

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**INTERVALO SEDA ANTESIS Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE SIETE
HIBRIDOS DE MAIZ USADOS EN CHILE.**

FRANCISCA JAVIERA SANDOVAL CASTILLO

SANTIAGO – CHILE
2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**INTERVALO SEDA ANTESIS Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE SIETE
HIBRIDOS DE MAIZ USADOS EN CHILE.**

**ANTHESIS SILKING INTERVAL AND ITS EFFECT ON YIELD OF SEVEN
MAIZE HYBRIDS USED IN CHILE.**

FRANCISCA JAVIERA SANDOVAL CASTILLO

SANTIAGO – CHILE
2015

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**INTERVALO SEDA ANTESIS Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE SIETE
HIBRIDOS DE MAIZ USADOS EN CHILE.**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo

FRANCISCA JAVIERA SANDOVAL CASTILLO

Profesores Guías	Calificaciones
Edmundo Acevedo H. Ingeniero Agrónomo, M. S., Ph. D.	6,0
Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo, M. S., Dr.	6,0
Profesor evaluador	
Cecilia Baginsky G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	4,5
Thomas Fichet L. Ingeniero Agrónomo, Dr.	5,9

SANTIAGO – CHILE
2015

AGRADECIMIENTOS

La gratitud es el sentimiento que nos obliga a estimar el beneficio o favor que se nos ha hecho o ha querido hacer, y a corresponder a él de alguna manera. Esta sensación está vinculada al agradecimiento y afecto personal, puro y desinteresado, compartido con otra persona, que nace y se fortalece con el trato, es la descripción perfecta de lo que siento hacia mis padres, Patricia y Samuel, ambos personas admirables que estuvieron, están y estarán a mi lado siempre, por su incondicional apoyo en esta aventura, que no ha estado exenta de obstáculos, pero que gracias a ellos he podido superar cada uno de ellos.

Claudia, mi hermana mayor, mi única hermana, con la cual tenemos una particular relación, ella siempre me ha orientado en cada decisión académica y personal, siempre ha sido un modelo a seguir y siempre que he tropezado ella me ha ayudado a levantarme, jamás tendré palabras para agradecer todo lo que ha hecho por mí.

Durante esta etapa hubieron dos personas fundamentales, que cada una a su forma supieron mantener el interés y la motivación para llegar a cumplir el objetivo, mis profesores guías, fueron claves para que este trabajo tuviera la calidad deseada, muchas gracias por no desistir, por confiar en mí y en este trabajo, más que profesores que cumplen con una labor, fueron como padres que sincera y desinteresadamente buscaron lo mejor para mí.

Mis amigas y amigos, desde las amistades que formé en el paso por esta emblemática casa de estudio, hasta las amistades personales, dentro de ellas quiero agradecer en particular a dos personas vitales en este proceso completo, Victoria que con sus constantes consejos supo mantener siempre mi ánimo para no renunciar, Luis Ignacio por no dudar ni un segundo en que lo lograría.

Ema y Violeta, los dos tesoros más preciosos que pudo darme la vida, mi motivación y alegría, mis hijas hermosas que fueron la razón principal para terminar este largo proceso, gracias por todo lo que han sacrificado, por brindarme su amor y apoyo a su forma.

La gratitud, esa sensación que me hace estimar el beneficio que ustedes provocaron en mi vida y en esta etapa de manera desinteresada espero quede plasmada a través de esta hoja de agradecimientos.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	5
Objetivo general y específicos	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Ubicación del experimento	6
Tratamientos	6
Diseño experimental	7
Labores culturales	7
Mediciones:	8
Mediciones Fenológicas	8
Mediciones Altura de planta, Biomasa, Rendimiento y Componentes	8
Estimaciones	9
Información metereológica	9
Análisis Estadístico	9
RESULTADOS	11
Estados fenológicos	11
ASI	13
Altura de plantas	14
Biomasa	15
Rendimiento	17
Componentes del rendimiento	18
Disminución porcentual de rendimiento y ASI en condición de estrés	20
Disminución porcentual de rendimiento y Δ ASI	21
DISCUSIÓN	22
Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y ASI	22
Deficiencia de nitrógeno y desarrollo del cultivo	23
CONCLUSIÓN	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXO	28

RESUMEN

El rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) está estrechamente relacionado con la condición fisiológica del cultivo, durante el período crítico de éste. Déficit de nitrógeno es uno de los factores que influyen en la disminución del rendimiento. Uno de los caracteres utilizados para determinar tolerancia a este tipo de estrés, por su alta relación con el rendimiento, es ASI, intervalo seda-antesis. El objetivo de este estudio fue determinar si los híbridos de maíz usados en Chile, más tolerantes a una condición de estrés, en este caso deficiencia de nitrógeno, son los que tienen un menor ASI. Los valores de rendimiento y ASI fueron medidos en híbridos de maíz DK619, Lerma, NK703, Río Cisnes, Río Maipo, Río Negro y Río Trancura lo que fue evaluado en dos ensayos, con y sin fertilización nitrogenada, los cuales se realizaron en la Estación Experimental Antumapu de la Universidad de Chile en la temporada 2011-2012 bajo condiciones de riego. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para cada uno de los ensayos, los bloques se distribuyeron en forma perpendicular a la pendiente del sector. Al realizar un análisis combinado de varianzas para ASI se detectó interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada ($p \leq 0,05$). El ASI no varió entre ensayos para los híbridos DK619 y Lerma siendo significativamente menor que los otros híbridos. Los híbridos que tuvieron mayor diferencia de ASI entre ensayos fueron Río Negro y Río Maipo, ambos con 4 días de diferencia. El rendimiento no tuvo interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada, por lo que el ranqueo de los híbridos no varió dentro de los ensayos. El rendimiento estuvo relacionado negativamente con el ASI, tanto en el ensayo con fertilización nitrogenada como en el ensayo sin fertilización nitrogenada, pero estas relaciones no fueron significativas para ninguno de los dos ensayos.

Con la finalidad de evaluar el efecto de la deficiencia de nitrógeno ocurrida producto de la no fertilización, sobre el rendimiento del cultivo en los siete híbridos de maíz, se planteó cuantificar la disminución porcentual del rendimiento (DPR). La disminución porcentual del rendimiento fluctuó entre un 14% y 43%. Con la finalidad de evaluar el efecto de la deficiencia de nitrógeno ocurrida producto de la no fertilización, sobre el ASI de los híbridos de maíz, se cuantificó Δ ASI entre ensayos. Esta variable tuvo una relación positiva y significativa con la disminución de rendimiento porcentual bajo condición de estrés ($r^2=0,75$ y $p\text{-value}=0,0069$).

Por lo tanto la limitante al rendimiento en la localidad evaluada es el déficit de nitrógeno para el cultivo. El mayor rendimiento se obtuvo en el ensayo con fertilización nitrogenada con el híbrido Río Maipo.

Los híbridos que tuvieron una menor disminución porcentual de rendimiento en condiciones de deficiencia de nitrógeno son los que tuvieron un menor ASI.

Palabras claves: *Zea mays L.*, déficit de nitrógeno, ASI, disminución porcentual de rendimiento.

ABSTRACT

The yield of maize (*Zea mays* L.) is closely related to the physiological condition of the crop during its critical period. Nitrogen deficiency is one of the factors influencing the yield's fall in. One of the characters used to determine stress tolerance due to its high correlation with yield, is ASI, anthesis - silk interval. The objective of this study was to determine whether corn hybrids used in Chile to a more tolerant stress condition, in this case nitrogen deficiency, are those with lower ASI. Yield and ASI for hybrids DK619, Lerma, NK703, Río Cisnes, Río Maipo, Río Negro y Río Trancura, was evaluated in two trials, with and without nitrogen fertilization, which were conducted at the Antumapu Experimental Station in University of Chile, in the 2011-2012 season, under irrigated conditions. Treatments were arranged as randomized complete block design with seven treatments replicated four times, the blocks are distributed perpendicular to the slope of the sector. When a combined analysis of variance for ASI was achieved, interaction between hybrid and nitrogen fertilization test ($p \leq 0.05$) was detected. The ASI did not differ between trials for hybrids DK619 and Lerma, being significantly lower than the other hybrids. The hybrids with a higher result as an ASI difference between trials, were Río Negro and Río Maipo, both 4 days apart from each other. The yield had not interaction between hybrid and nitrogen fertilization trial, thus the ranking of the hybrids did not vary within trials. The yield was negatively correlated with both ASI nitrogen fertilization test and in the test without nitrogen fertilization, but these correlations were not significant for none of the trials.

In order to evaluate the effect of nitrogen deficiency occurred due to the un-fertilization on the crop yield, it was proposed to quantify the yield percentage reduction (YPR). The yield percentage reduction ranged between 14% and 43%. In order to evaluate the effect of nitrogen deficiency occurred due to the un-fertilization on the ASI hybrids, it was proposed to quantify the Δ ASI between trials. This variable had a positive and significant correlation with ASI under stress condition ($r^2=0,75$ y $p\text{-value}=0,0069$).

Therefore the bounding one to yield in the evaluated locality is the deficit of nitrogen for the crop. The major yield was obtained in the trial with nitrogen fertilization by the hybrid Río Maipo.

The hybrids had a lower percentage decrease of yield under nitrogen deficiency are those who had lower ASI .

Key words: *Zea mays* L., nitrogen deficiency, ASI, yield percentage reduction.

INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays L.*, es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus bondades y multitud de usos se ha convertido en uno de los cultivos más importantes entre los cereales a nivel mundial, con una producción 979 millones de toneladas en la temporada 2013/2014 (USDA, 2014). El maíz en su conjunto (maíz para consumo humano directo y maíz para alimentación animal) aporta más del 50% a la alimentación mundial. Esto se debe fundamentalmente al progreso genético que se ha realizado para aumentar el rendimiento potencial de este cultivo, el que está aún por debajo del crecimiento de la demanda global, dentro de un contexto en que la superficie global cultivada esté al límite y una mayor producción deba provenir fundamentalmente de mayor rendimiento por unidad de superficie (Acevedo, 2011).

El rendimiento de maíz a nivel mundial es bajo, entre los 5.000 y 7.000 kg ha⁻¹, comparado con el rendimiento en Chile, donde el cultivo se realiza bajo riego, con un alto uso de fertilizantes, pesticidas y alcanzando un promedio de 13.270 kg ha⁻¹, ubicándolo entre los mayores rendimientos de maíz del mundo (ODEPA, 2013). Éste prácticamente se ha triplicado desde 1980 a la actualidad (ODEPA, 2011). El progreso se ha logrado por la utilización de híbridos de alto rendimiento en condiciones ambientales óptimas. Aún así, existe una brecha entre la media del rendimiento nacional y el rendimiento potencial de estos híbridos comerciales, que está sobre 20.000 kg ha⁻¹. La principal causa de la existencia de esta diferencia parece ser fundamentalmente falta de agua y baja nutrición durante el período de mayor sensibilidad del maíz, que ocurre entre 15 días antes y 15 días después de la emisión de la seda (Grant et al., 1989).

Uno de los caracteres más utilizado en los programas de mejoramiento genético de maíz para tolerancia a estrés, por su alta relación con el rendimiento, es el intervalo seda-antes (ASI) o tiempo que separa la emisión de sedas con la emisión de granos de polen. Este carácter presenta una alta heredabilidad en condiciones de estrés severo en floración, y bajo estas mismas condiciones, está altamente relacionado con rendimiento de grano (Bäzinger et al., 2000). La relativa baja heredabilidad del rendimiento de granos en condiciones de estrés y su fuerte correlación con el ASI, confirman la utilidad del uso de este carácter secundario en programas de mejoramiento genético para tolerancia al estrés (Betrán et al., 2003).

En condiciones sin estrés la emisión de panoja comienza con la emergencia de la inflorescencia masculina, cuando ésta se completa se produce la antesis y comienza la liberación del polen la cual puede extenderse por unos días. Por otro lado la floración femenina se manifiesta por la emergencia de las sedas desde la envoltura de las chalas de la mazorca. Las sedas que son fecundadas continúan creciendo hasta 10 días después de su emergencia; no obstante, si no son fecundadas, la receptividad de las sedas al polen cae marcadamente a partir aproximadamente del sexto día desde su emergencia. Todo el proceso de emergencia de las sedas de una mazorca transcurre entre cuatro a ocho días y la

duración es variable según los genotipos y las condiciones ambientales (Otegui y Andrade, 2000).

En condiciones que afectan negativamente el crecimiento de la planta, como sequía, déficit de nitrógeno, entre otros, la floración femenina se retrasa más de lo habitual en relación a la masculina, resultando en un aumento del ASI (Borrás et al., 2007). Esta asincronía es parcialmente responsable de una reducción del número de granos en la punta de la mazorca, característica que difiere entre los híbridos (Cárcova et al., 2003). Según estudios realizados por Bolaños y Edmeades (1996), el único carácter secundario que registró un cambio significativo cuando se seleccionó por mayor rendimiento de granos y más estables, fue la reducción del ASI bajo sequía, asociado con un mayor número de mazorcas por planta y granos por planta. Según Vasal et al. (1997), esto ocurre con prácticamente todos los tipos de estrés, como sequía, baja fertilidad de nitrógeno y fósforo, exceso de humedad, suelos ácidos, deficiencias de hierro, estrés bióticos de prefloración y alta densidad de plantas.

El uso de caracteres secundarios otorga mayor eficiencia a la selección en condiciones de bajo nitrógeno, debido a la mayor heredabilidad que algunos de estos caracteres poseen, en comparación con el rendimiento de grano (Edmeades et al., 1997), mejorando además la precisión para seleccionar genotipos tolerantes al estrés (Bäzinger et al., 2000).

En Chile los híbridos son de alto rendimiento y se desconoce si hay diferencias en el ASI de estos genotipos, bajo condiciones de suelos con pobre contenido de nitrógeno.

Entre los nutrientes esenciales para las plantas, el nitrógeno (N) es el que con más frecuencia limita el crecimiento y el rendimiento de maíz. Esto se debe a que el nitrógeno se incorpora en numerosos compuestos esenciales de la planta, estando más del 90% presente en las proteínas y/o enzimas (Rubisco). A pesar de lo complejo, el impacto del metabolismo del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento de maíz se puede resumir en dos funciones generales: 1) establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética y 2) desarrollo y crecimiento de los sumideros reproductivos (Below, 1995). Dentro de ciertos límites, el aumento en la disponibilidad de nitrógeno aumenta el crecimiento y el vigor de la planta, mientras que la carencia resulta en plantas pequeñas y de color pálido.

Para alcanzar altos rendimientos, se necesita no solamente una alta capacidad fotosintética de la planta, sino también que ésta continúe durante la formación y crecimiento del grano. Esta fase es particularmente importante debido a que la acumulación de materia seca en el grano de maíz depende fundamentalmente de la fotosíntesis que ocurra en esa etapa. La mayor parte del nitrógeno presente en el tejido vegetal de la planta se presenta como proteína enzimática en los cloroplastos. Estas proteínas están sujetas a desintegración y los aminoácidos resultantes se remobilizan dentro de la planta. La capacidad fotosintética de las hojas disminuye con el envejecimiento y con esto también se reduce el rendimiento en grano. Cuando existe carencia de nitrógeno esta reducción ocurre más rápidamente y en consecuencia se forman mazorcas más pequeñas con menos granos (Below et al., 2000).

A pesar de que la capacidad productiva del maíz es en función del número y del tamaño de los granos. El número de granos por planta está normalmente más relacionado con el rendimiento que cualquier otro factor de la producción. Below, (1995); Uhart y Andrade,

(1995) señalan que el aumento de rendimiento, inducido por el nitrógeno, es fundamentalmente el resultado de más granos por planta. Se observa que el aumento en las dosis de nitrógeno causa un menor impacto en el peso individual de los granos que en el número total de éstos, lo que se explica gracias a un menor número de aborto de granos o a un menor número de granos que detienen su desarrollo. Éste fenómeno se observa en la punta de la mazorca.

Hipótesis

Los híbridos de maíz usados en Chile, más tolerantes a una condición de estrés, son los que tienen un menor ASI.

Objetivo General

Determinar el rendimiento con y sin fertilización nitrogenada y su relación con el intervalo seda-antesis en siete híbridos de maíz altamente utilizados en Chile.

Objetivos específicos

Determinar el rendimiento de siete híbridos de maíz con y sin fertilización nitrogenada.

Determinar el intervalo seda-antesis (ASI) en siete híbridos de maíz con y sin fertilización nitrogenada.

Determinar la relación existente entre el rendimiento y ASI en los siete híbridos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento y condición edafoclimática

El experimento fue realizado durante la temporada 2011/2012, en la Estación Experimental Antumapu, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, región Metropolitana, Chile (33°40' m latitud sur, 70°38' longitud oeste y 605 m.s.n.m.). El clima es templado mesotermal estenotermico mediterráneo semiárido (INIA, 1989), con temperatura anual que varía entre una máxima promedio de 28,2 °C en enero y una mínima promedio de 4,4 °C en julio. La precipitación es invernal, con una media anual de 369,5 mm y un período seco de 8 meses entre septiembre y abril (Santibáñez y Uribe, 1990). El suelo pertenece a la Serie Santiago de origen aluvial, con profundidad media de 60 cm, textura franco arcillo arenosa en superficie, buen drenaje, contenido de materia orgánica de 2,4% y pH 7,5 (CIREN, 1996).

Tratamientos

Se evaluaron 7 híbridos de maíz de distintas compañías, todos de precocidad intermedia, en dos ensayos: uno con fertilización nitrogenada (N+) y otro sin fertilización nitrogenada (N-), los que se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. : Composición de los tratamientos.

Tratamiento	Compañía	Híbrido
1	Anasac	DK619
2	Experimental	Lerma
3	Syngenta	NK703
4	Winter Seed	Río Cisnes
5	Winter Seed	Río Maipo
6	Winter Seed	Río Negro
7	Winter Seed	Río Trancura

Para el ensayo con fertilización nitrogenada la dosis de nitrógeno fue calculada en base a lo planteado por Faiguenbaum (2003) en donde los híbridos pueden alcanzar 200 qq ha⁻¹.

$$\text{Dosis de N} = \frac{400 (\text{demanda de N}) - 120 (\text{suministro del suelo})}{0,55 (\text{eficiencia de la fertilización N})} = 509 \text{ kg de N ha}^{-1}$$

Para el ensayo sin fertilización nitrogenada se consideró un aporte del suelo de 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno, correspondiente al aporte medio de un suelo de alto rendimiento con incorporación de rastrojos, Faiguenbaum (2003).

Diseño experimental

Cada ensayo estuvo estructurado en un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos. Los bloques se distribuyeron en forma perpendicular a la pendiente del terreno (Figura 1). El tamaño de la unidad experimental fue de 18 m² (3 m de ancho x 6 m de largo). La unidad de observación donde se realizaron las mediciones correspondieron a las 2 hileras centrales por 4 m de largo.

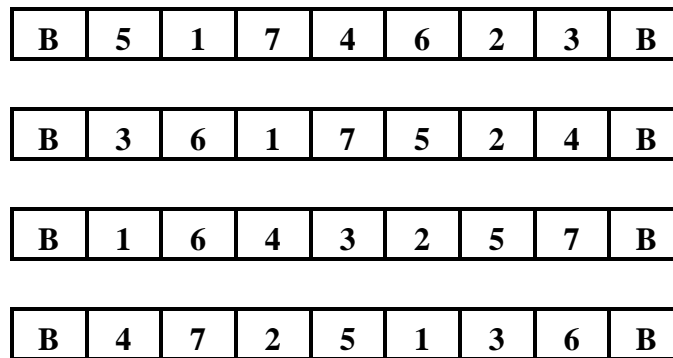


Figura 1. Diseño experimental de los dos ensayos: con fertilización nitrogenada y sin fertilización nitrogenada; y distribución de los tratamientos (B=borde, 1=DK619, 2=Lerma, 3=NK703, 4=R. Cisnes, 5=R. Maipo, 6=R. Negro y 7=R. Trancura) en esquema de campo.

Labores culturales

El suelo donde se llevó a cabo los ensayos provenía de una pradera natural de 3 años, la cual fue incorporada al suelo con arado de vertedera en marzo del 2011. Para acondicionar el suelo para la siembra, este se regó y posteriormente se rastreó, lo que permitió dejarlo mullido. Los requerimientos de N, P y K se determinaron en función del análisis de suelo (Anexo 1). Para el caso del fósforo se aplicaron 150 kg P₂O₅ ha⁻¹ en forma de superfosfato triple. Respecto al potasio se fertilizó con 50 kg de K₂O ha⁻¹ en forma de sulfato de potasio. Ambos fertilizantes fueron incorporados con el último rastraje. La fertilización nitrogenada se aplicó de forma parcializada como urea, 1/3 de la dosis al momento de la siembra junto al fósforo y potasio, y 2/3 en el estado de octava hoja del cultivo aplicado entre la hilera en forma manual. La siembra del maíz se realizó con bastón el 20 de octubre del 2011, con una distancia entre hilera de 0,75m y sobre hilera 0,125 m.

Las plantas fueron regadas, considerando un umbral de riego del 50% de la humedad aprovechable, el sistema de riego utilizado fue por surcos.

Mediciones

Fenología

Las mediciones se realizaron día por medio entre las 9:00 am y las 11:00 am desde emergencia hasta que todos los tratamientos llegaron al estado de madurez fisiológica.

Antesis: se consideró que la parcela había llegado a antesis cuando el 50% de las plantas observadas tenían al menos 1 antera colgando de la panoja. Lo cual indicó que la liberación de polen había comenzado.

Emisión de estilos: se consideró que la parcela había llegado a emisión de estilos cuando el 50% de las mazorcas tenían al menos 0,5 cm de estilos visibles.

Madurez fisiológica: estado que se alcanza cuando los granos tienen aproximadamente un 37% de humedad; en ese momento estos han alcanzado su máximo crecimiento y su mayor expresión de calidad. Por lo tanto se observó en la mitad superior de las mazorcas de cada parcela si en la base de la carióspside, que debe ser de un color amarillo intenso, se había formado un “punto negro”, lo que es producto de la necrosis de los haces vasculares que conectan el grano con los tejidos maternos, esta situación coincide con el porcentaje de humedad del estado ya señalado.

Altura de plantas

Al estado de R1 (floración) se midió la altura de planta en 10 plantas ubicadas en las hileras centrales de cada unidad experimental. La medición contempló desde la base hasta la inserción de la panoja. La altura se expresó en metros.

Biomasa seca aérea

Una vez que las plantas llegaron a madurez fisiológica se cosecharon 4 m lineales por unidad experimental provenientes de las 2 hileras centrales, el resto fue considerado borde. Las plantas fueron cortadas a ras de suelo y llevadas a estufa con aire forzado a 70°C por 24 horas, tiempo en que las plantas alcanzaron peso constante. El valor se expresó en kg ha⁻¹.

Rendimiento y componentes

Una vez que las plantas llegaron a madurez fisiológica se cosecharon 4 m lineales por unidad experimental provenientes de las 2 hileras centrales, el resto fue considerado borde. Se contabilizó el número de mazorcas cosechadas por planta y luego se eligieron 10 al azar, las que fueron desgranadas, los granos fueron llevados a estufa a 72°C hasta lograr un peso constante. Una vez secos, se eligieron al azar 1000 granos y se les determinó su peso.

A partir de esta información se obtuvo el rendimiento y sus componentes (peso 1000 granos, granos hilera⁻¹ y granos mazorca⁻¹).

Estimaciones

Con la información obtenida a partir de las mediciones realizadas se calculó número de granos m⁻², ASI e IC de la siguiente forma:

Número de granos por m²: los granos m⁻² se estimaron como el producto del número de mazorcas planta⁻¹ multiplicado por el número de granos mazorca⁻¹ y por la densidad del cultivo expresada en individuos por m² (Meynard y David, 1992).

ASI (Intervalo seda-antesis) = días 50% sedas – días 50% antesis (Bolaños y Edmeades, 1996).

IC (Índice de cosecha)= (rg_i/rb_i) x 100

En donde, rg_i= rendimiento de grano de cada híbrido (kg ha⁻¹),y rb_i= rendimiento de biomasa de cada híbrido (kg ha⁻¹) (Schneider et al., 1997).

Información meteorológica

La información meteorológica necesaria para caracterizar la temporada (temperatura máxima, mínima, humedad relativa y precipitación), se obtuvo de la Estación Meteorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias La Platina, ubicada aproximadamente a 1000 m del ensayo (33°40' Sur; 70°37' Oeste; 631 m.s.n.m).

Análisis Estadístico

Los datos fueron sometidos a las pruebas de normalidad de Shapiro y Wilk y de homogeneidad de varianzas de Bartlett (Steel y Torrie, 1980), antes de aplicar los métodos para estudiar la interacción híbrido ensayo nitrogenado de los híbridos de maíz.

Los resultados obtenidos de cada tratamiento: rendimiento y componentes, ASI, biomasa, altura de planta, IC, peso 1000 granos, granos hilera⁻¹ y granos mazorca⁻¹ se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) con estructura anidada de tratamiento mediante el programa Infostat ® versión estudiantil 2013e. El análisis de varianza para un diseño experimental de bloques completos al azar para evaluar híbridos en varios ensayos se fundamenta en el siguiente modelo (Sahagún, 1998):

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + R(A)_{k(j)} + G_i + (GA)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: μ es la media general; G_i , A_j y $(GA)_{ij}$ son los efectos de híbridos, ensayos e interacción híbrido ensayo nitrogenado, respectivamente; $R(A)_{k(i)}$ es el efecto de repeticiones anidadas dentro de los ensayos; y ε_{ijk} el error experimental de la ijk -ésima observación.

Al identificarse diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron separadas mediante el test de DGC ($p \leq 0,05$).

Se realizaron regresiones con el objetivo de asociar las variables rendimiento y sus componentes; ASI y rendimiento; ASI y granos m^{-2} ; altura de plantas y biomasa aérea total para cada ensayo utilizando Microsoft Office Excel versión 2007.

RESULTADOS

Caracterización de la temporada y análisis de suelo

La temporada 2011-2012 para el cultivo de maíz (Octubre-Abril, Cuadro 2) se caracterizó por tener una primavera-verano seca y calurosa en la Región Metropolitana, con temperatura máxima promedio de 30 °C. En tanto que la mínima más baja se registró en octubre con 7,1 °C y la temperatura promedio más baja también ocurrió en este mes con 14,9 °C. La temperatura media se mantuvo alrededor de 20 °C, mientras que la humedad relativa promedio de la misma fue de un 52%, aumentando en abril a 63% (Anexo 2).

La información del análisis de suelo se obtuvo de una muestra tomada al momento de la siembra en un cultivo de maíz aledaño al de los ensayos, la cantidad de nitrógeno disponible que contenía era de 15 ppm, catalogado como bueno, aportando 117 kg N ha⁻¹.

Estados fenológicos

Al realizar un análisis combinado de varianza, no se detectó interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada ($p \leq 0,05$) para el período de siembra a estado de emisión de polen, ni para el período de siembra a estado de emisión de sedas. Se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre ensayos y entre híbridos.

Los híbridos más precoces, para el período de siembra a emisión de polen, fueron DK619 y Río Cisnes, tardando ambos 81 días, en el ensayo con fertilización nitrogenada, lo cual se mantuvo para el ensayo sin fertilización nitrogenada con 84 y 85 días respectivamente. Los híbridos más precoces, para el período de siembra a emisión de sedas, fueron DK619 y Río Cisnes, tardando ambos 82 días, en el ensayo con fertilización nitrogenada, lo cual se mantuvo para el ensayo sin fertilización nitrogenada con 86 y 89 días respectivamente. Por otro lado NK703 fue el híbrido más tardío para período de siembra a emisión de polen tardando 87 días en el ensayo con fertilización nitrogenada y 90 días en el ensayo sin fertilización nitrogenada, lo cual se repite para la el período de siembra a emisión de sedas tardando 89 días en el ensayo con fertilización nitrogenada y 94 días en el ensayo sin fertilización nitrogenada.

Al no haber interacción entre híbridos y ensayo con fertilización nitrogenada el ranqueo de éstos se mantuvo en los ensayos. En el ensayo sin fertilización nitrogenada la emisión de polen ocurrió en promedio entre híbridos 3 días después que en el ensayo con fertilización nitrogenada (Figura 2a) y la emisión de sedas ocurrió en promedio entre híbridos 6 días más tarde al compararlo con el ensayo con fertilización nitrogenada (Figura 2b).

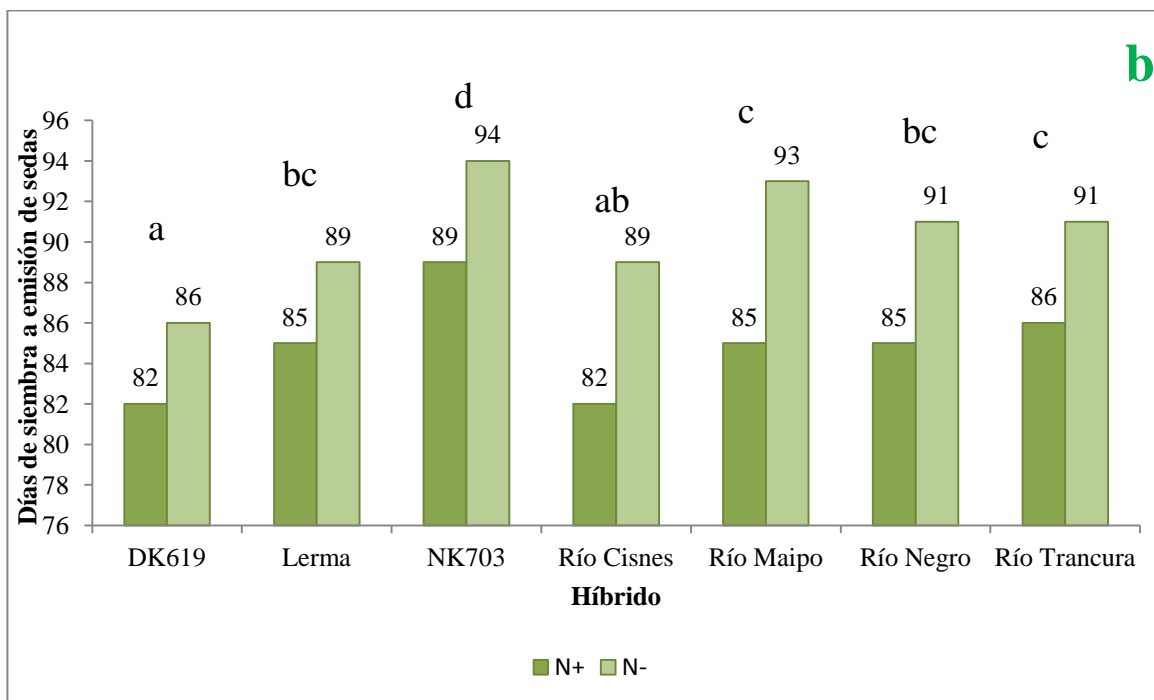
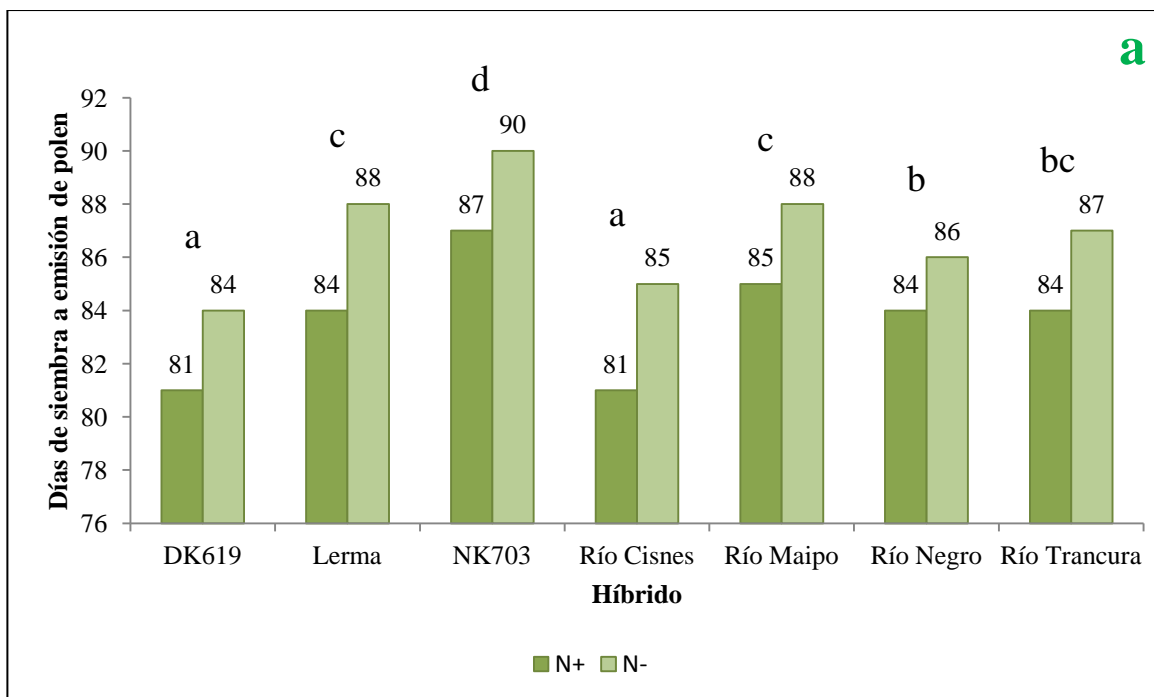


Figura 2. Floración masculina de los híbridos en ambos ensayos (a) y Floración femenina de los híbridos en ambos ensayos (b). N+ es el ensayo con fertilización nitrogenada y N- es el ensayo sin fertilización nitrogenada.

ASI

Al realizar un análisis combinado de varianza para ASI, se detectó interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada ($p \leq 0,05$), por lo tanto el comportamiento de los híbridos varió de acuerdo a la fertilización nitrogenada.

En el ensayo con fertilización nitrogenada no hubo diferencias estadísticamente significativas para ASI entre híbridos.

En el ensayo sin fertilización nitrogenada el ASI varió entre los híbridos, con valores que fluctuaron entre 1,3 a 5 días, siendo los híbridos NK703, Río Cisnes, Río Maipo, Río Negro y Río Trancura los que tuvieron un mayor ASI. Los híbridos DK619 y Lerma tuvieron el mismo valor de ASI en ambos ensayos. Los híbridos que tuvieron mayor diferencia de ASI entre ensayos fueron Río Negro y Río Maipo, ambos con 4 días de diferencia (Figura 3).

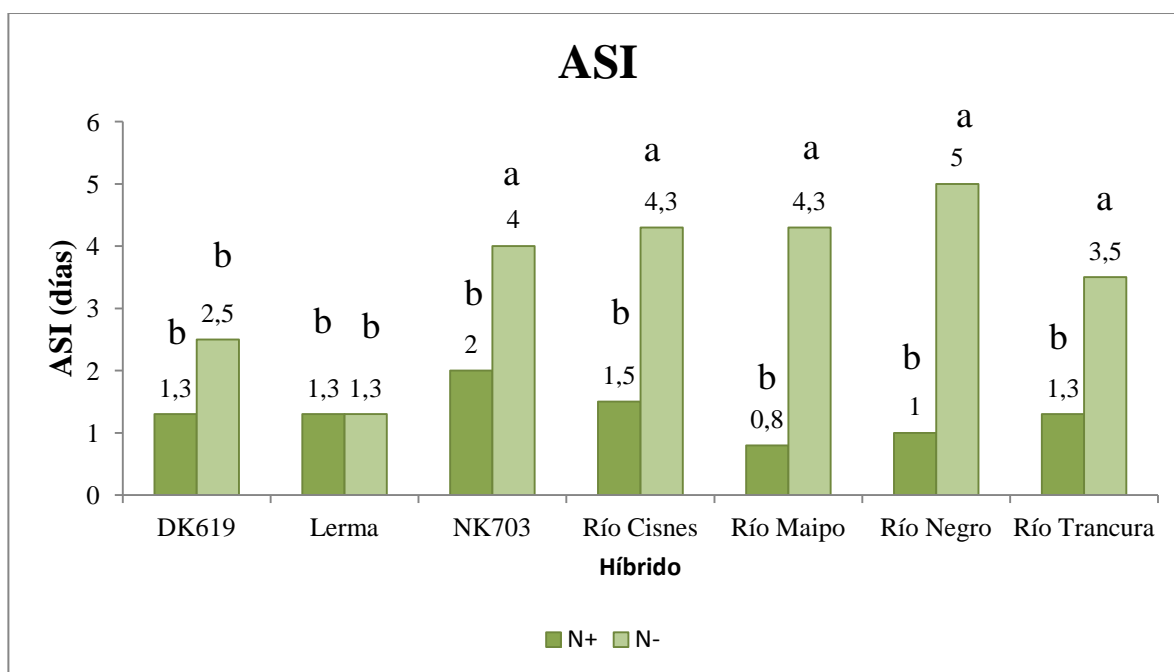


Figura 3. ASI de los híbridos en ambos ensayos. N+ es el ensayo con fertilización nitrogenada y N- es el ensayo sin fertilización nitrogenada.

Altura de plantas

Al realizar un análisis combinado de varianza para altura de plantas se detectó interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada ($p \leq 0,05$), por lo tanto el comportamiento de los híbridos varió de acuerdo a la fertilización nitrogenada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Altura de plantas de los distintos híbridos de maíz en los ensayos con y sin fertilización nitrogenada.

Híbrido	Ensayo	Altura de plantas (m)
DK619	N +	2,6 b
Lerma	N +	2,4 b
NK703	N +	3,0 a
Río Cisnes	N +	3,0 a
Río Maipo	N +	3,1 a
Río Negro	N +	3,1 a
Río Trancura	N +	3,0 a
DK619	N -	2,3 b
Lerma	N -	2,2 b
NK703	N -	2,6 b
Río Cisnes	N -	2,4 b
Río Maipo	N -	2,6 b
Río Negro	N -	2,4 b
Río Trancura	N -	2,4 b
C.V. (%)		6,6

Letras iguales en sentido vertical no indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, según la prueba DGC ($p\text{-value} > 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación

En el ensayo sin fertilización nitrogenada no hubo diferencias estadísticamente significativas para altura de plantas entre híbridos. En cambio si las hubo en el ensayo con fertilización nitrogenada siendo NK703, Río Cisnes, Río Maipo, Río Negro y Río Trancura los de mayor altura con aproximadamente 3 m.

Biomasa

Al realizar un análisis combinado de varianza para biomasa aérea total se detectó interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada ($p \leq 0,05$), por lo tanto el comportamiento de los híbridos varió de acuerdo a la fertilización nitrogenada (Cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa aérea total de los distintos híbridos en los ensayos con y sin fertilización nitrogenada.

Híbrido	Ensayo	Biomasa aérea total (kg ha ⁻¹)
DK619	N +	28.246 b
Lerma	N +	21.727 c
NK703	N +	32.146 a
Rio Cisnes	N +	27.258 b
Rio Maipo	N +	33.578 a
Rio Negro	N +	30.616 a
Rio Trancura	N +	26.665 c
DK619	N -	13.886 d
Lerma	N -	13.886 d
NK703	N -	14.799 d
Rio Cisnes	N -	15.530 d
Rio Maipo	N -	20.463 c
Rio Negro	N -	14.251 d
Rio Trancura	N -	14.617 d
C.V.(%)		11,2

Letras iguales en sentido vertical no indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, según la prueba DGC ($p\text{-value} > 0,05$).

C.V.: Coeficiente de variación

En el ensayo sin fertilización nitrogenada hubo diferencias estadísticamente significativas entre híbridos, siendo Río Maipo el híbrido con mayor cantidad de biomasa aérea total (20.463 kg ha⁻¹). En el ensayo con fertilización nitrogenada NK703, Río Maipo y Río Negro tuvieron mayor biomasa total.

Se analizó a través de una regresión lineal la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo entre la variable biomasa aérea total y altura de planta resultando en una relación lineal positiva y significativa para el ensayo con fertilización nitrogenada ($r^2=0,66$) y de igual forma para el ensayo sin fertilización nitrogenada ($r^2=0,60$) (Figura 4).

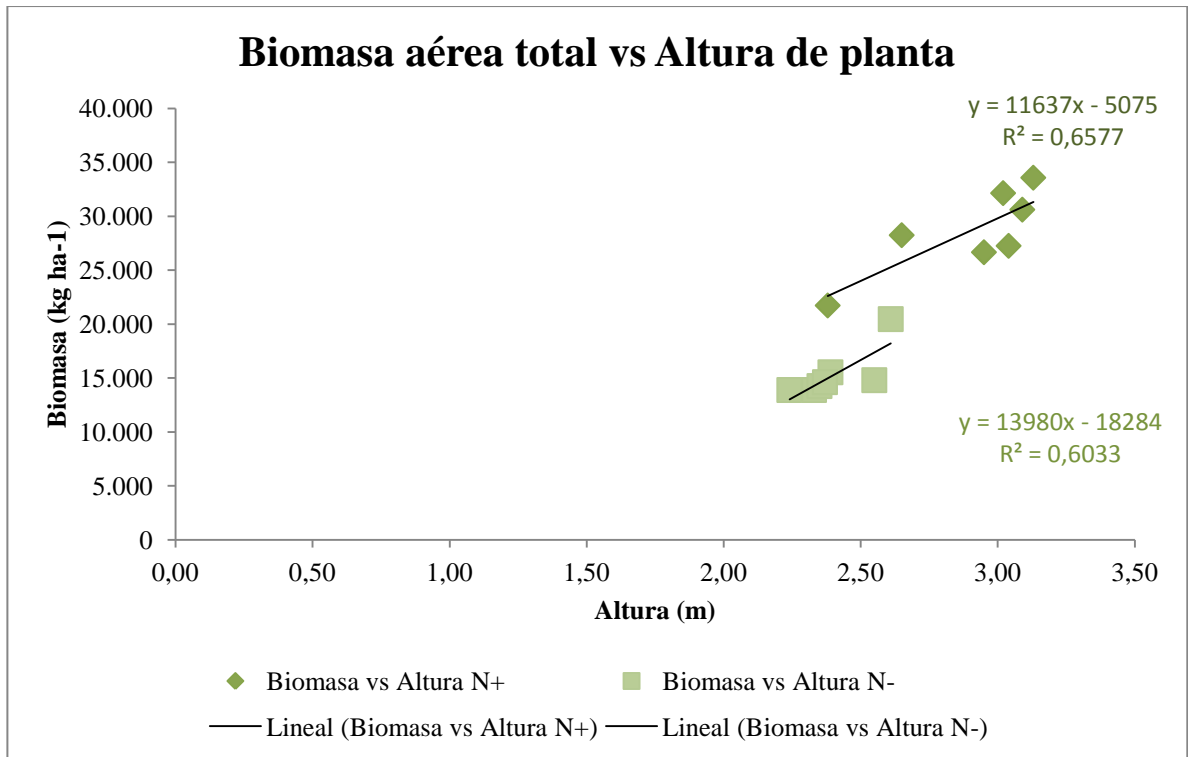


Figura 4. Regresión lineal de los híbridos de maíz entre biomasa y altura de planta en ambos ensayos, con y sin fertilización nitrogenada.

Rendimiento

El rendimiento no tuvo interacción entre híbrido y ensayo con fertilización nitrogenada, por lo que el ranqueo de los híbridos no varió dentro de los ensayos. En el ensayo con fertilización nitrogenada se obtuvo un rendimiento promedio de 16.259 kg ha⁻¹, siendo un 32% mayor que el obtenido en el ensayo sin fertilización nitrogenada. En el ensayo nitrogenado los híbridos que obtuvieron mayor rendimiento fueron Río Maipo y Río Cisnes. Por otro lado en el ensayo sin fertilización nitrogenada no se detectaron diferencias significativas entre híbridos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento, peso 1000 granos, granos m⁻², granos mazorca⁻¹ e IC de los distintos híbridos de maíz en ensayo con y sin fertilización nitrogenada.

Híbrido	Ensayo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso 1000 granos (g)	Granos m ⁻²	Granos mz ⁻¹	IC
DK619	N +	14.594 b	273 b	5.313 b	549 b	0,51 b
Lerma	N +	12.935 b	301 a	4.371 c	465 c	0,59 b
NK703	N +	14.901 b	329 a	4.406 c	464 c	0,46 b
Río Cisnes	N +	19.149 a	337 a	5.642 b	581 b	0,70 a
Río Maipo	N +	20.512 a	300 a	6.767 a	680 a	0,61 b
Río Negro	N +	15.884 b	268 b	5.935 b	616 a	0,52 b
Río Trancura	N +	15.843 b	325 a	4.850 b	514 b	0,59 b
DK619	N -	11.180 b	247 b	4.502 c	469 c	0,80 a
Lerma	N -	11.077 b	274 b	4.058 c	432 c	0,80 a
NK703	N -	11.489 b	266 b	4.334 c	447 c	0,82 a
Río Cisnes	N -	10.865 b	268 b	4.059 c	428 c	0,70 a
Río Maipo	N -	11.685 b	256 b	4.542 c	468 c	0,57 b
Río Negro	N -	10.198 b	245 b	4.199 c	435 c	0,73 a
Río Trancura	N -	10.608 b	272 b	3.869 c	414 c	0,72 a
C.V.(%)		20,3	12,6	13,3	12,6	10,8

Letras iguales en sentido vertical no indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, según la prueba DGC (p-value > 0,05).

C.V.: Coeficiente de variación

Componentes del rendimiento

Hubo interacción entre híbrido y ensayo nitrogenado en los siguientes parámetros asociados al rendimiento, granos mazorca⁻¹, granos m⁻² e IC, lo que implica que el comportamiento de los híbridos varió en función de la fertilización nitrogenada. Sin embargo peso 1000 granos no tuvo interacción entre híbrido y ensayo nitrogenado (Cuadro 4).

Para la variable granos m⁻² el híbrido que obtuvo una mayor cantidad de éstos en el ensayo nitrogenado fue Río Maipo con 6.767 granos m⁻², los con menor número de éstos fueron los híbridos Lerma con 4.371 granos m⁻² y NK703 con 4.406 granos m⁻². Sin embargo en el ensayo sin fertilización nitrogenada no hubo diferencias significativas entre híbridos.

El ensayo con fertilización nitrogenada obtuvo un número de granos m⁻² promedio de 5.326 siendo un 21% mayor que el obtenido en el ensayo sin fertilización nitrogenada.

Para la variable peso 1000 granos en el ensayo con fertilización nitrogenada los híbridos con mayor peso de granos fueron Río Cisnes, NK703, Río Trancura, Lerma y Río Maipo con 337, 329, 325, 301 y 300 g respectivamente. En cambio en el ensayo sin fertilización nitrogenada no hubo diferencias significativas entre híbridos. Este último obtuvo 261 g en promedio de peso de 1000 granos lo cual fue un 15% menor que lo obtenido en el ensayo con fertilización nitrogenada.

Para la variable granos mazorca⁻¹ nuevamente Río Maipo tuvo mayor cantidad de granos con 680 junto con Río Negro que tuvo 616 granos mazorca⁻¹ en el ensayo con fertilización nitrogenada. En cambio en el ensayo sin fertilización nitrogenada no hubo diferencias estadísticamente significativas entre híbridos, obteniendo en promedio 442 granos mazorca⁻¹.

Para la variable IC el híbrido que tiene un mayor valor es Río Cisnes con 0,7 en el ensayo nitrogenado. En el ensayo sin fertilización nitrogenada Río Maipo es el único híbrido que se diferencia de sus pares con un valor de 0,57.

Se analizó a través de una regresión lineal la proporción de la variabilidad total explicada por el modelo entre la variable rendimiento y ASI resultando en una relación lineal negativa y no significativa para el ensayo con fertilización nitrogenada ($r^2=-0,14$) y de igual forma para el ensayo sin fertilización nitrogenada ($r^2=-0,11$).

El rendimiento en el ensayo nitrogenado tuvo una relación lineal positiva con granos m⁻² ($r^2=0,68$ y p-value=0,0219) (Figura 5), pero no la tuvo con peso 1000 granos ($r^2=0,07$ y p-value=0,5804). Esta misma variable en el ensayo sin fertilización nitrogenada tuvo una relación lineal positiva con granos m⁻² ($r^2=0,41$ y p-value=0,1191) (Figura 5), sin embargo no fue significativa, al igual que con peso 1000 granos ($r^2=0,02$ y p-value=0,7649).

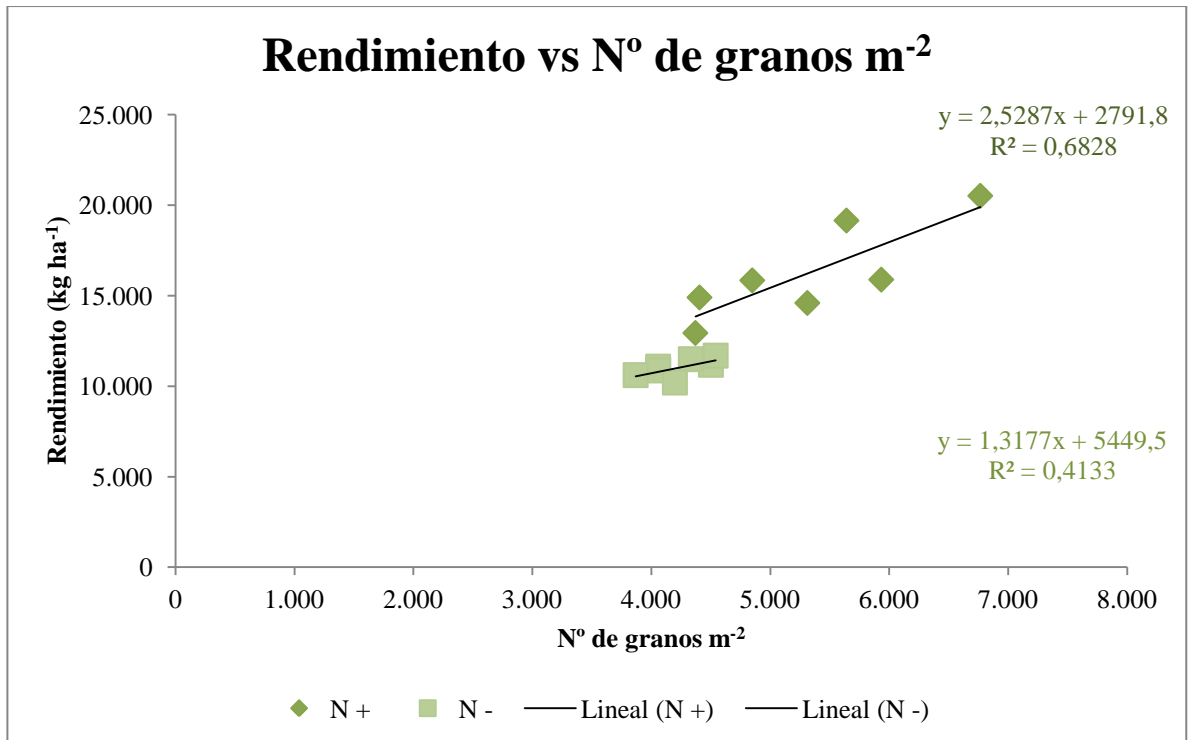


Figura 5. Regresión lineal de los híbridos de maíz entre rendimiento y número de granos m⁻² en el ensayo con y sin fertilización nitrogenada.

Relación entre la disminución porcentual del rendimiento y ASI en condición de estrés

Con la finalidad de evaluar el efecto de la deficiencia de nitrógeno ocurrida producto de la no fertilización, sobre el rendimiento del cultivo, se planteó cuantificar la disminución porcentual del rendimiento (DPR) debido a dicho estrés (Cuadro 5).

Cuadro 5: Disminución porcentual de rendimiento en condición de estrés en distintos híbridos de maíz.

Híbrido	Rendimiento con N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento sin N (kg ha ⁻¹)	Disminución porcentual de rendimiento (%)
DK619	14.594	11.180	23
Lerma	12.935	11.077	14
NK703	14.901	11.488	23
Rio Cisnes	19.149	10.865	43
Rio Maipo	20.512	11.685	43
Rio Negro	15.884	10.198	36
Rio Trancura	15.843	10.608	33

La disminución porcentual del rendimiento fluctuó entre un 14% y 43%. Esta variable tuvo una correlación positiva y significativa con ASI bajo condición de estrés ($r^2=0,65$ y $p\text{-value}=0,0290$), lo cual indica la existencia de una relación estrecha entre ambas variables (Figura 6).

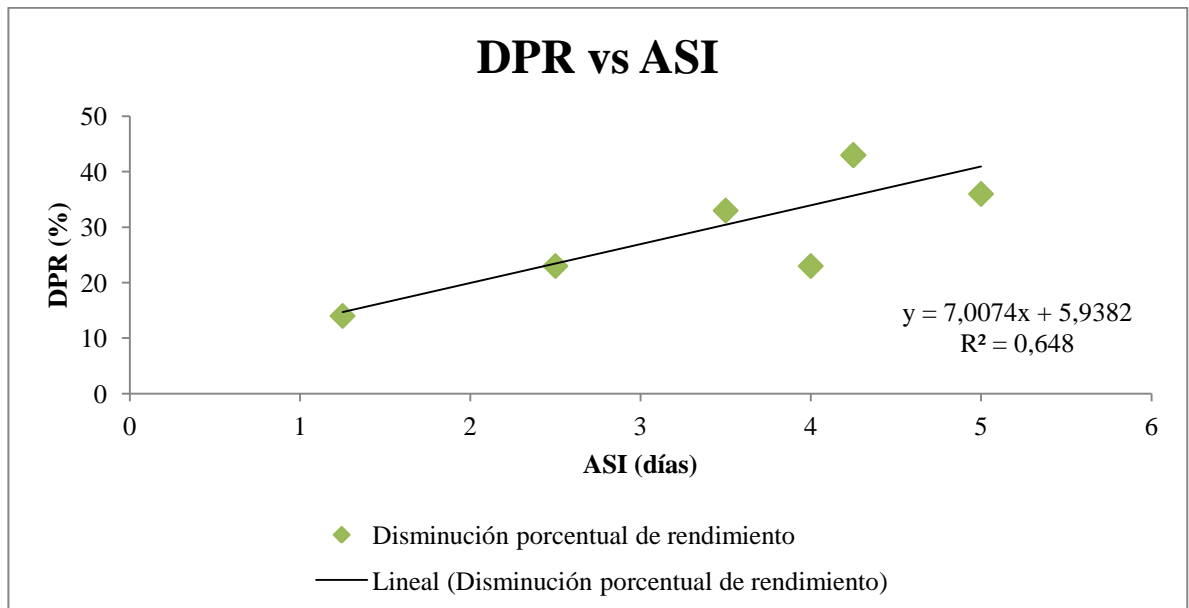


Figura 6. Regresión lineal entre la disminución porcentual del rendimiento de los híbridos de maíz (DPR) y ASI bajo condición de estrés.

Relación entre la disminución porcentual del rendimiento y Δ ASI en ensayo con y sin fertilización nitrogenada.

Con la finalidad de evaluar el efecto de la deficiencia de nitrógeno ocurrida producto de la no fertilización, sobre el rendimiento del cultivo, se planteó relacionar la disminución porcentual del rendimiento (DPR) con Δ ASI (Cuadro 6).

Cuadro 6: Variación de ASI en híbridos de maíz en ensayo con y sin fertilización nitrogenada.

Híbrido	ASI en ensayo nitrogenado (días)	ASI en ensayo sin fertilización nitrogenada (días)	Δ ASI (días)
DK619	1,3	2,5	1,2
Lerma	1,3	1,3	0,0
NK703	2,0	4,0	2,0
Rio Cisnes	1,5	4,3	2,8
Rio Maipo	0,8	4,3	3,5
Rio Negro	1,0	5,0	4,0
Rio Trancura	1,3	3,5	2,2

El Δ ASI presentado en el Cuadro 7 muestra que la diferencia entre ASI de los ensayos fluctúa entre 0 y 4 días. Esta variable tuvo una relación positiva y significativa con la disminución de rendimiento porcentual bajo condición de estrés ($r^2=0,75$ y $p\text{-value}=0,0069$) (Figura 7).

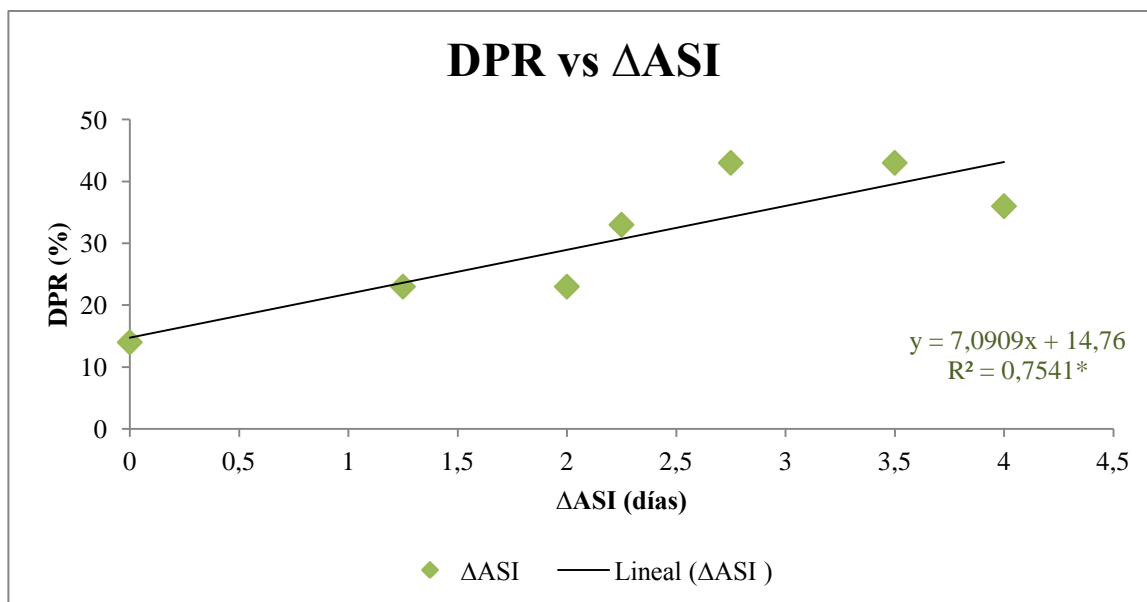


Figura 7. Regresión lineal entre la disminución porcentual del rendimiento de híbridos de maíz y Δ ASI.

DISCUSIÓN

Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y ASI

En maíz al igual que en otros cultivos de grano, el rendimiento puede ser estudiado a través de sus principales componentes numéricos: el número de granos (NG) por unidad de superficie y su peso individual. Para lograr aumentos de rendimiento es más importante aumentar la supervivencia de dichas estructuras que el número potencial de granos (Otegui and Andrade, 2000). Por lo que se buscó determinar qué factores resultan determinantes en el aborto de estructuras potencialmente aptas para generar un grano cosechable. A través de diferentes aproximaciones experimentales se ha definido un período de tiempo de 30 días aproximadamente centrado en la floración, en el cual se determina el número de granos m^{-2} , llamado período crítico (Otegui and Melón, 1997). Se determinó que la incidencia de un estrés, como por ejemplo una deficiencia de nitrógeno provoca mayores mermas en el NG cuando ocurre en este período, que coincide con el crecimiento activo de la mazorca, la emisión de las sedas y el inicio del llenado de grano. La fuente de variación más importantes en el número de grano por planta de maíz está constituida por el aborto de flores no fecundadas (Otegui and Andrade, 2000). En este sentido y tal como se deduce de la información encontrada en el cuadro 4, en el ensayo sin fertilización nitrogenada los granos m^{-2} disminuyeron en un 21%, respecto del ensayo nitrogenado. Esta disminución se debe principalmente a que deficiencias de este elemento en el período crítico afecta la tasa de crecimiento por planta la cual es indicativa de la condición fisiológica, y por lo tanto, de su capacidad para formar granos (Andrade et al., 1999). Además de la disponibilidad de asimilados, otros factores pueden afectar la fijación de granos de maíz.

La polinización sincronizada puede aumentar significativamente el número de granos (Cárcova and Otegui, 2001; Cárcova et al., 2000). Un retraso de algunos días en la polinización de las primeras sedas que emergen permite que los ovarios correspondientes a las sedas del tercio superior de la mazorca alcancen su potencial para formar granos. Esto sugiere que la disponibilidad de asimilados por flor fértil no es el único factor limitante para la formación de granos (Boyle et al., 1991; Schussler and Westgate, 1986).

La secuencia de emisión de sedas, que finalmente afecta la secuencia de polinización y fecundación (Uribelarrea et al., 2002), explica al menos parcialmente las diferencias observadas en el número final de granos entre el ensayo nitrogenado y el ensayo sin fertilización nitrogenada. En este sentido la situación de restricción nutricional provocó un retraso en la liberación del polen de 3 días promedio entre híbridos, respecto del ensayo nitrogenado y un importante retraso de 6 días promedio entre híbridos en la emisión de sedas, respecto del ensayo nitrogenado; tal como se observa en la figura 1a y 1b, afectando el número final de granos por mazorca. Este retraso en la floración, tanto masculina como femenina, en las plantas de maíz, produjo un aumento en el intervalo seda-anteses (ASI) para el ensayo sin fertilización nitrogenada de al menos 3 días promedio entre híbridos (Figura 3).

Se pudo evaluar el efecto de la deficiencia de nitrógeno ocurrida en el período crítico, producto de la no fertilización, sobre el rendimiento del cultivo a través de la cuantificación de la disminución porcentual del rendimiento (DPR) lo cual se asoció positiva y significativamente con ASI bajo estrés ($r^2=0,65$ y $p\text{-value}=0,0290$), de esta manera caídas en el rendimiento del cultivo aumentan al aumentar el ASI de éste.

Lerma tiene un 14% de caída en su rendimiento, siendo el híbrido con menor porcentaje de caída y a su vez el híbrido con menor Δ ASI entre con y sin fertilización nitrogenada (Figura 7). En cambio Río Cisnes y Río Maipo tienen un 43% de caída en su rendimiento, siendo los híbridos con mayor porcentaje de caída y con mayor Δ ASI. Esto se valida por la fuerte y significativa correlación existente entre DPR y Δ ASI ($r^2=0,75$ y $p\text{-value}=0,0069$) (Figura 7).

Deficiencia de nitrógeno y desarrollo del cultivo de maíz

A diferencia de otros tipos de estrés, la deficiencia de nitrógeno suele tener un patrón similar durante el ciclo del cultivo independiente de la zona donde se ubique. Al principio del cultivo, la oferta de nitrógeno supera a la demanda de éste. A medida que el cultivo se desarrolla éste comienza a ser absorbido por la planta. Un cultivo de maíz puede asimilar entre 4 a 5 kg N ha⁻¹ por día, lo que en casos de suelos deficientes en nitrógeno lleva a un agotamiento de este elemento y a la planta a estresarse. Ésta trata de ajustarse al estrés removilizando nitrógeno de hojas basales, mecanismo que no afecta al rendimiento del cultivo si es que las hojas de las cuales ha removilizado el nitrógeno no contribuyen en gran medida a la fotosíntesis.

Dependiendo de cuan prologando en el tiempo sea el estrés y la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta es como serán afectados los distintos componentes del rendimiento (Banzinger et al.,2000). El estrés por deficiencia de nitrógeno antes de la etapa de floración provoca reducción en el desarrollo del área foliar, en la tasa fotosintética y en el número de granos potenciales. En cuanto a la disminución del área foliar se observa en el Cuadro 2 es que el ensayo con fertilización nitrogenada tuvo 17% más altura de planta en comparación con el ensayo sin fertilización nitrogenada.

Cuando el estrés ocurre durante el llenado de granos se acelera el proceso de senescencia foliar, por lo que se reduce la fotosíntesis y el efecto recae sobre la segunda componente de rendimiento, peso de granos. En este sentido en el ensayo nitrogenado se obtuvo 305 g promedio entre híbridos para la variable peso 1000 granos y 261 g promedio entre híbridos para la misma variable en el ensayo sin fertilización nitrogenada, lo que marca una caída del 14% asociada al estrés.

CONCLUSIÓN

La limitante al rendimiento en la localidad evaluada es el déficit de nitrógeno para el cultivo. El mayor rendimiento se obtuvo en el ensayo con fertilización nitrogenada con el híbrido Río Maipo.

Bajo condiciones de estrés, sin fertilización nitrogenada, se observa diferencias entre los híbridos estudiados.

Existe una relación positiva y significativa entre disminución porcentual de rendimiento y ASI en condición de estrés.

Existe una relación positiva y significativa entre disminución porcentual de rendimiento y Δ ASI de los ensayos.

Los híbridos que tuvieron una menor disminución porcentual de rendimiento en condiciones de deficiencia de nitrógeno son los que tuvieron un menor ASI por lo que se mantiene la hipótesis.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, E. 2011. Alza en el precio de los alimentos. Noticias Universidad de Chile [En línea]. Recuperado en: <<http://www.uchile.cl/noticias/70138/edmund-acevedo-alza-en-el-precio-de-los-alimentos>> Consultado el: 3 de enero de 2012.

Andrade, F.H.; C. Vega; S. Uhart; A. Cirilo; M. Cantarero and O. Valentinuz. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science* 39:453-459.

Bäzinger, M.; G.O. Edmeades, D. Beck and M. Bellon. 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize. From theory to practice. pp. 39-46. CIMMYT, México.

Below, F.E. 1995. Nitrogen metabolism and crop productivity. pp. 275-301. In: Pressarakli, M. (ed.). *Handbook and Crop Physiology*. New York: Marcel Dekkar, Inc. 450p.

Below, F.E.; J.O. Cazzetta, and J.R. Seebauer. 2000. Carbon/nitrogen interactions during ear and kernel development of maize. *Crop Science* 42:1173-1179.

Betrán, F. J.; D. Beck; M. Bäzinger and G.O. Edmeades. 2003. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. *Field Crops Research* 83:51-65.

Bolaños, J. and G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research* 48:65-80.

Borrás, L.; M.E. Westgate, P. Astini and L. Echarte. 2007. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. *Field Crops Research* 102: 73–85.

Boyle, M.G.; J.S. Boyer and P.W. Morgan. 1991. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potencial. *Crop Science* 31:1246-1252.

Cárcova, J.; M. Uribelarrea; L. Borrás; M.E. Otegui and Westgate, M.E. 2000. Synchronous pollination within and between ears improves kernel set in maize. *Crop Science* 40: 1056-1061.

Cárcova, J. and Otegui, M.E. 2001. Pollination asynchrony and kernel abortion in maize. *Crop Science* 41: 1809-1815.

Cárcova, J.; B. Andrieu and M.E. Otegui. 2003. Silk elongation in maize: relationship with flower development and pollination. *Crop Science* 43:914-920.

CIREN, 1996. Estudio Agrológico. Región Metropolitana. Descripciones de suelos. Materiales y Símbolos. 414 p.

Edmeades, G.O., M. Bänzinger, D. Beck, J. Bolaños and A. Ortega. 1997. Development and *per se* performance of CIMMYT maize populations as drought-tolerant sources. pp. 254-262. In G.O. Edmeades, M. Bänzinger, H.R. Mickelson and C.B. Peña-Valdivia, Eds. 1997. Developing drought and low-N tolerance maize. Proceedings of a symposium, march 25-29, 1996. CIMMYT, El Batán, Mexico. Mexico, D.F.:CIMMYT.

Faiguenbaum, H. 2003. Maíz. pp. 137-218. In: Faiguenbaum, H. (ed). Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Vivaldi y Asociados, Santiago, Chile, 760p.

Grant, R.F.; B.S. Jackson; J.R. Kiniry and G.F. Arkin. 1989. Water deficit timing on yield components in maize. *Agronomy Journal*, 81: 61-65.

Meynard, J. C y G. David. 1992. Diagnostic de l'elaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures* 1: 9-19.

ODEPA. 2011. Estadísticas Agrícolas. Departamento de Información Agraria, Ministerio de Agricultura. [En línea]. Recuperado en: <<http://www.odepa.gob.cl/servlet/articulos.ServletMostrarDetalle;jsessionid=5BB183C959602DE822F5D69DACC9A4A5?idcla=12&idn=1736>> Consultado el: 15 de diciembre del 2011.

ODEPA. 2013. Estadísticas Agrícolas. Departamento de Información Agraria, Ministerio de Agricultura. [En línea]. Recuperado en: <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/serviciosinformacion/Boletines/BMaiz0413.pdf;jsessionid=0CD96702DFD7A4F8C8196BF20E30A886>> Consultado el: 20 de mayo del 2013.

Otegui, M.E. and F.H. Andrade. 2000. New relationships between light interception, ear growth and kernel set in maize. pp. 89-102. M.E. Westgate and K. Boote, editors, *Physiology and modeling of kernel set in maize*, Crop Science Soc. of America y Amer. Soc. of Agronomy Special Publication N° 29. Baltimore, Maryland, EEUU.

Otegui, M.E. and S. Melon. 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. I-Sowing date effects. *Crop Science* 37: 441-447.

Sahagún, J. 1998. Evaluaciones genotípicas en series de experimentos. *Germen* N°. 14. Sociedad Mexicana de Fitogenética, 40 p.

Santibañez, F. y J. M. Uribe. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones Quinta y Metropolitana. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales, Dep. de Ingeniería de Suelos, 65 p.

Schneider, A. K.; R. Rosales-Serna; F. Ibarra-Pérez; B. Cázares-Enríquez; J.A. Acosta-Gallegos; P. Ramírez-Vallejo; N. Wassimi and J. D. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37:43-50.

Schussler, J.R. and M. E. Westgate. 1995. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science* 35: 1074-1080.

Steel, R.G.D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics, Second Edition, New York: McGraw-Hill, P. 183-193.

USDA. 2014. World Agricultural Supply and Demand Estimates: WASDE [En línea]. Office of the Chief Economist. WASDE-529, 40p. Recuperado en: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>> Consultado el: 8 de junio de 2014.

Uhart, S.A., and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. Carbon nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science* 35: 1384-1389.

Uribe Larrea, M.; J. Cárcova; M.E. Otegui and M.E. Westgate. 2002. Pollen production, pollination dynamics and kernel set in maize. *Crop Science* 42: 1910-1919.

Vasal, S.K., H. Córdova, D.L. Beck and G.O. Edmeades. 1997. Choices among breeding procedures and strategies for developing stress tolerant maize germplasm. pp. 338-347. In G.O. Edmeades, G.O., M. Bänzinger, H.R. Mickelson and C.B. Peña-Valdivia. (eds.). 1997. Developing drought and low-N tolerance maize. Proceedings of a symposium, march 25-29, 1996. CIMMYT, El Batán, Mexico. Mexico, D.F.:CIMMYT.

Westgate, M.E. and J.S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science* 26:951-956.

ANEXOS

Análisis de suelo

Análisis de Suelo

Laboratorio Agropecuario Las Garzas

N° Informe: SMIC-8958

Predio: Antumapu

pH en agua: 7,5

Conductividad eléctrica: 0,37(mmhos cm⁻¹)

Materia Orgánica: 2,4%

N disponible: 15 ppm

P disponible (Olsen): 5 ppm

K disponible: 95 ppm

Análisis Meteorológico

En Cuadro se presentan las temperaturas máximas, mínimas, promedio, humedad relativa y precipitaciones durante el periodo de desarrollo del cultivo.

Mes	T°max (°C)	T°min (°C)	T°prom (°C)	HR (%)	pp (mm)
Octubre	23,8	7,1	14,9	52,5	0,2
Noviembre	27,7	8,9	17,8	52,6	0
Diciembre	30,1	11,8	20,6	52,8	0
Enero	29,7	12,7	20,8	57	0
Febrero	30,5	13,2	21,4	52,4	0
Marzo	30,1	11,5	20,2	52,4	0
Abril	23,9	8,8	15,6	63,4	0,8