2 Alt. 94B/ X-104 Alt. 94M (HEWSTONE y JOBET, 2005). La espiga es de color amarillo a castaño, semidecumbente, fusiforme, de densidad media y con barbas de largo medio sobre toda la espiga. El grano es ovoide, de color rojo, de tamaño mediano. La altura de la planta adulta varía entre 85 y 105 cm, con un promedio de 93 cm. Con respecto a la calidad del grano tiene un peso hectolitro de 80 a 83 kg/hl, el peso de mil granos es de 39 g, el valor de sedimentación es de 46 cm³ lo que corresponde a un trigo fuerte (INIA, 2006).

3.3 Manejo general y establecimiento del ensayo

El ensayo se realizó a partir de julio del 2004, comenzando con la preparación de suelo y siembra de los cultivares de trigo, hasta enero del 2005 donde se cosecharon los cultivares de trigo en estado de madurez de cosecha.

El historial de manejo de la parcela en donde se realizó el ensayo, corresponde a dos años de pradera, 1 año de maíz y un año sin cultivo.

3.3.1 Fertilización basal del ensayo. Dadas las condiciones de acidez del suelo se realizó una enmienda calcárea el día 16 de julio del 2004 (dos días antes de siembra), correspondiente a 5 toneladas de CaCO₃ ha⁻¹ (como magnecal 7, de una pureza del 95% de CaCO₃), la que se incorporó en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, con un rotovator,

La aplicación de fertilizantes basales para el ensayo, se realizó inmediatamente después de la aplicación de la enmienda calcárea, el día 16 de julio del 2004. Consistió en dosis equivalentes a 450 kg P₂O₅ ha⁻¹, 80 kg K₂O ha⁻¹, 30 kg MgO ha⁻¹, 20 kg micronutrientes Frölich ha⁻¹ y 1 kg B ha⁻¹ (Cuadro 4), los que fueron incorporados en los primeros 15 cm de profundidad (Cuadro 4 y Cuadro 5).

CUADRO 4 Fuentes y dosis de fertilizantes usados al establecimiento del ensayo.

Dosis	Fertilizante usado como fuente (kg de producto comercial ha ⁻¹)
450 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	978 kg como Superfosfato triple
80 kg K ₂ O ha ⁻¹	133 kg como Muriato de potasio
30 kg MgO ha ⁻¹	111 kg como Magnesul
20 kg Micronutrientes ha ⁻¹	20 kg como Mezcla Frolich
1 kg B ha ⁻¹	10 kg como Boronatrocalcita

CUADRO 5 Composición química de la mezcla Frolich.

Compuesto	%
Sulfato de Magnesio	20
Oxido de Magnesio	10
Sulfato de Cobre	6
Carbonato de Calcio	28
Sulfato de Zinc	10
Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇)	25
Trióxido de Molibdeno	1

3.3.2 Siembra de los cultivares de trigo. La siembra se realizó el 18 de julio del 2004, utilizándose una dosis de 160 kg de semilla ha⁻¹ distribuidas en hileras a chorro continuo mediante una sembradora Planet Jr. La distancia entre hileras fue de 17,5 cm.

3.3.3 Manejo de control de malezas y plagas. Para evitar el problema de malezas de hoja ancha en el trigo se aplicó al inicio de macolla MCPA en una dosis de 1000 cm³ ha⁻¹ y Ally (i.a metsulfuron-metil) en una dosis de 10 g ha⁻¹. Para contrarrestar posibles daños por hongos, se aplicó fungicida a razón de 1L ha⁻¹ al momento de tercera hoja desplegada y al estado de bota del cultivo.

3.4 Diseño experimental

3.4.1 Diseño experimental del ensayo. El ensayo se realizó en parcelas divididas en bloques completos, con tres bloques de dos parcelas cada uno y cada parcela fue subdividida en ocho subparcelas (Cuadro 6). Las parcelas representan un nivel de disponibilidad de N en suelo y cada cultivar de trigo en estudio fue sembrado en una

subparcela (Figura 6). Cada subparcela tuvo una superficie de 3.6 m² (4 m x 0.9 m). Se diseñó pasillos de 0.5 m entre bloques y de uno perimetral de 1m de ancho.

CUADRO 6 Factor y nivel de diseño de parcelas divididas.

Factor de Parcela	Nivel
Disponibilidad de nitrógeno en el suelo	N mineralizado
	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹
Factor de subparcela	
Cultivares de Trigo	Cultivares antiguos
	Baron
	Vilmorin
	Linaza
	Castaño Colorado
	Cultivares modernos
	Dollinco
	Tukan
	Kumpa
	Rupanco

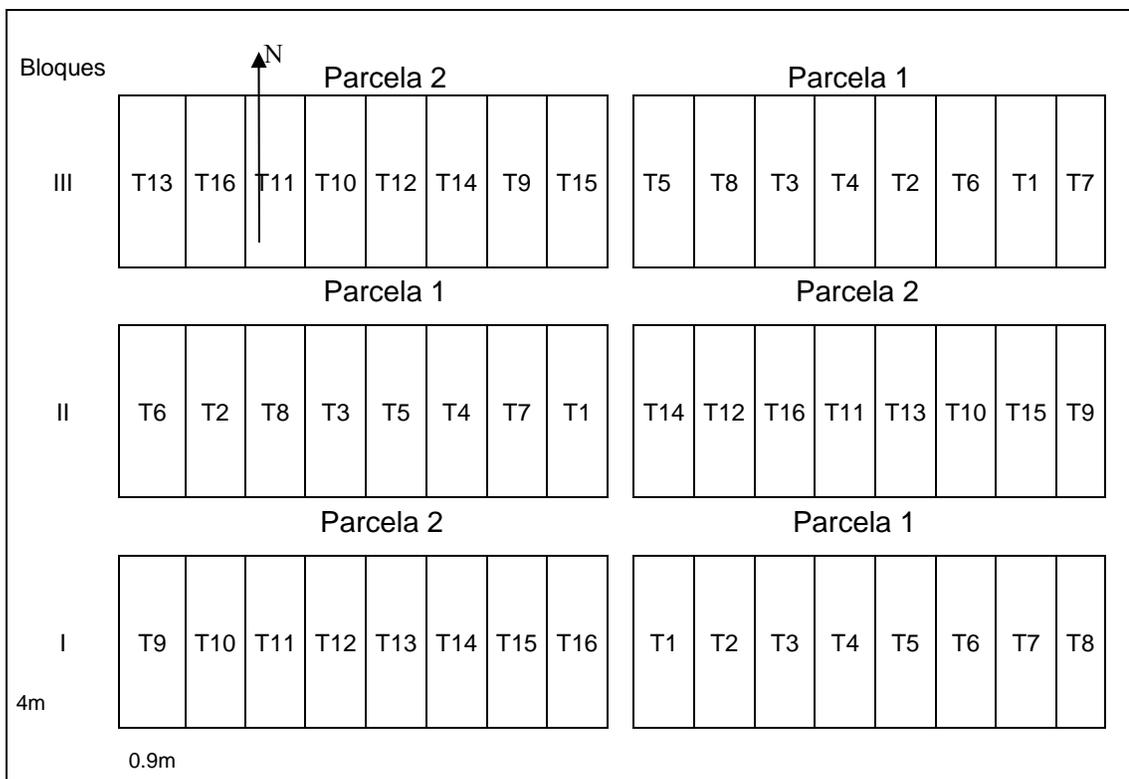


FIGURA 6 Diagrama del ensayo, y distribución parcelas y subparcelas.

CUADRO 7 Resumen de subparcelas.

Subparcelas	Parcela	Disponibilidad de Nitrógeno	Cultivar
T1	1	N mineralizado	Baron
T2	1	N mineralizado	Vilmorin
T3	1	N mineralizado	Linaza
T4	1	N mineralizado	Castaño Colorado
T5	1	N mineralizado	Dollinco
T6	1	N mineralizado	Tukan
T7	1	N mineralizado	Kumpa
T8	1	N mineralizado	Rupanco
T9	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Baron
T10	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Vilmorin
T11	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Linaza
T12	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Castaño Colorado
T13	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Dollinco
T14	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Tukan
T15	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Kumpa
T16	2	N mineralizado + 180 u N ha ⁻¹	Rupanco

3.4.2 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en someter a los cultivares de trigo a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno en el suelo, con el fin de determinar la variación en la producción de materia seca de los distintos órganos de la planta durante su desarrollo, debido a las diferencias en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y la eficiencia de absorción del N.

Los dos niveles de disponibilidad de N en el suelo corresponden a:

- N mineralizado del suelo (N 0)
- N mineralizado del suelo más aplicación de 180 u N ha⁻¹ (N 180)

Para los tratamientos en que los cultivares de trigo dependerán del N mineralizado, involucra que no se aplicará fertilización nitrogenada en ninguna etapa de desarrollo del cultivo.

En el caso de los tratamientos (N 180) con aplicación equivalente de 180 u N ha⁻¹, el fertilizante se aplicó parcializado para que esté disponible en los momentos de mayor requerimiento del cultivo y evitar las posibles pérdidas principalmente por lixiviación y desnitrificación, por lo tanto el fertilizante N se aplicó en cuatro parcialidades como se muestra en el Cuadro 8. La primera aplicación correspondió a 30 u N ha⁻¹ se realizó el 8 de septiembre del 2004, en estado de 4 hojas en el tallo principal (representado en la escala de Zadoks por Z 2.1), la segunda dosis también de 30 u N ha⁻¹ se realizó el 28 de septiembre en estado de cuatro hojas en el tallo principal y 3 hojas en el primer macollo (Z 2.3), la tercera dosis de 60 u N ha⁻¹ se aplicó el 13 de octubre del 2004 al comienzo de la elongación del tallo (Z 3.1) y la última aplicación de 60 u N ha⁻¹ se realizó el 19 de noviembre del 2004, cuando la espiga estaba a la altura de la penúltima hoja (Z 4.3).

CUADRO 8 Dosis, fuente y momento de fertilización nitrogenada en los tratamientos con aplicación de N.

Dosis	Fertilizante usado como fuente (kg de producto comercial/ha)	Estado de desarrollo (Escala Zadocks)	Fecha aplicación
30 u N ha ⁻¹	185 kg como Nitram magnésico	Z 2,1	08/09/2004
30 u N ha ⁻¹	185 kg como Nitram magnésico	Z 2,3	28/09/2004
60 u N ha ⁻¹	370 kg como Nitram magnésico	Z 3,1	13/10/2004
60 u N ha ⁻¹	370 kg como Nitram magnésico	Z 4,5	19/11/2004

3.4.3 Diseño experimental para determinar la mineralización de N. A un costado de los tratamientos de las variedades de trigo, se dispuso de tres parcelas sin cultivo y sin aplicación de fertilizante nitrogenado de 6 m² de superficie (12 m x 0.5), para determinar la concentración de N mineral en el suelo durante la realización del ensayo, donde cada parcela representa una repetición. Las parcelas fueron divididas en 12 unidades de 0.5 m² para poder determinar la concentración en el suelo de N mineral en forma secuencial durante el periodo de realización del ensayo, es decir, cada unidad

representa el área donde se determinó la concentración de N en un momento específico durante el ensayo. De iguales características se dispusieron 3 parcelas más con la salvedad que cada unidad a medir se tapó con polietileno transparente a 20 cm sobre el suelo durante el periodo comprendido entre mediciones (15 días), es decir se tomaba la primera medición y se tapaba la unidad que correspondía a la segunda medición hasta los 15 días posteriores, en que correspondía tomar la segunda medición y así sucesivamente hasta el término del ensayo, con el propósito de cubrir la parcela para evitar el efecto lluvia y disminuir las pérdidas por lixiviación.

3.5 Evaluación del ensayo

3.5.1 Muestreo del material vegetal. Se tomaron muestras de trigo cada 15 días, comenzando cuando las plantas presentaban 3 a 4 hojas en el tallo principal (08 de septiembre del 2004), hasta la cosecha realizada en estado de madurez de cosecha cuando el grano ha bajado su humedad a 14% (13 de enero del 2005), el tamaño de cada muestra fue de 30 cm lineales con un ancho de 17,5 cm durante el desarrollo del cultivo y de 1.6 m lineales en la cosecha final. Las muestras se tomaron en forma manual cortando el material vegetal a 1 cm del suelo, las muestras colectadas se lavaron y posteriormente fueron secadas en horno de aire forzado a 60 °C por 48 a 72 horas. Una vez secas, se registró el peso total en una balanza electrónica y fueron separadas manualmente en sus órganos componentes: hojas, tallo, espiga, espiguillas y grano (cuando estuvieron presentes) y registrado los pesos de cada órgano.

Estos materiales se molieron separadamente en un molino Thomas Willey3383-L40 con tamiz de 0,9 mm y se guardaron molidos en bolsas plásticas, en un lugar seco y fresco.

3.5.2 Muestreo del suelo. En las parcelas sin cultivo y sin aplicación de fertilizantes se tomaron muestras de suelo cada 15 días, a partir del 6 de agosto del 2004 (una semana después de la siembra) y hasta el momento de la cosecha final de las variedades de trigo realizada el 13 de enero del 2005. También se tomaron muestras de suelo al momento de la cosecha final en las parcelas donde se cultivaron las

variedades de trigo. Las muestras de suelo fueron tomadas a cuatro profundidades: 0-20 cm, 0-40 cm, 0-60 cm y 0-90 cm.

3.5.3 Evaluaciones realizadas en el trigo. Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio del Instituto Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile y son las siguientes:

3.5.3.1 Producción de materia seca de los diferentes órganos de la planta. Se registró el peso seco de todas las muestras recolectadas en una balanza electrónica marca Ohaus modelo Scout II (precisión de 0,1 g) y los valores fueron expresados en g MS m⁻².

3.5.3.2 Altura de las plantas en la cosecha. La altura de las plantas se determinó en las muestras recolectadas midiendo desde la base del tallo hasta el término de las espigas y los valores se expresaron en cm.

3.5.3.3 Índice de cosecha. Corresponde a la proporción en porcentaje de la producción de MS de granos en relación a la producción de MS total de la parte aérea del cultivo.

3.5.3.4 Concentración de nitrógeno al momento de la cosecha final. La concentración de N en las plantas se determinó a través de análisis químico de N foliar, usando el método de Kjeldahl. Este consiste en una digestión en ácido sulfúrico y una posterior determinación del N en forma amoniacal a través del método de arrastre de vapores y valoración a través de titulación. Los datos fueron expresados en % de N.

3.5.3.5 Eficiencias del uso de nitrógeno. Las eficiencias de uso N fueron calculadas según la clasificación descrita por FAGERIA Y BALIGAR (2001).

a) Eficiencia agronómica (EA) en kg kg⁻¹

$$EA = \frac{(G_f - G_i)}{N_n}$$

Donde:

G_f : Producción de grano en la parcela fertilizada (kg)

G_i : Producción de grano en la parcela no fertilizado (kg)

N_n : Cantidad de N aplicado (kg)

b) Eficiencia fisiológica (EF) en kg kg^{-1}

$$EF = \frac{(Y_f - Y_i)}{(N_f - N_i)}$$

Donde:

Y_f : Producción de biomasa aérea en la parcela fertilizada (kg)

Y_i : Producción de biomasa aérea en la parcela no fertilizada (kg)

N_f : Acumulación de N en la parcela fertilizada en la biomasa aérea (kg)

N_i : Acumulación de N en la parcela no fertilizada en la biomasa aérea (kg)

c) Eficiencia agro-fisiológica (EAF) en kg kg^{-1}

$$EAF = \frac{(G_f - G_i)}{(N_f - N_i)}$$

Donde:

G_f : Producción de grano en la parcela fertilizada (kg)

G_i : Producción de grano en la parcela no fertilizado (kg)

N_f : Acumulación de N en la parcela fertilizada en la biomasa aérea (kg)

N_i : Acumulación de N en la parcela no fertilizada en la biomasa aérea (kg)

d) Eficiencia de recuperación evidente en porcentaje (%)

$$ERE = \frac{(N_f - N_i)}{N_n} \times 100$$

Donde:

N_f : Acumulación de N en la parcela fertilizada en la biomasa aérea (kg)

N_i : Acumulación de N en la parcela no fertilizada en la biomasa aérea (kg)

N_n : Cantidad de N aplicado (kg)

e) Eficiencia de utilización (EU) en kg kg^{-1}

$$EU = EF \times \frac{ERE}{100}$$

3.5.3.6 Eficiencia de absorción relativa de N. Para efecto del presente trabajo y con motivo de establecer un parámetro en la absorción de N y poder comparar las variedades en estudio se ha determinado un valor de absorción de N, que denominamos eficiencia de absorción relativa de nitrógeno (ERA) descrito por la fórmula:

$$ERA = N \text{ absorbido} * (\text{Suministro N})^{-1}$$

El cálculo de la eficiencia de absorción relativa de nitrógeno se realizó tomando como base el suministro de N, señalado por PINOCHET, (2005) como:

$$\text{Suministro N} = N \text{ mineral} + fSN$$

El parámetro fSN es un factor de suministro de los suelos que representa el historial de manejos de residuos, que para la temporada en que se realizó este estudio se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$fSN = N \text{ mineral} - N \text{ absorbido}$$

Se calcularon dos fSN , fSN_i que corresponde al factor de suministro de N tomando en consideración sólo el N mineral presente al momento de la siembra y

fSN_{ti-tf} , que corresponde al factor de suministro de N considerando el N mineral presente al momento de la siembra, menos el N mineral al momento de la cosecha.

3.5.4 Evaluaciones en el suelo. Se determinó el N mineral del suelo en las muestras recolectadas cada 15 días a través de análisis químico de nitrógeno mineral del suelo (N como nitrato más amonio), extractando con KCl 2 M el N mineral presente. Luego, se transforma todo el N mineral a forma amoniacal (aleación de vanadato y óxido de Mg), se recoge a través de arrastre de vapor y se titula usando ácido bórico como indicador. Los datos fueron expresados en kg N ha⁻¹.

3.6 Análisis estadístico

Para determinar las posibles diferencias en las variables evaluadas entre tratamientos se utilizó el análisis de varianza de Fisher, cuando los tratamientos presentaron diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para determinar las diferencias entre las medias de los tratamientos. El programa utilizado fue Statgraphics 2.0.

El ajuste de las ecuaciones de crecimiento acumulado y tasas de crecimiento se realizaron utilizando el programa estadístico GraphPad Prism v. 4,0.

4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Producción de materia seca total

La producción de materia seca en los ocho cultivares de trigo en estudio presentaron un comportamiento similar, caracterizado por un lento crecimiento inicial seguido por un incremento lineal hasta llegar al máximo de producción de materia seca total, para luego mantenerse constante sin presentar variación en la producción de materia seca. Estos resultados son similares a los de GREGORY et al. (1979a), quienes caracterizaron la producción de materia seca del trigo en tres fases de desarrollo: fase exponencial de lento crecimiento, fase lineal de rápido crecimiento y una fase constante, donde la producción de materia seca no presenta diferencias.

Para evaluar el desarrollo en el tiempo y determinar si existen diferencias en la producción de materia seca en cada cultivar de trigo al someterlas al tratamiento de disponibilidad de N en el suelo, los datos de producción de materia seca se ajustaron a una ecuación no lineal de modelo sigmoideo, en base a la producción de materia seca en función del tiempo

$$Y = Y_{min} + \frac{(Y_{max} - Y_{min})}{1 + \exp((B - X)/C)} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Y: Materia seca total acumulada (g MS m⁻²)

X: Tiempo desde emergencia (días)

Y_{min}: Producción mínima de materia seca total (g MS m⁻²)

Y_{max}: Producción máxima de materia seca total (g MS m⁻²)

B: Valor en el tiempo (X) donde se encuentra el punto de inflexión de la curva

C: Modificador de la pendiente de la curva

4.1.1 Producción de materia seca de los cultivares antiguos. La producción de materia seca en estos cultivares presentó un comportamiento dividido en tres fases, como ha sido señalado por GREGORY et al. (1979a) y ORTIZ-MONASTERIO (2003). En la primera fase, de lenta producción de materia seca, transcurrió desde la

emergencia hasta alrededor los 90 días posteriores a esta. La segunda fase, se observó al comenzar la elongación del tallo y la materia seca total aumentó rápidamente hasta llegar a un máximo de producción a los 151 días aproximadamente desde emergencia, estando el cultivo en estado de llenado de granos. La tercera fase correspondió al periodo comprendido entre los días 151 y 167 desde emergencia y donde el cultivo llega a madurez de cosecha (figura 7).

El comportamiento general de los cultivares antiguos, tanto como la producción de materia seca total, no fue afectado significativamente por el nivel de N en el suelo comparando el tratamiento N 0 con el tratamiento N 180 (figura 10). Sin embargo, los cultivares difirieron entre ellos en la producción de materia seca total (cuadro 9).

Cuadro 9 Producción de materia seca total (g m^{-2}) en cuatro cultivares antiguos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo.

Cultivar	Tratamiento	Materia seca total (g m^{-2})
Baron	N 0	3.132 a
Baron	N 180	3.171 a
Castaño colorado	N 0	3.119 a
Castaño colorado	N 180	3.321 a
Linaza	N 0	2.636 b
Linaza	N 180	2.854 b
Vilmorin	N 0	2.593 b
Vilmorin	N 180	2.688 b

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

La mayor producción de materia seca total se obtuvieron con los cultivares Castaño colorado con valores de 3.220 g m^{-2} promedio para ambos tratamientos N y el cultivar Baron con un promedio de 3.151 g m^{-2} , no presentando diferencias entre estos cultivares. Posteriormente se ubicaron el cultivar Linaza con un promedio de 2.745 g m^{-2} y el cultivar Vilmorin con un promedio para ambos tratamientos N de 2.640 g m^{-2} , no presentando diferencias entre estos cultivares, pero si con los cultivares Castaño colorado y Baron.

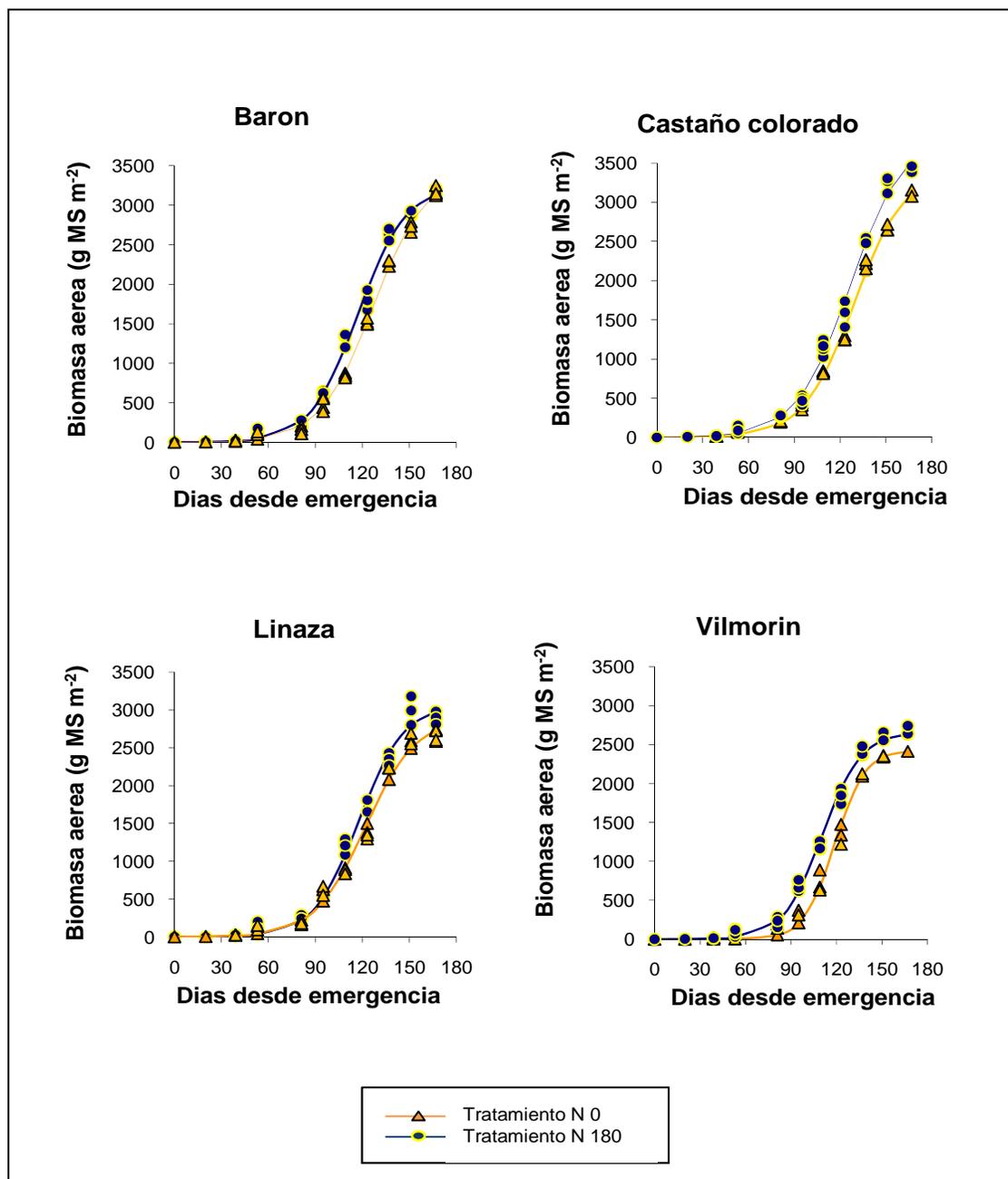


FIGURA 7 Producción de materia seca total (g m⁻²) en cuatro cultivares antiguos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo

CUADRO 10 Parámetros de ajuste a un modelo sigmoideo (ecuación 1) de la materia seca total producida en el tiempo, para dos niveles de disponibilidad de N en el suelo

Cultivar	Parámetros de ajuste A modelo sigmoideo	Tratamientos		P-valor
		N 0	N 180	
Baron	Y min	0	0	
	Y max	3443	3262	0,350
	B	127	117	0,015*
	C	16,66	15,43	0,454
	R ²	0,99	0,99	
	S _{yx}	74,5	114,7	
Castaño Colorado	Y min	0	0	
	Y max	3468	3864	0,103
	B	130	127	0,264
	C	16,92	17,24	0,836
	R ²	0,99	0,99	
	S _{yx}	73,19	125,6	
Linaza	Y min	0	0	
	Y max	2432	2667	0,210
	B	119	111	0,039*
	C	10,02	12,95	0,251
	R ²	0,95	0,98	
	S _{yx}	219	147	
Vilmorin	Y min	0	0	
	Y max	2922	3077	0,453
	B	122	118	0,271
	C	16,48	14,51	0,455
	R ²	0,95	0,98	
	S _{yx}	217	150	

* Indica diferencia estadística ($p < 0.05$; t-student)

Los parámetros de ajuste de la ecuación (cuadro 10), no indican diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N para la producción total máxima y mínima, como tampoco para el modificador de la pendiente de la curva. Las únicas diferencias se presentan en los cultivares Baron y Linaza en el punto de inflexión de la curva siendo en ambos casos menor para el tratamiento N 180, indicando que la máxima

tasa de producción de materia seca se alcanzó en un menor periodo de tiempo cuando se aplicó fertilización N.

4.1.2 Producción de materia seca de cultivares modernos. La producción de materia seca total de los cultivares modernos presentó al igual que los cultivares antiguos un periodo inicial de baja producción de materia seca comprendido entre la emergencia y hasta alrededor de los 90 días posteriores a esta, con el comienzo de la elongación del tallo la tasa de crecimiento aumenta rápidamente para llegar a un máximo de producción de materia seca estando el cultivo en el proceso de llenado de granos, para luego mantenerse constante hasta madurez de cosecha (figura 8).

Cuadro 11 Producción de materia seca total (g m⁻²) en cuatro cultivares modernos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo.

Cultivar	Tratamiento	Materia seca total (g m ⁻²)
Dollinco	N 0	2.309 b
Dollinco	N 180	2.522 a
Kumpa	N 0	1.711 d
Kumpa	N 180	2.098 c
Rupanco	N 0	2.189 cb
Rupanco	N 180	2.374 ba
Tukan	N 0	606 e
Tukan	N 180	2.251 cb

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

La producción de materia seca entre cultivares presentó diferencias (cuadro 11) y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo influyó directamente en el desarrollo de los cultivos. Ello fue evidenciando en una diferencia entre tratamientos de N en tres de los cuatro cultivares evaluados, los que corresponden a Dollinco, Kumpa y Tukan, registrando siempre una producción promedio de materia seca total menor en el tratamiento N 0, en comparación al tratamiento N 180. El cultivar Rupanco, también, presentó valores promedios de producción de materia seca total menores en el tratamiento N 0, en comparación al tratamiento N 180, pero no evidenciando una diferencia entre tratamientos.

El cultivar Dollinco presentó una producción de materia seca total máxima de 2.300 g m^{-2} para el tratamiento N 0 y 2.520 g m^{-2} para el tratamiento N 180, siendo esta última la mayor producción de materia seca obtenida entre los cuatro cultivares. Kumpa tuvo una producción de materia seca total máxima de 2.100 g m^{-2} para el tratamiento N 180 y 1.710 g m^{-2} para el tratamiento N 0. Tukan registro valores de 2.518 g m^{-2} para el tratamiento N 180, y 670 g m^{-2} para el tratamiento N0, siendo este el valor más bajo obtenido entre los cuatro cultivares. Por último el cultivar Rupanco presentó valores de 2.375 g m^{-2} para el tratamiento N 180 y 2.190 g m^{-2} para el tratamiento N0.

Los parámetros de ajuste de la ecuación (cuadro 12) indican una diferencia en la producción de materia seca total máxima para los cultivares Dollinco, Tukan y Kumpa. Sólo en los cultivares Tukan y Kumpa presentó diferencias en el punto de inflexión de la curva siendo en ambos casos menor para el tratamiento N 180, es decir alcanzaron la máxima tasa de producción de materia seca en un menor periodo de tiempo, a partir desde la emergencia, en comparación a los tratamientos N 0. Los demás parámetros de la ecuación no presentaron diferencias entre tratamientos.

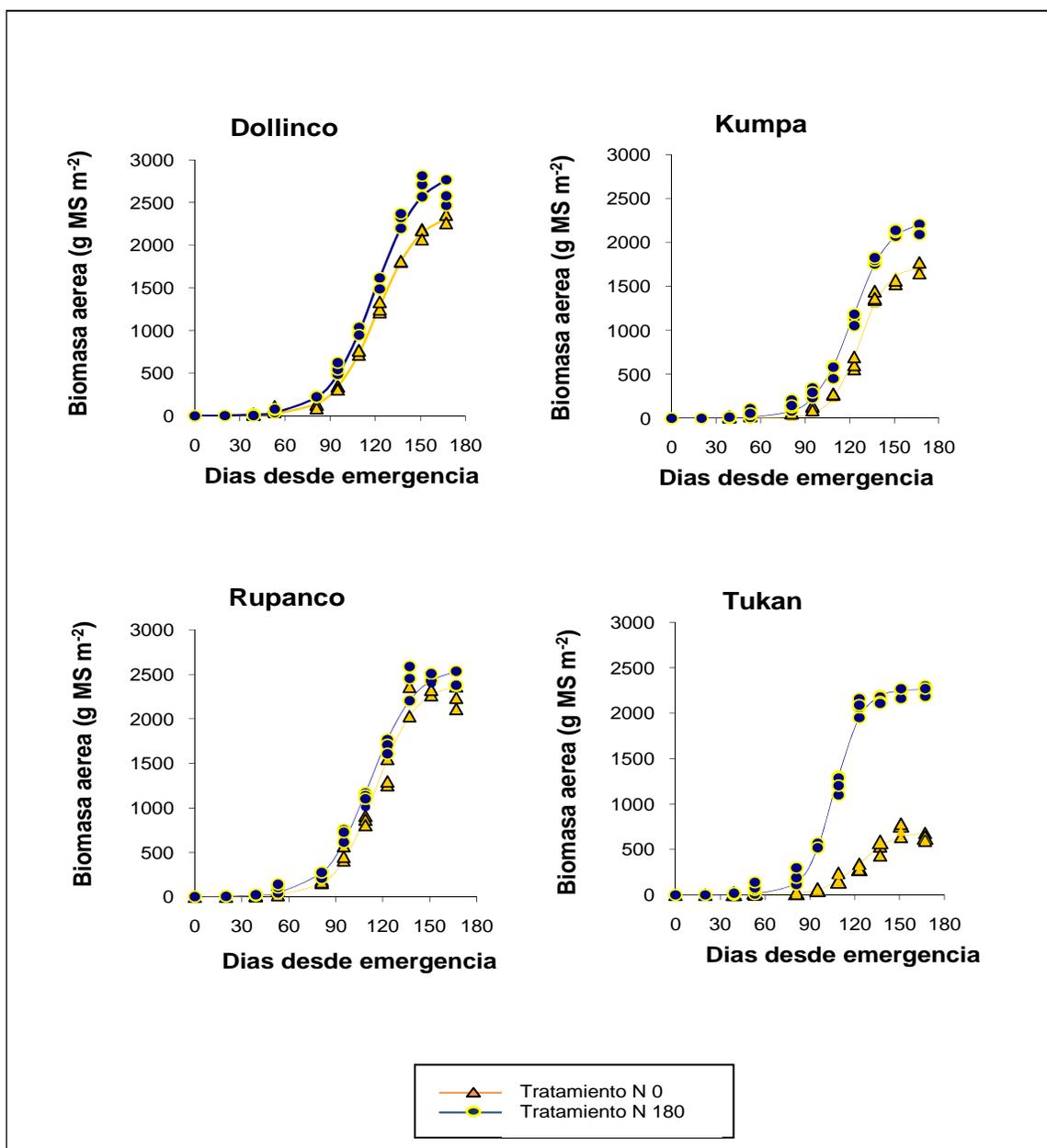


FIGURA 8 Producción de materia seca total (g m²) en cultivares modernos a dos niveles de disponibilidad de N en el suelo

CUADRO 12 Parámetros de ajuste a un modelo sigmoideo (ecuación 1) de la materia seca total producida en el tiempo, para dos niveles de disponibilidad de N en el suelo

Variedad	Parámetros de ajuste A modelo sigmoideo	Tratamientos		P-valor
		N 0	N 180	
Dollinco	Y min	0	0	
	Y max	2414	2893	0,021*
	B	121	119	0,464
	C	14,5	15,3	0,652
	R ²	0,99	0,98	
	S _{yx}	42,9	145,4	
Kumpa	Y min	0	0	
	Y max	1730	2267	0,002*
	B	127	122	0,034*
	C	9,4	12,4	0,057
	R ²	0,99	0,99	
	S _{yx}	68,5	80,4	
Rupanco	Y min	0	0	
	Y max	2410	2592	0,2748
	B	115	112	0,3038
	C	12,9	14,4	0,5328
	R ²	0,97	0,98	
	S _{yx}	177,5	140,1	
Tukan	Y min	0	0	
	Y max	697	2265	<0.0001*
	B	123	106	0,0032*
	C	11,6	9,2	0,325
	R ²	0,95	0,99	
	S _{yx}	62,2	95,9	

*Indica diferencia estadística ($p < 0.05$; t-student)

La producción de materia seca en los cultivares antiguos, no se vio afectada por la disponibilidad de N en suelo. Sin embargo, los cultivares modernos, a excepción de Rupanco, si presentaron variación en la producción de materia seca entre tratamientos de disponibilidad de N, presentando una respuesta positiva a la adición de fertilizante N al suelo. Estos resultados indican que en los cultivares antiguos, a diferencia de los cultivares modernos, la disponibilidad de N en el suelo no fue limitante en la producción

de materia seca total, incluso obteniendo mayores rendimientos que los cultivares modernos en el tratamiento N 180, lo que sugiere que los cultivares antiguos, presentan una mayor habilidad de absorción del N mineralizado en comparación a los cultivares modernos. El cultivar Rupanco sería el único de los cultivares modernos evaluados que conserva la capacidad de los cultivares antiguos para absorber el N mineralizado en el suelo, ya que la disponibilidad de N no fue un factor limitante en la producción e materia seca en este cultivar.

4.2 Rendimiento de grano

El rendimiento de grano obtenido para cada cultivar de trigo en estudio se presenta en el cuadro 13. En forma general, se determinó que los cultivares antiguos Baron, Vilmorin y Linaza no presentaron diferencias en el rendimiento de grano, entre tratamientos de disponibilidad de N. Por su parte, el cultivar antiguo Castaño Colorado y los cuatro cultivares modernos Dollinco, Tukan, Kumpa y Rupanco presentaron diferencias estadísticas significativas, entre tratamientos de disponibilidad de N, para la variable rendimiento de grano.

Cuadro 13 Variación en el rendimiento de grano de cultivares de trigo antiguos y modernos para los tratamientos N 0 y N 180.

Variedades	Materia seca (g m ²)		
	N 0	N 180	N180 - N0
Baron	1.118,79 a	1.160,65 a	41,86
Castaño colorado	529,48 b	650,51 a	121,03
Linaza	855,43 a	869,51 a	14,08
Vilmorin	801,67 a	818,51 a	16,84
Dollinco	1.019,68 b	1.131,51 a	111,83
Kumpa	753,04 b	839,51 a	86,47
Rupanco	1.138,67 b	1.258,71 a	120,04
Tukan	315,51 b	1.215,96 a	900,45

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

De los cultivares antiguos, Barón tuvo un rendimiento de grano de 1139 g m⁻² como promedio de ambos tratamientos N, Linaza 862 g m⁻² y Vilmorin 810 g m⁻².

Castaño Colorado, fue el único cultivar antiguo que presentó diferencias entre tratamientos, alcanzando rendimientos de grano de 529 g m^{-2} para el tratamiento N 0 y un rendimiento de 650 g m^{-2} para el tratamiento N 180, existiendo una diferencia de 121 g m^{-2} entre tratamientos.

El cultivar moderno Dollinco presentó rendimientos promedios para el tratamiento N 0 de 1.019 g m^{-2} , mientras que para el tratamiento N 180 fue de 1.131 g m^{-2} , estableciéndose una diferencia de 112 g m^{-2} entre tratamientos. Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los obtenidos por JOBET y HEWSTONE (2003), en ensayos realizados en la localidad de Purranque (X región) en los años 2001 y 2002. Ellos registraron rendimientos promedios de 1.084 g m^{-2} en condiciones de alta fertilización.

El cultivar moderno Tukan presentó rendimientos de grano de 315 g m^{-2} cuando no se aplicó fertilizante N. Sin embargo, cuando se aplicó 180 U N el rendimiento alcanzado fue cuatro veces superior (1.215 g m^{-2}), evidenciando una fuerte incidencia de la disponibilidad de N en el suelo, sobre el rendimiento en esta variedad. Los altos rendimientos de esta variedad con fertilización N, también han sido reportados por JOBET y HEWSTONE (2003), en ensayos realizados bajo óptimas condiciones de fertilidad del suelo y en 5 temporadas comprendidas entre los años 1996 y 2000. Ellos obtuvieron rendimientos promedios de 951 g m^{-2} , con un máximo de 1.243 g m^{-2} en la localidad de Purranque (X región). Estos valores son similares con los rendimientos obtenidos en este ensayo para el tratamiento con aplicación de 180 u N ha^{-1} . Sin embargo, los rendimientos alcanzados por el tratamiento N0 presentaron valores claramente menores, denotando una susceptibilidad de la variedad a la recuperación del N mineralizado en el suelo, para la producción de grano.

El cultivar moderno Kumpa presentó rendimientos de 753 y 839 g m^{-2} para los tratamientos N0 y N180 respectivamente, observándose una diferencia de 86 g m^{-2} entre tratamientos. Los rendimientos obtenidos en este estudio se encuentran bajo el rendimiento promedio obtenido en la localidad de Purranque (X región) y sobre el rendimiento promedio obtenido en la localidad de Traiguen (IX región) por JOBET Y HEWSTONE, (2003), ya que ellos reportan rendimientos promedios de 1.326 g m^{-2} en

la localidad de Purranque (X región) y 785 g m⁻² en Traiguen (IX región), en ensayos realizados en 5 temporadas entre los años 1996 y 2000, en condiciones de alta fertilización del suelo.

El cultivar Rupanco presentó rendimientos de 1.138 g m⁻² cuando no se aplicó N al suelo y 1260 g m⁻² para el tratamiento N 180, lo que implica una diferencia de 120 g m⁻² entre tratamientos. Estos resultados coinciden con los rangos de rendimiento obtenidos por JOBET y HEWSTONE (2003), quienes reportan un rendimiento promedio de 1.186 g m⁻² en la localidad de Purranque (X región), en las temporadas 2001 y 2002, en condiciones de alta fertilización del suelo.

El rendimiento de grano de los cultivares antiguos, a excepción del cultivar Castaño colorado, no presentaron variación entre tratamientos de disponibilidad de N, indicando que la disponibilidad de N en el suelo no fue un factor limitante en estos cultivares. El rendimiento más alto en los cultivares antiguos fue obtenido por Baron. Por su parte, los cultivares modernos presentaron variación en el rendimiento de grano, respondiendo positivamente a la aplicación de fertilizante N al suelo, lo que indica que el N disponible en el suelo, fue un factor limitante para la producción de grano en estos cultivares para el tratamiento N 0, donde los rendimientos alcanzados en los cultivares Dollinco, Kumpa y Tukan fueron menores a los alcanzados por el cultivar antiguo Baron, sin embargo, cuando se aplicó 180 u N ha⁻¹, sólo el cultivar Kumpa presentó un rendimiento menor que el cultivar Baron, evidenciando una diferencia en la habilidad de utilizar el N mineralizado del suelo entre los cultivares estudiados.

4.3 Índice de cosecha (IC)

El índice de cosecha corresponde a la proporción en porcentaje de la producción de MS de granos en relación a la producción de MS total de la parte aérea del cultivo.

En el cuadro 14 se observa que cada variedad de trigo en estudio no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de disponibilidad de N, por lo que para este parámetro no se determinó una variación significativa dependiente de la

disponibilidad de N en el suelo (N mineralizado versus N mineralizado más N fertilizante).

Cuadro 14 Índice de cosecha (%) de variedades de trigo antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno.

Variedad	IC (%)	
	N 0	N 180
Baron	34,59 a	36,87 a
Castaño colorado	17,27 a	18,58 a
Linaza	33,51 a	29,90 a
Vilmorin	38,17 a	32,98 a
Dollinco	49,18 a	43,72 a
Kumba	44,25 a	40,14 a
Rupanco	52,19 a	52,63 a
Tukan	51,52 a	53,75 a

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

Se observa en el Cuadro 14 una amplia variación en el IC, variando entre cultivares. En promedio los cultivares antiguos presentaron un valor de 30,2%, en tanto los cultivares modernos un valor promedio de 48,4%.

De las variedades antiguas, Castaño colorado presentó el menor IC con 17 % para el tratamiento N0 y 19 % para el tratamiento con fertilización N, las variedades Baron, Linaza y Vilmorin presentaron valores cercanos a 35% de IC (cuadro 12).

De las variedades modernas Kumpa tuvo un IC de 44 y 40%, Dollinco 49 y 44%, Tukan 52 y 54% y Rupanco 52 y 53% para los tratamientos sin aplicación de N y con aplicación de 180 U N respectivamente.

El menor IC de las variedades antiguas (Barón, Linaza, Vilmorin y Castaño Colorado) comparadas con las variedades modernas de este estudio, concuerda con lo mostrado por RICHARDS (1992), quien atribuye a la disminución de la altura de la planta una influencia directa en el IC, en donde una mayor altura de la planta se

correlaciona con plantas de menor IC. Su observación ha sido fundamentada por FLINTHAM et al., (1997) quienes señalan que al reducir la tasa de crecimiento del tallo, durante el periodo de crecimiento activo de la espiga, permite que se produzcan espigas más pesadas y con más floretes fértiles.

4.4 Altura de la planta

Cada cultivar de trigo en estudio no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de disponibilidad de N en el suelo, a excepción del cultivar Tukan que si presentó diferencias significativas entre tratamientos (cuadro 15).

CUADRO 15 Altura (cm) de ocho variedades de trigo con dos niveles de disponibilidad de N en el suelo.

Variedad	Altura (cm)	
	N mineralizado	N mineralizado + 180 U N
Baron	157 A a	150 A a
Castaño Colorado	153 A a	150 A a
Linaza	150 A a	147 A a
Vilmorin	138 A a	135 A a
Dollinco	110 B a	115 B a
Kumpa	100 B a	100 B a
Rupanco	96 BC a	113 B a
Tukan	83 C a	113 B a

Diferentes letras en columnas (mayúsculas) y filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

Los cultivares antiguos en comparación a los cultivares modernos, presentaron una mayor altura, con un promedio de 148 cm, no presentando diferencias entre ellas, pero diferenciándose de las variedades modernas que presentaron una altura promedio de 104 cm. La diferencia de altura encontrada entre los cultivares antiguos y modernos, concuerda con lo señalado por RAJARAM et al. (2002), los que indican, que la altura de la planta esta determinada por la presencia de genes enanizantes, denominados Rht1 y Rht2 (reduced height), donde, los cultivares que no portan estos genes tienen una mayor altura, como es el caso de los cultivares antiguos, en

comparación a los cultivares que sean portadores de uno o ambos genes, como es el caso de los cultivares modernos, que son portadores de un gen Rht.

Los cultivares antiguos Barón, Linaza y Castaño Colorado presentaron alturas de 150 cm aproximadamente y el cultivar Vilmorin una altura de 138 cm, que dentro de las variedades antiguas fue el que presentó un menor valor.

El cultivar moderno Kumpa presentó una altura de 100 cm para ambos tratamientos, lo que concuerda con lo señalado por JOBET y HEWSTONE, 2003 que describen este cultivar con una altura que varía entre 85 y 105 cm.

El cultivar Dollinco presentó valores de 110 cm para el tratamiento N 0 y 115 cm para el tratamiento N 180, valores que se asemejan a los obtenidos por JOBET y HEWSTONE, 2003, ellos describen a este cultivar con una altura que varía de 85 a 115 cm.

El cultivar Rupanco presentó valores de 96 y 113 cm, siendo similares a los resultados obtenidos por JOBET y HEWSTONE, 2003 que señalan valores que oscilan entre 85 y 115 cm

Tukan fue el único cultivar en estudio que presentó diferencias en la altura de la planta entre tratamientos de disponibilidad de N en el suelo, debido principalmente a la menor altura alcanzada por las plantas sometidas al tratamiento N 0, cuya altura fue de 83 cm, en contraparte el tratamiento N 180 que alcanzó una altura de 113 cm que se encuentra entre los rangos descritos por JOBET Y HEWSTONE, 2003 que señalan una altura entre 95 y 115 cm.

De los resultados obtenidos, se puede destacar que la altura de la planta, no representa un parámetro que determine diferencias de habilidad de absorción de N del suelo, pero si evidencia si el cultivo se expresó de forma normal de acuerdo a sus características morfológicas. En consideración a esto, los cultivares evaluados presentaron una normal expresión de su conformación estructural, a excepción del cultivar Tukan en el tratamiento N 0.

4.5 Concentración de N en los distintos órganos de la planta en estado de madurez de cosecha

La concentración de nitrógeno en la biomasa aérea, aumentó en todas las variedades al aplicar 180 U N en comparación al tratamiento N 0, pero este aumento no presentó diferencias estadísticas entre las medias para concentración de N total.

En el cuadro 16 se presentan los valores de la concentración de N en la biomasa aérea de las variedades de trigo estudiadas. En el tratamiento N0 se registraron valores de 0,74 % como mínimo, correspondiente al cultivar Castaño colorado y 1,09 % como máximo correspondiente al cultivar Tukan. Para el tratamiento N180 se registraron valores entre 0,88 % y 1,31 % correspondientes a los cultivares Castaño colorado y Rupanco, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los descritos por HIRZEL (2004), presentando valores para la concentración de N en trigo de 0,8 a 1,2 %, en estado de madures de cosecha y a lo obtenido por ORTIZ-MONASTERIO (1997) en ensayos realizados con variedades antiguas y modernas desarrolladas por CIMMYT, quien encontró que al aumentar la fertilización N, también aumenta la concentración total de N en la planta.

Si consideramos sólo la concentración de N, en hojas, tallos y espiguilla, se puede apreciar que, en cada cultivar de trigo en estudio, aumentó la concentración de N en el tratamiento N 180 en comparación al tratamiento N0 (cuadro 17). Sin embargo no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos de disponibilidad de N. La concentración de N en el tratamiento sin aplicación de N, presentó valores entre 0,31 % y 0,38% en todas las variedades, a excepción de la variedad Castaño colorado, que presentó una concentración de N de 0,47 %. Al aplicar 180 U N, la concentración de N encontrada fue de 0,40 % en las variedades Baron y Tukan, valores entre 0,50 y 0,59 % para los cultivares Castaño colorado, linaza, Vilmorin, Kumpa y Rupanco, y de 0,62 % para el cultivar Dollinco.

Cuadro 16 Concentración de N (%) total de variedades antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno.

Variedad	% de N en biomasa aérea		
	N 0	N 180	N 180 – N 0
Baron	0,81 a	0,95 a	0,14
Castaño colorado	0,74 a	0,88 a	0,14
Linaza	0,86 a	1,04 a	0,18
Vilmorin	0,85 a	1,14 a	0,29
Dollinco	0,97 a	1,20 a	0,23
Kumpa	0,94 a	1,09 a	0,15
Rupanco	1,06 a	1,31 a	0,25
Tukan	1,09 a	1,27 a	0,18

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

Cuadro 17 Concentración de N (%) en hojas + tallo + espiguilla en variedades antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno.

Variedad	% de N en Hoja + Tallo + Espiguilla		
	N 0	N 180	N 180 – N 0
Baron	0,33 a	0,41 a	0,08
Castaño colorado	0,47 a	0,56 a	0,09
Linaza	0,36 a	0,58 a	0,22
Vilmorin	0,34 a	0,59 a	0,25
Dollinco	0,37 a	0,62 a	0,25
Kumpa	0,38 a	0,56 a	0,18
Rupanco	0,33 a	0,50 a	0,17
Tukan	0,31 a	0,40 a	0,09

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

Por su parte, la concentración de N en el grano mantuvo la misma tendencia que la concentración de N en hojas, tallos y espiguilla, ya que en todos los cultivares se encontró una mayor concentración de N, pero no presentaron diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N en el suelo (cuadro 18). Los cultivares Vilmorin y

Dollinco presentaron la concentración más baja en el tratamiento N0, con 1,68 % para el cultivar Vilmorin y 1,58% para el cultivar Dollinco, los demás cultivares presentaron concentraciones para N0 que van desde 1,71 % y 1,74% en los cultivares Baron y Rupanco respectivamente, hasta 2,6% en el cultivar Castaño colorado, siendo este, el único cultivar que presentó una concentración superior al 2% en el tratamiento N0. En el tratamiento N180, los cultivares Baron, Dollinco y Kumpa obtuvieron los valores más bajos de concentración de N en el grano, con 1,89% para Baron y Kumpa y de 1,94% para Dollinco, seguidos por Tukan y Rupanco con 2,02% y 2,03% respectivamente, los mayores valores registrados para este tratamiento corresponden a Linaza Castaño colorado y Vilmorin con valores de 2,12%, 2,23% y 2,26% respectivamente.

Cuadro 18 Concentración de N (%) en el grano de variedades antiguas y modernas sometidas a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno.

Variedad	% de N en el grano		
	N 0	N 180	N 180 – N 0
Baron	1,71 a	1,89 a	0,18
Castaño colorado	2,06 a	2,23 a	0,17
Linaza	1,86 a	2,12 a	0,26
Vilmorin	1,68 a	2,26 a	0,58
Dollinco	1,58 a	1,94 a	0,36
Kumpa	1,64 a	1,89 a	0,25
Rupanco	1,74 a	2,03 a	0,29
Tukan	1,81 a	2,02 a	0,21

Diferentes letras en las filas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

La disponibilidad de N no influyó en la concentración de N en la planta. Al aplicar fertilizante N se produjo un aumento en la concentración de N en la planta, pero no presentando diferencias estadísticas entre tratamientos.

4.6 Mineralización de nitrógeno

La mineralización de nitrógeno durante el ensayo se midió cada 15 días en las parcelas con cubierta plástica y sin cubierta plástica (ver material y método) a una profundidad de 0-20, 0-40, 0-60 y 0-90 cm. Los valores obtenidos, tanto para las parcelas sin cobertura plástica, como para las con cobertura plástica, presentaron variaciones a lo largo del desarrollo del cultivo (figuras 9 y 10). Estas variaciones en el tiempo se deben a la mineralización del N orgánico presente en el suelo, por parte de la biomasa del suelo y a las pérdidas de N del suelo por lixiviación, inmovilización o desnitrificación. Cuando el balance de estos procesos fue positivo se observó un incremento en el N del suelo, en contraparte cuando el balance fue negativo se observó una disminución del N en el suelo.

Debido al objetivo general de este estudio y a lo complejo del sistema del N en el suelo, sólo se presentan los resultados obtenidos, como una idea general de la disponibilidad de N a lo largo del desarrollo del cultivo y no como un análisis del comportamiento del N en el suelo.

Para todas las parcelas evaluadas (con y sin cubierta plástica) los menores niveles de disponibilidad de N en el suelo, corresponden a la medición realizada al comienzo del ensayo, donde se registraron 88 kg N ha^{-1} distribuidos en los primeros 90 cm de suelo. Los máximos niveles de N disponible en suelo fueron de 171 kg N ha^{-1} para las parcelas sin cobertura plástica, alcanzados a los 138 días desde el inicio del ensayo y de 191 kg N ha^{-1} para las parcelas con cobertura plástica, alcanzados a los 110 días desde el inicio del ensayo.

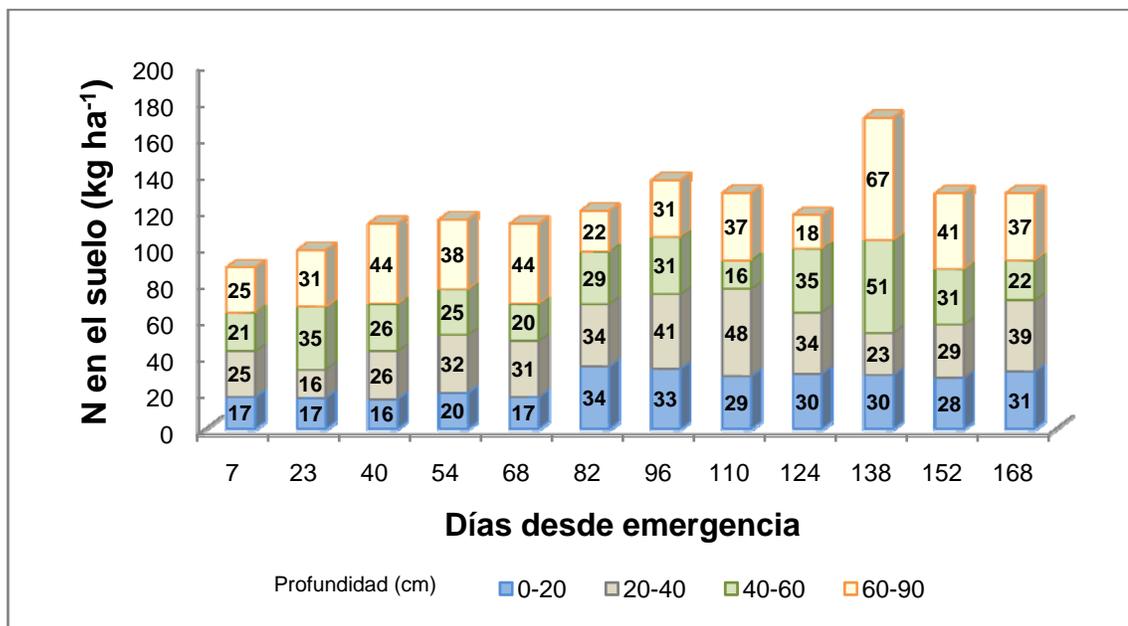


FIGURA 9 Nitrógeno mineral en el suelo en parcelas sin cobertura plástica

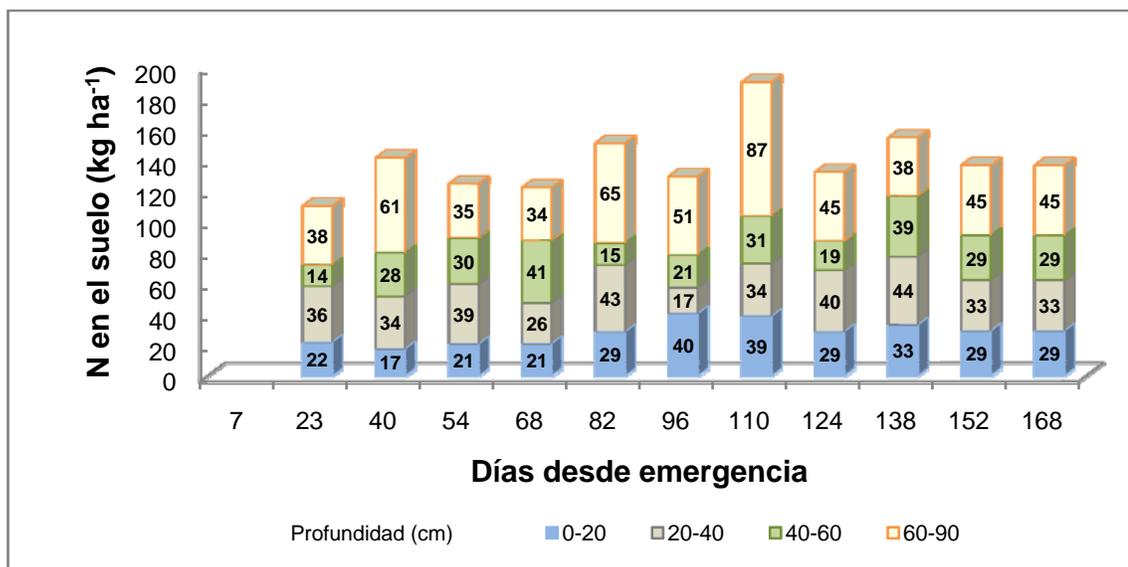


FIGURA 10 Nitrógeno mineral en el suelo en parcelas con cobertura plástica

La mineralización de N del suelo, se estimó de forma aproximada, calculando la diferencia de N entre mediciones, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$Nm = NPCC_n - NPSC_{(n-1)}$$

Donde:

N_m : Nitrógeno mineralizado.

$NPCC_{t_n}$: Nitrógeno mineral presente en la parcela con cobertura plástica en la medición n.

$NPSC_{(n-1)}$: Nitrógeno mineral presente en la parcela sin cobertura plástica en la medición n-1.

De la misma forma se estimó las posibles pérdidas producidas, utilizando la fórmula:

$$PN = NPCC_n - NPSC_n$$

Donde:

PN : Nitrógeno perdido.

$NPCC_{t_n}$: Nitrógeno mineral presente en la parcela con cobertura plástica en la medición n.

$NPSC_{(n)}$: Nitrógeno mineral presente en la parcela sin cobertura plástica en la medición n.

Los cálculos se realizaron tomando en consideración el N disponible en los primeros 90 cm del suelo, ya que a esta profundidad se encontrarían la mayor cantidad de raíces del trigo.

La mineralización acumulada a lo largo del desarrollo del cultivo, alcanzó 232 kg N ha⁻¹, los que potencialmente podrían ser utilizados por el cultivo. Por su parte las pérdidas de N disponible en el suelo alcanzaron los 181 kg N ha⁻¹, determinando una mineralización neta al término del cultivo de 51 kg N ha⁻¹ (figura 11).

La mineralización de N, durante el desarrollo del cultivo, puede resultar un aporte importante en el suministro de N, para satisfacer los requerimientos del cultivo. Sin embargo, la habilidad del cultivo para absorber este nitrógeno disponible, adquiere un rol fundamental para la economía del N, ya que este está presente en el suelo, pero

si no es utilizado se pierde en grandes cantidades (alrededor del 70 %), determinando un menor aprovechamiento del N mineralizado.

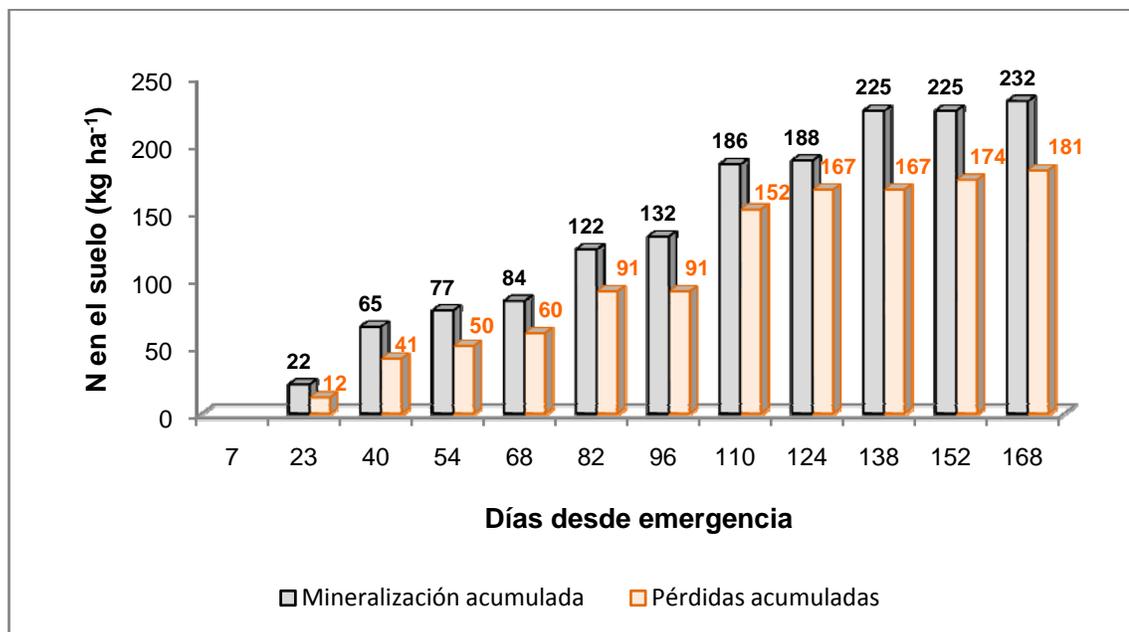


FIGURA 11 Mineralización y pérdidas acumuladas de N a 90 cm de profundidad

4.7 Eficiencia del uso de nitrógeno de los cultivares de trigo

La determinación de la eficiencia del uso de N como parámetro para evaluar de distinta forma el uso por el cultivo de la aplicación de N vía fertilizante, ha sido agrupada o clasificada en diferentes parámetros de eficiencia: eficiencia agronómica (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia agrofisiológica (EAF), eficiencia de recuperación evidente (ERE) y eficiencia de utilización (EU). Los valores obtenidos para los cultivares antiguos y modernos evaluados en este trabajo se presentan en el cuadro 19.

La eficiencia agronómica presentó diferencias entre cultivares, donde el valor más alto registrado corresponde al cultivar Tukan, que en base a una fertilización de 180 u N presentó un aumento de 50 kg de grano por cada kg de N agregado. Con una menor magnitud en comparación al cultivar Tukan se encuentran los cultivares Castaño colorado, Rupanco y Dollinco que presentaron una eficiencia agronómica cercana a

6,5 kg kg⁻¹. El cultivar Kumpa obtuvo una eficiencia agronómica de 4,8 kg kg⁻¹. Por último los cultivares Baron, Vilmorin y Linaza presentaron los valores más bajos de eficiencia agronómica, siendo de 2,4 kg kg⁻¹ para el cultivar Baron, 1,0 kg kg⁻¹ para Vilmorin y 0,8 kg kg⁻¹ para Linaza. Los resultados obtenidos en este estudio, a excepción de Tukan, se asemejan a los obtenidos por GUARDA et al. (2004), quienes reportan valores de eficiencia agronómica que van desde de 1 kg kg⁻¹ hasta 10 kg kg⁻¹ cuando se aplicó 160 u N fertilizante, en estudios realizados a cultivares de trigo utilizados en Italia desde el año 1900 hasta cultivares liberados en 1994.

La eficiencia fisiológica presentó diferencias entre cultivares, Tukan y Kumpa obtuvieron los mayores valores aumentando 7,4 kg kg⁻¹ y 6,6 kg kg⁻¹ la producción de MS total por kg de N absorbido proveniente de la fertilización N. En segundo lugar se encuentran los cultivares Castaño colorado y Dollinco con eficiencias de 4,3 kg kg⁻¹, un tercer grupo está compuesto por los cultivares Linaza, Vilmorin y Rupanco con eficiencias de 3,7 kg kg⁻¹, 2,3 kg kg⁻¹ y 2,2 kg kg⁻¹ respectivamente y por último el cultivar Baron obtuvo la eficiencia más baja con 1,0 kg kg⁻¹.

La eficiencia agrofisiológica representa los kg de grano producido por kg de fertilizante N absorbido por la planta, los cultivares presentaron diferencias entre si, siendo el cultivar Tukan el que presentó la mayor eficiencia con 40,5 kg kg⁻¹, los cultivares Castaño colorado, Kumpa y Rupanco presentaron eficiencias de 18,6 kg kg⁻¹, 17,4 kg kg⁻¹ y 14,5 kg kg⁻¹ respectivamente. Los cultivares Baron, Dollinco y Vilmorin registraron eficiencias de 11,3 kg kg⁻¹, 8,0 kg kg⁻¹ y 5,9 kg kg⁻¹, y por último el cultivar Linaza con 1,0 kg kg⁻¹. Los valores obtenidos para los cultivares Castaño colorado, Kumpa y Rupanco se asemejan a los obtenidos por GUARDA et al. (2004), quienes registraron valores entre 16 kg kg⁻¹ y 31 kg kg⁻¹ cuando se aplicó 160 u N, en estudios realizados a cultivares de trigo utilizados en Italia desde el año 1900 hasta cultivares liberados en 1994. Otros resultados como los obtenidos por ORTIZ-MONASTERIO (1998), dan cuenta de valores que van 27 a 36 kg kg⁻¹ cuando se aplicó 150 u N ha⁻¹, en estudios realizados con cultivares producidos por CIMMYT entre los años 1950 y 1985, siendo estos valores mayores a los obtenidos en este trabajo y a los obtenidos por GUARDA et al. (2004).

La eficiencia de recuperación evidente al igual que las eficiencias anteriores describe al cultivar Tukan con la mayor eficiencia, en este caso el porcentaje de recuperación de N proveniente de la fertilización fue de 119%. Los cultivares Dollinco, Vilmorin, Kumpa, Rupanco y Castaño colorado no presentaron diferencias entre si presentando una eficiencia promedio de 50,2 %. Los cultivares con la menor eficiencia corresponden a Linaza y Baron con 37,7 y 29,6 %. El valor usual para esta eficiencia es entre 50 a 60% (RODRIGUEZ et al., 2001). Un valor mayor al 100% como es el caso de Tukan solo es posible cuando la fertilización ayudó a la recuperación del N mineralizado del suelo, que sin el efecto de una fertilización inicial, el cultivo fue incapaz de absorber N mineralizado. Esto ratifica que el cultivar Tukan, al menos en las condiciones de este estudio, no fue capaz de recuperar eficientemente el N mineralizado del suelo.

La eficiencia de utilización representa los kg de materia seca producida por kg de fertilizante aplicado, existieron diferencias entre cultivares, siendo la eficiencia más alta la registrada en el cultivar Tukan con 8,8 kg kg⁻¹, posteriormente los cultivares Kumpa y Dollinco presentaron eficiencias de 3,0 kg kg⁻¹ y 2,6 kg kg⁻¹. Con una menor eficiencia de utilización están los cultivares Castaño colorado, Vilmorin y Linaza con 1,8 kg kg⁻¹, 1,4 kg kg⁻¹ y 1,4 kg kg⁻¹ respectivamente; y por último, los cultivares Rupanco y Baron con 1,0 y 0,3 kg kg⁻¹.

Cuadro 19 Eficiencia del uso de nitrógeno

Cultivar	Eficiencia de uso de N				
	Agronómica kg kg ⁻¹	Fisiológica kg kg ⁻¹	Agro fisiológica kg kg ⁻¹	Recuperación Evidente %	Utilización kg kg ⁻¹
Baron	2,36 d	0,95 d	11,34 bcd	29,6 d	0,28 e
Castaño C.	6,76 b	4,28 bc	18,66 b	42,8 bcd	1,83 bcd
Linaza	0,82 e	3,65 cd	1,01 e	37,7 cd	1,38 cde
Vilmorin	0,97 de	2,32 cd	5,91 de	58,9 b	1,37 cde
Dollinco	6,25 bc	4,32 bc	8,00 cde	59,9 b	2,58 bc
Kumpa	4,84 c	6,59 ab	17,41 b	45,0 bcd	2,97 b
Rupanco	6,71 b	2,16 cd	14,49 bc	44,7 bcd	0,97 de
Tukan	50,06 a	7,39 a	40,54 a	119,0 a	8,79 a

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas (p<0.05; Tukey).

De los cultivares en estudio, Tukan presentó la mayor eficiencia de uso de N, debido a que este cultivar obtuvo la menor producción de materia total y rendimiento de grano de los cultivares evaluados para el tratamiento N0, pero cuando se aplicó 180 u N ha⁻¹ aumentó considerablemente su producción de materia seca y el rendimiento de grano, donde este último sólo fue superado por el cultivar Rupanco. Estos altos valores de eficiencia de uso de N, denotan una susceptibilidad de este cultivar para su desarrollo dependiendo de la disponibilidad de N en el suelo, esto explicaría también, la eficiencia de recuperación evidente obtenida por el cultivar Tukan, correspondiente a 119%.

De forma contraria los cultivares Baron, Vilmorin y Linaza presentaron las menores eficiencias de uso de N, debido a que la disponibilidad de N no fue un factor limitante en la producción de materia seca total y rendimiento de grano, ya que no presentaron diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N,

Estos resultados sugieren, una diferente capacidad entre cultivares, en la absorción del N del suelo y su posterior uso, dependiendo de los niveles de disponibilidad en que este se encuentre.

4.8 Eficiencia de absorción relativa de nitrógeno mineralizado y del nitrógeno fertilizante

El nutriente más difícil de evaluar en su disponibilidad nativa desde el suelo para el cultivo es el N. No existe un método químico universalmente aceptado. La absorción del cultivo sin aplicación de fertilizante N, es considerada el índice de disponibilidad más confiable y se asume que es el N que se ha mineralizado en la temporada de cultivo. Esta aproximación, no considera una eficiencia de absorción del cultivo.

Para efecto del presente trabajo y con motivo de establecer un parámetro en la absorción de N y poder comparar las variedades en estudio, se ha determinado un valor de absorción de N, que denominamos eficiencia de absorción relativa de nitrógeno (ERA) descrito por la fórmula:

$$ERA = N \text{ absorbido} * (\text{Suministro } N)^{-1}$$

El cálculo de la eficiencia de absorción relativa de nitrógeno se realizó tomando como base el suministro de N, señalado por PINOCHET (2005) como:

$$\text{Suministro } N = N \text{ mineral} + fSN$$

El parámetro fSN es un factor de suministro de los suelos que representa el historial de manejos de residuos, que para la temporada en que se realizó este estudio, se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$fSN = N \text{ absorbido} - N \text{ mineral}$$

Ampliando el rango de análisis, se determinó el fSN en dos situaciones distintas que se han denominado fSN_{ti} y fSN_{ti-tf} , que corresponden al factor de suministro de N tomando en consideración, el N mineral presente al momento de la siembra (fSN_{ti}) y al factor de suministro de N considerando en N mineral presente al momento de la siembra descontándole el N mineral al momento de la cosecha (fSN_{ti-tf}). Los que se calcularon a través de las siguientes fórmulas:

$$fSN_{ti} = N \text{ absorbido} - N \text{ mineral en la siembra}$$

$$fSN_{ti-tf} = N \text{ absorbido} - (N \text{ mineral en la siembra} - N \text{ mineral en la cosecha})$$

Se calculó el fSN para los ocho cultivares en estudio (los valores de N mineral en la siembra y cosecha, como el N absorbido se presentan en anexos 1 y 2) y se utilizó el de mayor valor que correspondió al cultivar Baron (cuadro 20), con el cual se calculó el suministro de nitrógeno y la eficiencia de absorción relativa de nitrógeno.

El factor de suministro de N presentó diferencias entre cultivares. Cuando se considero sólo el N al momento de la siembra (fSN_{ti}), los valores más altos corresponden a Baron, Castaño colorado, Vilmorin, Dollinco y Rupanco con un

promedio de 119 kg N ha⁻¹, no presentaron diferencias entre ellos. Ya con valores más bajos se encuentran los cultivares Linaza con 87 kg N ha⁻¹, Kumpa con 41 kg N ha⁻¹ y por último Tukan con -45 kg ha⁻¹. Este último valor negativo indicaría que este cultivar no hubiese absorbido todo el N disponible en el suelo. Ahora, cuando se consideró el N en el suelo al momento de la siembra, pero descontándole el N en el suelo al momento de la cosecha ($fSN_{(ti-tf)}$), el factor de suministro de N es mayor en los cultivares Baron, Castaño colorado, Linaza, Vilmorin, Dollinco y Rupanco con un promedio entre cultivares de 209 kg N ha⁻¹, siendo Baron el que presentó el mayor valor con 232 kg N ha⁻¹. Con valores menores se encuentran los cultivares Kumpa con 150 kg N ha⁻¹ y Tukan con 43 kg N ha⁻¹. Los valores obtenidos en este estudio no concuerdan con los señalados por PINOCHET (2005) quien registra valores de fSN entre 20 y 100 kg N ha⁻¹, dependiendo del historial de manejo de los residuos, sin embargo, si asemejan a los valores registrados en este estudio para la mineralización de N del suelo (capítulo 4.6).

Cuadro 20 Factor de suministro de nitrógeno (kg N ha⁻¹) para los ocho cultivares en estudio.

Cultivar	fSN (kg N ha ⁻¹)	
	fSN_{ti}	$fSN_{(ti-tf)}$
Baron	138,24 a	232,32 a
Castaño Colorado	113,25 ab	207,33 a
Linaza	87,82 b	199,54 a
Vilmorin	114,06 ab	208,14 a
Dollinco	99,87 ab	188,07 a
Kumpa	40,75 c	149,53 b
Rupanco	132,90 a	216,69 a
Tukan	-45,10 d	42,26 c

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$; Tukey).

La eficiencia de absorción relativa de N, presentó diferencias entre cultivares en ambos tratamientos de disponibilidad de N (N0 y N180). Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 20.

La absorción relativa de N para el tratamiento N0, presentó las mismas características cualitativas, cuando se utilizó fSN_{ti} o fSN_{ti-tf} para ser calculada. Las

diferencias presentadas entre cultivares, indican que los cultivares antiguos Baron, Castaño colorado, Vilmorin y los cultivares modernos Dollinco y Rupanco obtuvieron las eficiencias de absorción de N más altas, no presentando diferencias entre ellos. El cultivar antiguo Linaza presentó una menor eficiencia de absorción que los cultivares ya mencionados, seguidos por los cultivares Kumpa y Tukan, siendo este último el que presentó la absorción de N más baja de los cultivares evaluados, para el tratamiento N0.

En términos cuantitativos la eficiencia relativa de absorción de N para N0, presentó diferencias cuando se utilizó fSN_{ii} o fSN_{ii-tf} para ser calculada, debido a que fSN_{ii} asume que todo el N presente en el suelo el momento de la siembra es absorbido por el cultivo, subestimando el aporte de N proveniente de la mineralización de N durante el periodo de desarrollo del cultivo. La absorción relativa de N, considerando fSN_{ii-tf} como factor de suministro de N, presentó valores de 0,73 y 0,72 kg kg^{-1} en los cultivares Baron y Rupanco, 0,66 kg kg^{-1} para los cultivares Castaño colorado y Vilmorin, 0,64 kg kg^{-1} para Dollinco, 0,59 kg kg^{-1} para Linaza, 0,45 y 0,21 kg kg^{-1} para los cultivares Kumpa y Tukan, respectivamente.

La absorción relativa de N para el tratamiento N 180, presentó las mismas características cualitativas, cuando se utilizó fSN_{ii} o fSN_{ii-tf} para ser calculada. El único cultivar evaluado que presentó diferencias en la absorción relativa de N fue Kumpa, que presentó una eficiencia menor que Baron, Vilmorin Dollinco y Rupanco.

Los valores obtenidos para la eficiencia relativa de absorción de N para el tratamiento N180 y utilizando fSN_{ii-tf} como factor de suministro de N, fue de 0,58 kg kg^{-1} como promedio para los cultivares Baron, Castaño colorado, Linaza, Vilmorin, Dollinco, Rupanco y Tukan, mientras que para Kumpa la eficiencia relativa de absorción fue de 0,45 kg kg^{-1} .

Los valores obtenidos indicarían una diferente capacidad de absorber el N del suelo, acentuándose estas diferencias a medida que disminuye el suministro de N, en donde la habilidad de cada cultivar para obtener el N del suelo determina una mayor o menor producción. Los cultivares Baron y Dollinco evidencian una mayor capacidad de

absorción de N en condiciones limitantes de N, a medida que aumenta el suministro de N en el suelo vía fertilización química de N. La mayor o menor habilidad de absorción de N que presenten los cultivares, comienza a disminuir su influencia sobre el desarrollo del cultivo, debido a que el suministro de N deja de ser un factor limitante en el sistema.

Cuadro 21 Eficiencia absorción relativa de nitrógeno, con respecto a Baron, de las variedades de trigo estudiadas.

Eficiencia de absorción relativa de N (kg kg ⁻¹)				
Cultivar	Suministro N (Nm + fSN _{ti})	Suministro N (Nm + fSN _(ti-tf))	Suministro N (Nm + fSN _{ti} + 180 u N)	Suministro N (Nm + fSN _(ti-tf) + 180 u N)
Baron	1,00 a	0,73 a	0,68 ab	0,56 ab
Castaño Colorado	0,90 ab	0,66 ab	0,71 ab	0,58 a
Linaza	0,80 b	0,59 b	0,63 ab	0,52 ab
Vilmorin	0,91 ab	0,66 ab	0,78 a	0,64 a
Dollinco	0,87 ab	0,64 ab	0,76 a	0,62 a
Kumpa	0,62 c	0,45 c	0,55 b	0,45 b
Rupanco	0,98 a	0,72 a	0,76 a	0,63 a
Tukan	0,29 d	0,21 d	0,66 ab	0,54 ab

Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas (p<0.05; Tukey).

$$ERA = N \text{ absorbido} * (\text{Suministro N})^{-1}$$

$$\text{Suministro N} = N \text{ mineral} + fSN$$

$$fSN_{ti} = N \text{ mineral en la siembra} - N \text{ absorbido}$$

$$fSN_{ti-tf} = fSN_{ti} - N \text{ mineral en la cosecha}$$

5 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye:

Los cultivares evaluados presentan una distinta respuesta a los niveles de disponibilidad de N en suelo. Los cultivares antiguos evaluados no fueron limitados en su producción de materia seca total por el nivel de disponibilidad del N mineralizado durante el período de evaluación. Sin embargo, los cultivares modernos variaron en su producción de materia seca total en función del N disponible en el suelo. Tukan fue el cultivar que se vio más afectado por los bajos niveles de disponibilidad de N, aumentando hasta cuatro veces su producción de materia seca total en el tratamiento N180, en comparación al tratamiento N0, caso opuesto al presentado por Rupanco, que no presentó diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N y obtuvo igual producción que Tukan, en el tratamiento N 180.

La producción de grano es un parámetro que registra mejor la disponibilidad de N en el suelo que la producción de materia seca total. De esta forma, el cultivar antiguo Castaño colorado y el cultivar moderno Rupanco, presentaron diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N, lo cual no se manifestaron en la producción de materia seca total.

Los parámetros de IC y altura de la planta, no serían afectados por la disponibilidad de N, los cuales responderían a una característica morfológica de la planta.

La concentración de N en la planta, tanto en la materia seca total como en el grano, no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

La eficiencia de uso del N medida en función de la producción de materia seca total y rendimiento de grano, en el tratamiento fertilizado fue dependiente de la capacidad que tiene el cultivar de absorber N mineralizado desde el suelo. De esta

forma, Tukan se presentó como el cultivo que tuvo las mayores eficiencias de uso del N y de esta forma la eficiencia de uso representa la eficiencia de uso del N fertilizante.

Los cultivares presentaron diferencias en la eficiencia de relativa de recuperación del N mineralizado del suelo, siendo el cultivaron Barón el de mayor eficiencia de recuperación y el cultivar Tukan el de menor eficiencia. Al considerar la eficiencia relativa de recuperación del N mineralizado en conjunto con el N del fertilizante los cultivares se homogenizan en la recuperación siendo el cultivar Kumpa el de menor eficiencia con un 45% difiriendo de Vilmorín, Dollinco y Rupanco (63%), con los otros cultivares evaluados en una situación intermedia (54%).

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación, fue determinar en condiciones de campo la eficiencia de absorción de N y sus efectos en la producción de materia seca de cuatro variedades de trigo invernales antiguos (utilizados en la zona sur de Chile antes de 1950) y cuatro variedades de trigo invernales modernos (que se utilizan actualmente en la zona sur de Chile), sometidas a dos situaciones de disponibilidad de nitrógeno, (a) sólo N mineralizado del suelo y (b) a N mineralizado más adición de N fertilizante. Los cultivares utilizados corresponden a los cultivares antiguos Baron, Castaño colorado, Linaza y Vilmorin, mientras que los cultivares modernos fueron Dollinco, Kumpa, Tukan y Rupanco.

Al analizar la producción de materia seca total de los cultivares antiguos, estos no presentaron diferencias entre tratamientos de disponibilidad de nitrógeno, por su parte, tres de los cuatro cultivares modernos, presentaron diferencias entre tratamientos en la producción de materia seca total.

El rendimiento de grano de los cultivares antiguos, a excepción del cultivar Castaño colorado no presentó diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N en el suelo, destacándose el cultivar Baron, que presentó un rendimiento promedio entre tratamientos de 1.140 g m^{-2} . Los cultivares modernos presentaron diferencias entre tratamientos de disponibilidad de N, destacándose los cultivares Dollinco y Rupanco que presentaron rendimientos de 1020 g m^{-2} y 1140 g m^{-2} para el tratamiento N0, mientras que para el tratamiento N 180 obtuvieron rendimientos de 1130 g m^{-2} y 1250 g m^{-2} . Tukan fue el cultivar que presentó la mayor diferencia entre tratamientos, aumentando cuatro veces el rendimiento cuando se aplicó 180 u N ha^{-1}

El IC en los cultivares antiguos y modernos, no presentó diferencias entre tratamientos de disponibilidad de nitrógeno. Sin embargo los cultivares modernos presentaron un IC más alto (48,4 %), que los cultivares antiguos (30,2%).

La altura de la planta, no presentó diferencia entre tratamientos de disponibilidad de N. Los cultivares antiguos presentaron una mayor altura, con un promedio de 148 cm, en comparación a los cultivares modernos, con un promedio de 104 cm.

La concentración de N en la planta, tanto en la materia seca total como en el grano, no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos.

La eficiencia del uso de N presentó diferencias entre cultivares, obteniendo Tukan las mayores eficiencias de uso de N entre los cultivares evaluados.

La eficiencia de absorción de N presentó diferencias entre cultivares, siendo estas, mayores a medida que se disminuye la disponibilidad de N del suelo, es así que para el tratamiento N 0, los cultivares Kumpa y Tukan presentaron las eficiencias de absorción más bajas, sin embargo al aumentar la disponibilidad de N en el suelo, sólo Kumpa presenta una eficiencia diferente al resto de los cultivares evaluados.

SUMMARY

The aim of this work was to determine the wheat nitrogen (N) efficiency uptake variation under field conditions and its effects on the wheat dry matter yield using four winter wheat old varieties (used in South of Chile before 1950) and four modern winter wheat varieties (being used at present time), the Winter wheat crop varieties were subjected to two different treatments of N availability: (a) mineralized soil native and (b) mineralized soil native N plus added N from fertilizer. Old cultivars used were Baron, Castaño colorado, Linaza and Vilmorin, and modern cultivars were Dollinco, Kumpa, Tukan and Rupanco.

The total dry matter yield of old Winter wheat cultivars evaluated was high and not affected by nitrogen availability treatments while three of the four modern Winter wheat cultivars evaluated shown significant differences in total dry matter yield. The grain yield of old cultivars, except Castaño colorado, did not show significant differences among N availability treatment. The highest yield among old cultivars was obtained by Baron with an average of 1140 g m^{-2} . Modern cultivars showed significant differences in grain yield due to N availability treatment, increasing Dollinco and Rupanco cultivars from 1020 g m^{-2} and 1140 g m^{-2} in N_0 treatment to 1130 and 1250 g m^{-2} in N_{180} treatment, respectively. Tukan cultivar showed the biggest increase in grain yield due to N fertilizer treatment increasing four times its grain yield.

In each cultivar, the harvest index (HI) was not affected by N availability treatments both old and modern cultivars. Nevertheless, modern cultivars showed in average a higher HI (48.4 %), than old old cultivars (30,2%) Also, plant height was not affected by N availability treatment in each cultivar, showing old cultivars a higher plant height (average of 148 cm) than modern cultivars (average 104 cm).

Internal N plant concentration both in total dry matter and grain not presented significant differences.

The N use efficiency measured using different parameters showed differences among cultivars when N fertilizer was considered. Tukan cultivar showed the biggest N use efficiency probably because it lack of ability to recover mineralized native N in this experiment..

The cultivars showed differences in relative efficiency of N uptake of native mineralized N, having the old cultivar Baron high recovery efficiency and modern cultivar Tukan the lower recovery efficiency. Considering both mineralized native N and N applied as fertilizer, the relative efficiency of N uptake was similar among cultivars evaluated, showing Kumpa cultivar the lower efficiency (45%) which was significantly difference from Vilmorin, Dollinco and Rupanco cultivars (average of 63%) whit other cultivars evaluated in an intermédiaire situation (54%).

7 BIBLIOGRAFIA

- ACAVEDO, E., SILVA, P. y SILVA, H. 2002. Wheat growth and physiology In: Bread wheat, Improvement and production. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y alimentación (FAO). Roma, Italia.
- BARRIGA, P. 1988. Mejoramiento genético y biotecnología en trigo. Agrosur. 17: 72-79.
- CHILE IREN-CORFO-UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.1978. Suelos de la provincia de Valdivia. 178 pp.
- CIMMYT, 1987. El desarrollo futuro del maíz y trigo en el tercer mundo. CIMMYT, México, D.F. 179 pp.
- DRECCER, M., RUIZ, R., MADDONNI, G y SATORRE, E. 2003. Bases Ecofisiologicas de la Nutrición en los Cultivos de Grano. In: Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 557 pp.
- EVANS, L. 1975. Crop Physiology. Universidad de Canbridge, Gran Bretaña. 357 pp.
- FAGERIA, N. y BALIGAR, V. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy 18: 97 – 185
- FAIGUENBAUM, H. 1987. Produccion de cultivos en Chile. Santiago, Chile. Publicitaria Torrelodones Ltda. 332 pp.
- FAO, 2006. Faostat. www.faostat.fao.org

- FAO, 2003. Fitogenética: la revolución verde y los milenios anteriores. www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/gmo2.htm
- GARCIA, A. 1998. Fertilización con N y Potencial de Rendimiento en Trigo In: Explorando altos rendimientos de trigo. INIA La Estanzuela, Colonia Uruguay. 339 pp.
- GILL, B. y FRIEBE, B. 2002. Cytogenetics, Phylogeny and evolution of cultivated In: Bread wheat, Improvement and production. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y alimentación (FAO). Roma, Italia. 71-88 pp
- GUARDA, G., PADOVAN, S. y DELEGU, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivar grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy. 21: 181-182.
- HEWSTONE, C. 1998. Los cambios genéticos y agronómicos que incrementaron el rendimiento de trigo en Chile In: Explorando altos rendimientos de trigo. INIA La Estanzuela, Colonia Uruguay. 339 pp.
- HEWSTONE, C y JOBET, C. 2001. Dollinco-INIA: Trigo alternativo para el sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile). 61: n.1
- HEWSTONE, C y JOBET, C. 2003. Kumpa-INIA: Nueva variedad de trigo invernal para el sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile). 63: n.1
- HEWSTONE, C. y JOBET, C. 2005. Rupanco - INIA: Una nueva variedad de trigo alternativo de pan. Agricultura Técnica (Chile). 65: 96-100
- HIRZEL, J. 2004. Fertilización del Cultivo In: Boletín de Trigo 2004 manejo tecnológico. Centro regional de investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Chile. 186 pp.

INGLETT, 1974. Wheat, Production and utilization. Inc Westfort, Connecticut. Estados Unidos. The Avi Publishing Company. 500 pp.

INIA, 2006. Catálogo de semillas. www.inia.cl

JOBET, C. ZUÑIGA, J. 2003. Mejoramiento de trigo para calidad industrial. Tierra Adentro. Julio-Agosto 2003. pp 34-37.

KIRBY, E. 2002. Botany of the wheat plant, In: Bread wheat, Improvement and production. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y alimentación (FAO). Roma, Italia.

LAUCHLI, A. BIELESKI, R, 1983. Inorganic plant nutrition. Editorial Springer-Verlag, Alemania. 449 pp.

LEONARD, W, MARTIN, J, 1963. Cereal Crop. The Macmillan Company, Estados Unidos. 801 pp.

MADDONI, R. VILARIÑO, P. GARCIA, 2003. Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. In: Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 557 pp.

MATUS y VEGA, 2004. Boletín de Trigo 2004 manejo tecnológico. Centro regional de investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Chile. 186 pp.

MELLADO, M. 1983. Algunas diferencias entre variedades antiguas y modernas de trigo. Simiente. 53: 55-59.

MELLADO, M. 2001. Las semillas de un siglo. Tierra Adentro. 40: 24-25.

- MENGEL, K. KIRKBY, E. 1982. Principles of plant nutrition. tercera edicion. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland. 655 pp.
- MONTALDO, P. 1991. El primer cultivo de trigo en Chile. Agrosur. 19: 67-69
- MONTALDO, P. 2004. Antecedentes históricos y anecdóticos de la agricultura chilena. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 287 pp.
- ODEPA, 2006. Producción de cultivos anuales. www.odepa.cl
- ORTIZ-MONASTERIO, J. 2002. Nitrogen management in irrigated spring wheat In: Bread wheat, Improvement and production. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y alimentación (FAO). Roma, Italia.
- ORTIZ –MONASTERIO, R., SAYRE. K., RAJARMAN. S y McMAHOM, M. 1997. Genetic progress in what yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. Crop Sci. 37: 898 – 904.
- PASSARELLA, V. SAVIN, R. 2003. Características físico-químicas de los granos y sus usos principales In: Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 557 pp.
- PEÑA, R. 2002. Wheat for bread and other foods. In: Bread wheat, Improvement and production. Organización de las naciones Unidas para la agricultura y alimentación (FAO). Roma, Italia.
- PINOCHET, D. 2005. El sistema de Recomendación de fertilización de cultivos extensivos en Chile. *En*: GARCÍA, F., MICUCCI, G. (Eds). Simposio de fertilidad 2005. Nutricion, producción y ambiente. INPOFOS / Fertilizar. Rosario, Argentina. pp 35 – 39.

- RODRÍGUEZ, J., PINOCHET, D. y MATUS, F. 2001. La fertilización de los cultivos. LOM ediciones. Santiago. Chile. 117 pp.
- RODRÍGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Facultad de agronomía pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. 289 pp.
- TAIZ, L. y ZEIGER, E. 2002. Plant Physiology, Tercera Edición. Editorial Sinaguer Associates, Inc. Estados Unidos. 690 pp.
- TISDALE, S., NELSON, W., BEATON, J. y HAVLIN, J. 1993. Soil fertility and fertilizers, quinta edición. Editorial Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 634 pp.
- VELAZCO y GONZALEZ, 2004. Antecedentes economicos en la producción de trigo In: Boletín de Trigo 2004 manejo tecnológico. Centro regional de investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Chile. 186 pp

ANEXOS

Anexo 1 Nitrógeno disponible en el suelo al momento de la siembra y la cosecha, para el tratamiento N0, en los cultivares de trigo evaluados.

Cultivar	N en el suelo para el tratamiento N0 (kg N ha ⁻¹)		
	N Siembra	N Cosecha	N Siembra - N Cosecha
Baron	119	94	25
Castaño colorado	119	94	25
Linaza	119	112	7
Vimorin	119	94	25
Dollinco	119	88	31
Kumpa	119	109	10
Rupanco	119	84	35
Tukan	119	87	32
Promedio	119	95	24

Anexo 2 Absorción de N en los cultivares evaluados, en estado de madurez de cosecha.

Cultivar	N absorbido (kg N ha ⁻¹)	
	N0	N180
Baron	257	299
Castaño colorado	232	309
Linaza	207	275
Vilmorin	233	339
Dollinco	224	332
Kumpa	160	241
Rupanco	252	332
Tukan	74	288

Anexo 3 Análisis de varianza para rendimiento de materia seca total de cultivares antiguos de trigo.

Fuente	SC	GI	CM	F calculado
A	15439880,921	7	2205697,921	556,142
Error	63457,070	16	3966067,000	
B	1669998,412	1	1669998,412	338,297
AB	2881725,366	7	411675,052	83,394
Error	78983,731	16	4936,483	
Total (corregido)	20134045,5	47		

Anexo 4 Análisis de varianza para rendimiento de materia seca total de cultivares modernos de trigo.

Fuente	SC	GI	CM	F calculado
A	15439880,921	7	2205697,921	556,142
Error	63457,070	16	3966067,000	
B	1669998,412	1	1669998,412	338,297
AB	2881725,366	7	411675,052	83,394
Error	78983,731	16	4936,483	
Total (corregido)	20134045,5	47		

Anexo 5 Análisis de varianza para rendimiento en grano de ocho cultivares de trigo.

Fuente	SC	GI	CM	F calculado
A	1973380,686	7	281911,527	995,007
Error	4533,219	16	283326,000	
B	311725,963	1	311725,963	785,089
AB	963445,187	7	137635,027	346,637
Error	6352,923	16		
Total (corregido)	3259437,977	47		

Anexo 6 Análisis de varianza para altura de plantas de ocho cultivares de trigo.

Fuente	SC	GI	CM	F calculado	P valor
Entre grupos	24981,3	15	1665,420	29,610	0.000*
Dentro de los grupos	1800	32	56,250		
Total (corregido)	26781,3	47			

* Indica diferencias significativas $P \leq 0,05$

Anexo 7 Análisis de varianza para Índice de Cosecha de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$).

Fuente	SC	GI	CM	F calculado	P valor
Entre grupos	0,617083	15	0,0411388	34,36	0,000*
Dentro de los grupos	0,037112	31	0,00119716		
Total (corregido)	0,654195	46			

* Indica diferencias significativas $P \leq 0,05$

Anexo 8 Análisis de varianza de concentración de N en la materia seca total de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$).

Fuente	SC	GI	CM	F calculado
A	0.002	7	0,000	14,287
Error	0,000	16	0,000	
B	0,001	1	0,001	133,228
AB	0,000	7	0,000	1,106
Error	0,000	16	0,000	
Total (corregido)	0,004	47		

Anexo 9 Análisis de varianza de concentración de N en el grano de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$).

Fuente	SC	GI	CM	F calculado
A	0.001	7	0,000	9,827
Error	0,000	16	0,000	
B	0,001	1	0,001	77,817
AB	0,000	7	0,000	2,101
Error	0,000	16	0,000	
Total (corregido)	0,003	47		

Anexo 10 Análisis de varianza de concentración de N en Hoja, tallo y espiguilla de ocho cultivares de trigo (asen $\sqrt{x/100}$).

Fuente	SC	GI	CM	F calculado
A	0,001	7	0,000	3,736
Error	0,001	16	0,000	
B	0,002	1	0,002	104,390
AB	0,000	7	0,000	2,160
Error	0,000	16	0,000	
Total (corregido)	0,004	47		

Anexo 11 Análisis de varianza de número de espigas por m² de ocho cultivares de trigo.

Fuente	SC	GI	CM	F calculado	P valor
Entre grupos	1011380	15	67425,300	82,760	0.000*
Dentro de los grupos	21182	26	814,712		
Total (corregido)	1032560	41			

* Indica diferencias significativas $P \leq 0,05$