Universidad de Buenos Aires
Facultad de Agronomía
Escuela para Graduados
"Alberto Soriano"

Especialización en Cultivos de Granos (2016-2017)

Trabajo de Coronamiento

Identificación y agrupación de zonas con características productivas y climáticas similares para la producción de semilla de maíz en Argentina

Autor: Ing. Agr. José Ignacio Gallo

Tutor: M.Sc. Ing. Agr. Silvina Lustig (Monsanto)

Índice

1. Resumen: ………………….………………………….…………. Pág.: 2

2. Introducción: ……………………..…………………..……….... Pág.: 4

   2.1. Objetivos: ……………..……..…………………………... Pág.: 11

   2.2. Hipótesis: ………………..…..…………………………... Pág.: 11

3. Materiales y Métodos: ……………..…………………..………... Pág.: 12

   3.1. Detalle de los datos empleados: ……………………………... Pág.: 12

   3.2. Métodos para obtener la zonificación agro-climática: …… Pág.: 21

4. Resultados y Discusión: ……...…..………………………………... Pág.: 25

   4.1. Caracterización de la base de datos empleada: …………... Pág.: 25

   4.2. Estudio de los parámetros ambientales: …………..………... Pág.: 30

   4.3. Zonificación Agro-Climática resultante: ……...…………... Pág.: 35

5. Conclusión: ……………………...…………………….……... Pág.: 53

6. Bibliografía: ………………………………………………….……... Pág.: 54

1. Resumen

El objetivo de este trabajo fue definir mega-ambientes o zonas con características climáticas y productivas similares para la producción de semilla de maíz en Argentina. La zonificación es importante porque permite agrupar ambientes de manera tal de lograr estimar en forma precisa metas de rendimiento que favorezcan la planificación de la producción de semilla híbrida para su posterior venta. Las divergencias entre el volumen planificado y el real, traen asociados incrementos en los costos operativos que impactan en el esquema productivo de la empresa. Asimismo, con la zonificación adecuada, es posible asignar las líneas de maíz parentales a las zonas donde mejor se expresan, permitiendo así maximizar los rendimientos y optimizar la superficie necesaria para la producción. Para lograr este objetivo se realizó un análisis multivariado a partir de datos climáticos obtenidos del programa '*Prediction Of Worldwide Energy Resource*' (POWER) de la NASA, e información de producción del 2004 al 2017 a partir de una base de la empresa con 3799 datos. Se obtuvieron en total 13 mega-ambientes empleando un método de agrupamiento por conglomerados Ward D. Dentro de estos mega-ambientes se distinguen: diez para producción de líneas de maíz templadas y tres para tropicales, con correlaciones cofenéticas de 0,725 y 0,781, respectivamente. Luego, para cada agrupamiento o mega-ambiente se identificaron los valores promedio de cada una de las variables empleadas; el rendimiento relativo que resulta de utilidad para determinar la productividad general de los mismos y para permitir extrapolar información de líneas que no cuenten con datos en un determinado lugar; y las variables climáticas: temperatura mínima 10 días luego de la siembra, radiación PAR acumulada desde emergencia a cosecha, radiación PAR promedio diaria ±10 días de antesis, humedad relativa del aire promedio diaria ±10 días de antesis, precipitación acumulada de siembra a cosecha, días con temperatura máxima superior a 37°C 10 días previo antesis, que posibilitan la caracterización de los distintos ambientes.

Palabras clave:

Mega-ambientes, análisis de conglomerados (o clústers), zonificación, producción de semillas de maíz.

2. Introducción:

Impacto de la zonificación en el planeamiento de la producción de semillas de maíz y en sus costos:

La planificación de siembra para una producción de semillas híbridas de maíz se lleva a cabo a partir de la estimación del volumen de ventas para la próxima campaña. Dentro de esta planificación, es de vital importancia poder predecir con el mayor grado de exactitud posible cuál será el rendimiento que se obtendrá de cada lote de campo, de manera tal de realizar un correcto dimensionamiento de la superficie de siembra, permitiendo así asegurar el volumen de ventas de cada híbrido para el año siguiente. Sin embargo, la productividad final de un lote dependerá de diversos factores entre los que se destacan el germoplasma, aspectos de manejo, el procesamiento en planta y las condiciones edafo-climáticas del mismo. Por este motivo, es importante caracterizar los ambientes y su productividad esperada, de forma tal de estimar los rendimientos en forma precisa.

Cuando existen diferencias entre el rendimiento esperado a partir de la planificación y el volumen obtenido de un lote de producción de semillas, esto puede llevar asociados diversos impactos que afectarán irremediablemente en la estructura de costos de la empresa. De esta forma, cuando de un híbrido se obtiene un volumen de semillas por debajo del esperado, esto trae asociado in incremento en los costos operativos para la empresa, ya que se deberá entregar al cliente semillas de otro híbrido, en general de mayor valor, o bien, en casos más extremos llegando a perder la oportunidad de venta. Por otro lado, cuando la productividad es mayor a la esperada, el inventario aumenta llevando consigo pérdidas monetarias por mantenimiento, así como también pérdidas por obsolescencia (calidad) o marketabilidad, es decir, por menor potencial de comercialización.

Además de lo descripto más arriba en relación a los impactos de una sub/sobre-producción, una definición más precisa de rendimiento objetivo por germoplasma perminte obtener una mayor productividad de cada lote de producción para semillas. Es decir, se

maximiza el rendimiento de cada cultivar, optimizando así el uso del recurso suelo, el cual representa el principal costo de producción en campos de producción de semillas. Para alcanzar esto y lograr maximizar la expresión del potencial de productividad de los cultivares, cuando existen regiones heterogéneas a menudo es conveniente subdividirlas en mega-ambientes relativamente homogéneos, con el objetivo de seleccionar cultivares adaptados a cada uno de estos sitios (Camargo-Buitrago et al., 2011).

Asimismo, tanto la zonificación, o definición de ambientes homogéneos para la producción de semillas de maíz, como así también la definición de objetivos de rendimiento específicos por germoplasma y por ambiente, permitirá emplear herramientas informáticas para el proceso de asignación de lotes de producción. Esto elevará los estándares del proceso productivo, brindando objetividad y agilidad a la ardua tarea de asignación de los lotes a sembrar en una campaña de producción de semillas.

Importancia de discretizar el ambiente:

Con el fin de caracterizar la interacción entre el ambiente y el genotipo en un determinado lote, resulta valioso poder identificar regiones donde los cultivos tengan una expresión fenotípica similar. Esto puede definirse como "clasificación ambiental orientada a una respuesta". Resultando así, un aspecto esperado de este análisis de agrupamiento de zonas, que las líneas de maíz presenten un comportamiento similar entre los sitios que conforman un determinado clúster o mega-ambiente.

En el trabajo de van Wart et al., 2013 se efectúa una revisión de todos los esfuerzos que se realizaron tendientes a clasificar ambientes para fines agrícolas. En este trabajo, se distinguen dos tipos de aproximaciones:

a) Zonas Agro-Climáticas (CZs). Este enfoque se basa en particiones de regiones geográficas basadas en la homogeneidad de variables medioambientales de gran influencia para el crecimiento del cultivo y el rendimiento.

b) Zonas Agro-Ecológicas (AEZs). Consiste en la partición de regiones geográficas basadas en la homogeneidad del clima y atributos de suelos relevantes para propósitos agrícolas.

Es posible encontrar en la literatura diversas aplicaciones de los dos enfoques mencionados, CZ y AEZ (van Wart et al., 2013) como, por ejemplo, la caracterización de la variabilidad del rendimiento y de los factores limitantes para el crecimiento de los cultivos (Caldiz et al., 2002 and Williams et al. 2008), la regionalización de recomendaciones para un manejo óptimo de cultivos (Seppelt, 2000), la comparación de tendencias de rendimiento (Gallup and Sachs, 2000), la identificación de localidades posibles para la implementación de nuevas tecnologías de producción de cultivos (Geerts et al, 2006, Araya et al., 2010), y análisis del impacto del cambio climático en la agricultura (Fischer et al., 2005).

A diferencia de los dos enfoques mencionados anteriormente, en el presente trabajo se incluyen además datos de rendimiento real de lotes de producción de semillas de maíz, siendo este el principal determinante de las regiones incluidas en el análisis. Es decir, únicamente se consideran sitios ya explotados por la empresa para los cuales se posean datos de productividad de las líneas parentales de maíz. Esto se debe a dos cuestiones:

Por un lado, la producción de semillas de maíz posee particularidades que la diferencian notablemente de la de híbridos de maíz comerciales. Las principales diferencias entre ambas producciones son: el '*nicking'* o la necesidad de coincidencia de la floración entre la línea macho y la línea hembra para lograr una fecundación exitosa, la eliminación de la panoja de la línea hembra conocida como proceso de '*despanojado'*, y la cosecha en espigas (no a granel) únicamente de las hileras de la línea hembra con humedad superior a la de maíces comerciales (>25% de humedad). Estas particularidades hacen que la información de híbridos de maíz no sea aplicable para los cultivos de semilla.

El otro motivo por el cual son empleados datos correspondientes a zonas que se encuentran siendo explotadas actualmente, tiene que ver con la dificultad de realizar movimientos entre regiones de producción. Esto se debe fundamentalmente a la logística

asociada al traslado de campamentos para empleados que ejecutan las actividades propias de este tipo de culturas, así como también a la necesidad de desarrollar y capacitar nuevos productores que se comprometan a cumplir con los elevados estándares necesarios para llevar adelante la producción de semilla de maíz.

Situación Actual. Problema:

Como es posible observar en la Figura 1, la empresa lleva a cabo su producción de semilla de maíz en una extensa área del país. En rigor, de Norte a Sur, la distancia que separa a las Localidades más lejanas entre sí es de alrededor de 1600 km (Anta a Necochea) mientras que de Este a Oeste es de 650 km (Villaguay a Fraga). Resulta claro pues, que a lo largo de esta vasta superficie se explora una amplia gama de ambientes que determinan de manera diferencial la productividad de los lotes de producción. De ahí, la necesidad imperante de caracterizarlos y agruparlos en función a las variables ambientales de mayor impacto en su comportamiento.

Figura 1: Mapa de Departamentos de la Argentina destinados a la producción de semilla de maíz por parte de la empresa.

El primer antecedente de agrupamiento de zonas dentro de la empresa data del año 2015, en el trabajo "*Zonificación de la producción de semilla híbrida de maíz bajo riego en la República Argentina*". Dicho análisis fue de gran utilidad ya que permitió identificar 11 mega-ambientes, de los cuales 8 corresponden a regiones templadas y 3 a regiones tropicales. Sin embargo, su alcance resultó limitado por las causas que se detallan a continuación:

En primer lugar, no se tuvo en cuenta la producción que se lleva a cabo por empresas prestadoras del servicio de producción de semillas (campo y planta de Procesamiento), conocidas como "Tollers". La superficie sembrada bajo esta modalidad representa alrededor de un 30% de la producción total anual, y de ahí la importancia de considerar la información proveniente de esta fuente.

En segundo lugar, al año siguiente de realizado este trabajo de zonificación, el mismo quedó desactualizado en cuanto a las regiones consideradas, ya que se sumaron nuevas localidades al esquema productivo de la empresa. Un ejemplo de esto, es la Zona de Jesús María (Totoral) que representa un 20% de la producción en la actualidad.

Tercero, únicamente se emplearon parámetros relacionados a la temperatura durante la siembra y la floración del cultivo para caracterizar los distintos ambientes, no considerándose aspectos de alto impacto en la productividad como la radiación, la humedad ambiental y las precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

Por último, otra limitación del trabajo mencionado está relacionada al dato de productividad empleado. Esto se debe a que no se trató del rendimiento *per se*, sino del cociente entre el rendimiento obtenido y el esperado (o meta). Esto resultaba ser distorsivo, por los siguientes motivos:

a) El numerador de la fórmula mencionada se encontraba expresado en unidades finales o bolsas de 80.000 semillas por hectárea. Esto supone incluir un componente de error adicional al análisis, que es el efecto de la planta de procesamiento ya que incluye pérdidas durante el proceso, descartes por calidad,

y también el efecto del peso de la semilla, donde a mayor peso menor cantidad de bolsas por hectárea y viceversa.

b) En cuanto al denominador, que representa la meta de rendimiento, es posible mencionar que si bien en aquel momento se empleaba una única meta por variedad en todas las Localidades, este valor poseía un alto componente de subjetividad en su definición. Además, el mismo variaba año a año, lo cual suponía la inclusión de un efecto inter-anual al estudio.

Más allá de las limitaciones mencionadas arriba, en la actualidad la dependencia hacia el modelo generado en 2015, es absoluta. La totalidad de los objetivos o metas de rendimiento son calculadas a partir de la clasificación resultante de dicho análisis. Es más, este modelo se aplica también para la fijación de metas tanto para Zonas nuevas (incorporadas luego del año 2015) como así también para las producciones mediante “Tollers”, no habiendo sido considerados ninguno de estos dos casos en este primer análisis.

Todo lo antedicho demuestra que, si bien se evidenció una mejoría al momento de establecer metas de rendimiento a partir de la implementación de la zonificación llevada a cabo en 2014, aún existen importantes oportunidades para perfeccionar este proceso. Esto último se muestra en la Figura 2, donde se representa la variación entre el rendimiento final de campo (expresado en Bolsas / Hectárea) y el rendimiento objetivo definido previo a la siembra, para las últimas cuatro campañas de producción de semillas (13-14, 14-15, 15-16 y 16-17). Como puede apreciarse en el gráfico, únicamente el 38% de los lotes obtuvieron un rendimiento final entre el 80% y 120% respecto de la meta establecida inicialmente, dejando en evidencia la necesidad desarrollar modelos para lograr una mejor precisión en el establecimiento de objetivos de rendimiento.

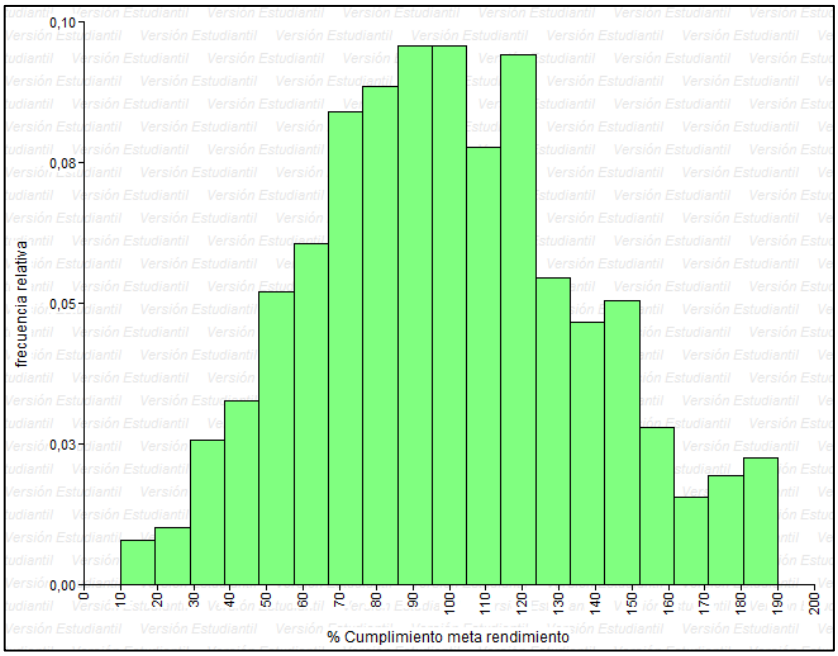

Figura 2: Histograma de frecuencias donde se representa la variación entre rendimiento final y rendimiento objetivo para las campañas de Producción 13-14, 14-15, 15-16 y 16-17.

2.1 Objetivo:

Definir zonas con características climáticas y productivas similares para la producción de semilla de maíz en Argentina.

Establecer un índice de productividad específico para la producción de las principales líneas de maíz en cada uno de los agrupamientos encontrados.

2.2 Hipótesis:

Pese a la gran extensión y diversidad de la región para la producción de semilla de maíz, es posible agrupar ambientes con aptitudes agro-climáticas y productivas similares.

Dado que la zonificación permitirá encontrar ambientes donde la expresión fenotípica sea similar dentro de las regiones que los componen, resultará factible diferenciarlos de acuerdo con su valor de productividad potencial a partir del rendimiento histórico.

3. Materiales y Métodos:

3.1 Detalle de los datos empleados:

Para llevar a cabo el presente análisis se partió de una veintena de variables ambientales, las cuales se enumeran en la Tabla 1. Con el fin de reducir su número para su posterior inclusión en el modelo multivariado, se realizó un proceso de selección escogiéndose aquellas variables que presentaban una mejor correlación con el rendimiento relativo (parámetro de productividad escogido). Es decir, para cada una de las veinte variables se realizó una regresión lineal con el rendimiento relativo y fueron seleccionadas las seis que presentaron las pendientes (b1) y los R^2 más altos. Esto último sugiere que los parámetros seleccionados son los que determinan en mayor medida el ambiente explorado por el cultivo, y consecuentemente, su rendimiento. Además de la interacción entre cada una de estas variables y el rendimiento relativo, se realizó una evaluación acerca de otras interacciones existentes entre las variables climáticas bajo estudio. Allí se determinó una correlación negativa entre la radiación promedio diaria durante antesis y la humedad relativa, y relaciones positivas entre radiación acumulada durante antesis y cantidad de días con temperatura máxima superior a 37°C; así como también, entre la radiación acumulada durante todo el ciclo y las precipitaciones ocurridas.

Tabla 1: Listado de las variables ambientales del presente trabajo, destacándose en negrita aquellas seleccionadas para el análisis multi-variado.

Variable Abreviada	Detalle	Unidad
TPrM10Sb	Temperatura promedio 10 días luego de la siembra	°C
TMiM10Sb	**Temperatura mínima 10 días luego de la siembra**	**°C**
TMi0M10Sb	Días con Temperatura mínima menor a 0°C 10 días luego de la siembra	# días
TPrMm10An	Temperatura promedio ±10 días de antesis	°C
TMxMm10An	Temperatura máxima ±10 días de antesis	°C
TMaxM37An (10-5)	**Días con temperatura máxima superior a 37°C 10 a 5 días previo antesis**	**# días**
TMaxM37An (9-4)	Días con temperatura máxima superior a 37°C 9 a 4 días previo antesis	# días
TMaxM37An (8-3)	Días con temperatura máxima superior a 37°C 8 a 3 días previo antesis	# días
TMaxM37An (7-2)	Días con temperatura máxima superior a 37°C 7 a 2 días previo antesis	# días
TMaxM37An (6-1)	Días con temperatura máxima superior a 37°C 6 a 1 días previo antesis	# días
TMaxM37An (5-0)	Días con temperatura máxima superior a 37°C 5 días previo antesis	# días
RAcM10SbCh	**Radiación PAR acumulada desde emergencia a cosecha**	**MJ/m²**
RAcM10SbAn	Radiación PAR acumulada desde emergencia a antesis	MJ/m²
RAcAnCh	Radiación PAR acumulada desde antesis a cosecha	MJ/m²
RAcMm10An	Radiación PAR acumulada ±10 días de antesis	MJ/m²
RPrMm10An	**Radiación PAR promedio diaria ±10 días de antesis**	**MJ/m²/día**
HPrMm10An	**Humedad relativa del aire promedio diaria ±10 días de antesis**	**%**
PAcSbCh	**Precipitación acumulada de siembra a cosecha**	**mm**
PAcSbAn	Precipitación acumulada de siembra a antesis	mm
PAcm15Ch	Precipitación acumulada 15 previos a cosecha	mm

La variable '*TMiM10Sb'* que representa la temperatura mínima 10 días luego de la siembra es de gran importancia más allá del impacto propio de la temperatura en esta fase para cualquier cultivo, donde es sabido que a menores temperaturas mayor es el tiempo de permanencia de la semilla en el suelo y, por lo tanto, más alto es el riesgo fitosanitario. Sin embargo, en la producción de semillas de maíz esto resulta aún más crítico, ya que las líneas hembra y macho deben sembrarse con un desfasaje temporal, determinado por los GDU (grados días) transcurridos entre la siembra de ambos. Cuando las temperaturas son bajas, este desfasaje es mayor y más posibilidades existen de experimentar problemas de '*nicking'* o coincidencia entre la emisión de polen de las líneas macho y estigmas receptivos de las hembras, peligrando así la fecundación. Además, cuando las temperaturas son bajas

durante la siembra, más probable es que el stand de plantas emergido sea desuniforme, dificultando posteriormente las los labores de despanojado y cosecha, principalmente.

Para las variables relacionadas a la radiación solar, se considera el rango de la Radiación fotosintéticamente activa (PAR), que comprende las longitudes de onda que van de 400 a 700 nm, y que es la porción del espectro aprovechada por las plantas para su crecimiento. La misma representa aproximadamente un 49% ±5% de la Radiación Global Solar (Stanhill and Fuchs, 1977). Dentro de las variables del análisis que emplean la radiación PAR se encuentran: '*RAcM10SbCh'* o la radiación PAR acumulada durante el cultivo, es decir, desde la emergencia de las plantas hasta su senescencia; y '*RPrMm10An'* que representa la Radiación PAR promedio diaria ±10 días de antesis o durante el período crítico. La importancia de ambas variables reside en el hecho de que la radiación incidente interceptada por el cultivo es aprovechada para llevar a cabo la fotosíntesis, que en última instancia le proveerá de energía a las plantas para su crecimiento, siempre que estas se encuentren creciendo en condiciones potenciales. Es esperable entonces que los ambientes más propicios para el cultivo de semilla de maíz sean aquellos en los que la radiación incidente sea mayor.

El factor '*PAcSbCh'* o Precipitación acumulada desde la siembra a cosecha es importante puesto que, si bien los lotes de maíz bajo estudio se encuentran irrigados, se trata de un riego complementario el cual no es equiparable al aporte hídrico por medio de las lluvias. Esto se debe a una gran cantidad de aspectos determinados tanto por la diferencia en la composición química del agua de lluvia y el que se extrae de las napas subterráneas, poseyendo este último una alta concentración de sales que en exceso afectan el normal crecimiento del cultivo; como así también por otras cuestiones beneficiosas del agua de lluvia dadas por su intensidad y volumen, como permitir el lavado de sales por debajo de la rizosfera sitio donde suelen acumularse con el agua de riego, y asegurar una distribución homogénea del agua dentro de los lotes.

Dentro de las variables climáticas estudiadas, el parámetro '*TMaxM37An'* que es el número de días con temperatura máxima superior a 37°C entre 10 y 5 días previo antesis, hace referencia al "Golpe de Calor". Es sabido que la viabilidad de los granos de polen se reduce a unas pocas horas (o aún menos) en condiciones de calor extremo (Hoegemeyer, 2011). Temperaturas superiores a 100 °F (37°C) causan un estrés térmico extremo que puede desecar el polen antes de fecundar el óvulo (Nielsen, 2010). Incluso, temperaturas mayores pueden reducir la viabilidad de los granos de polen antes de que sean liberados de las anteras (Hoegemeyer, 2011). De aquí la importancia de cuantificar la cantidad de días con temperaturas altas previo a la floración, así como también la humedad relativa del aire que es otro aspecto de alto impacto en la viabilidad y fijación del polen, medida en el presente trabajo a través de la variable '*HPrMm10An'* o Humedad relativa del aire promedio diaria ±10 días de antesis.

La información de las variables ambientales fue obtenida a partir del Programa '*Prediction Of Worldwide Energy Resource*' (POWER) de la NASA. El mismo recurre a tres fuentes distintas para la obtención de los datos, según sea información meteorológica, radiación solar o precipitación: los parámetros meteorológicos son modelados por el proyecto '*Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications*' (MERRA); aquellos relacionados con la radiación solar derivan de observaciones satelitales de los proyectos '*GEWEX Surface Radiation Budget*' (GEWEX SRB) y '*Fast Longwave and Shortwave Radiative Fluxes*' (FLASHFlux); por último, los datos relativos a las lluvias surgen del proyecto '*Global Precipitation Climatology Project*' (GPCP).

Una de las principales limitantes asociadas a cualquier análisis que incluya el seguimiento de variables ambientales en un período prolongado de tiempo (años), se encuentra asociada a la falta de información en determinados momentos y/o sitios específicos. Esto puede tener su origen en la remoción de los equipos del sitio de interés, o bien, simplemente por falta de información en períodos de tiempo puntuales, generando que los datos faltantes deban ser completados empleando modelos de aproximación (Westberg,

2015). Dado que todas las informaciones obtenidas a partir de la plataforma POWER se encuentran disponibles en la página web de la NASA, en una base diaria y sin interrupciones desde el año 1981 para cualquier lugar del mundo, fue posible sortear de manera satisfactoria las limitaciones mencionadas.

Otra ventaja adicional asociada a la utilización de la fuente de datos POWER es la disminución del error. Esto se debe fundamentalmente a que, al tratarse de datos provenientes en su totalidad de la misma fuente, no existen distorsiones producidas por el uso de distintos equipamientos, calibraciones, estado de mantenimiento, deterioro, etc., en diferentes sitios y a lo largo del tiempo. Esto último es también una situación muy frecuente en aquellos análisis que involucran el estudio de componentes climáticos durante largos períodos de tiempo.

Un inconveniente en relación con el uso de la información de temperatura obtenida a partir la plataforma POWER de NASA ocurre en zonas de relieve (montaña, sierra, ondulaciones) ya que allí la misma podría presentar gran variabilidad respecto a la medida por una central meteorológica. Sin embargo, esto no representa una limitante para el presente análisis, ya que las zonas consideradas en el mismo son llanas, o bien, presentan ondulaciones leves.

Además de las variables climáticas mencionadas anteriormente, se empleó el rendimiento relativo como medida de productividad de cada agrupación o mega-ambiente. Para el cálculo de este parámetro se emplea, en primer lugar, el dato de rendimiento por lote de producción de semillas expresado en kilos por hectárea. El mismo se obtiene a partir de la metodología de '*Pago Productor'* la cual es empleada en la empresa para estimar el volumen proveniente del campo previo a las mermas ocurridas en la planta de procesamiento. Este es el rendimiento por el cual se le pagará a los productores su canon de arrendamiento y de ahí su nombre '*Pago Productor*' (y desde luego la criticidad y necesidad de precisión en su cálculo). Para obtener este dato, se realiza un muestreo al ingreso de la planta de procesamiento de cada camión de espigas proveniente de los lotes

cosechados, donde se extraen 7 kilos de espiga por camión. Las espigas de maíz de cada muestra son desgranadas y el volumen obtenido es pasado a través de zarandas de distintos tamaños para separar los calibres (tamaños) que presentan valor como semilla de aquellos que sirven únicamente como grano por no presentar un tamaño adecuado para asegurar una correcta '*plantabilidad'* y, por ende, su comercialización. Finalmente, el volumen que queda entre las zarandas, es decir, que corresponde a semillas y no a granos, es el que será computado como rendimiento por hectárea o '*Pago Productor*'.

Otro factor que determina la productividad de un lote de producción es la línea parental hembra, ya que las mismas presentan diferente potencial de rendimiento entre sí. Para que el dato de rendimiento a emplear permita comparar entre zonas donde se hayan producido diferentes materiales, resulta importante la corrección de esta fuente de variación. Para esto debe convertirse el rendimiento '*Pago Productor'* en un rendimiento relativo expresado en porcentaje. El procedimiento empleado para realizar esta corrección fue calcular el rendimiento promedio histórico por línea hembra y luego dividir el dato de *'Pago Productor'* de cada lote por este valor propio de cada hembra, obteniendo así un rendimiento relativo expresado en porcentaje. Esto fue posible, ya que los datos de cada línea presentaban una distribución normal. Cabe mencionar, que no se consideró el efecto de los eventos transgénicos de los distintos materiales, sino que el rendimiento histórico es el promedio de cada línea hembra en todas sus versiones. Esto es así, básicamente porque los eventos transgénicos no producen variaciones en el rendimiento de las líneas.

Tanto el rendimiento por lote como así también el resto de los datos productivos (Localidad/Departamento, superficie del lote, fecha de siembra/floración/cosecha, humedad de cosecha, etc.) fueron obtenidos a partir de la extensa base de datos históricos que posee la empresa. Todos los lotes fueron producidos en condiciones potenciales de fertilización, irrigación y sanidad, es decir, no sufrieron limitaciones de ningún tipo durante el ciclo. La base de datos, que originalmente contaba con 6100 registros de 13 campañas, luego de pasar a través de un proceso de depuración, quedó con 3799 datos para ser utilizados. Los

criterios empleados para esta reducción fueron: a) el 42% de los datos eliminados pertenecía a producciones en contra-estación, esto es, multiplicaciones de materiales provenientes de países del hemisferio Norte cuyos germoplasmas no se encuentran adaptados a nuestras latitudes; b) el 23% se trataba de lotes sembrados fuera de las fechas óptimas de cada sitio, o bien, registros con referencias de fechas imprecisas; c) el 20% corresponde a lotes cosechados fuera del rango óptimo de humedad a cosecha (20% a 40%), razón por la cual, se espera una sobre-estimación del volumen obtenido en casos cosechados con alta humedad, o bien pérdida por desgrane en el campo en aquellos cosechados con baja humedad; d) el 15% remanente está asociado a la baja superficie de los lotes (>10 hectáreas), y dada su criticidad se encontraban sujetos a un tratamiento especial por parte de los técnicos de campo.

El presente estudio fue realizado sobre los 37 Departamentos o Partidos de la República Argentina que se encontraban representados en la base de datos previamente mencionada. Considerando que en muchos casos se tienen dos ventanas de siembra diferentes, se cuenta en total con un abanico de 51 combinaciones entre Departamento y ventana de siembra (Tabla 2). Estas combinaciones se dividen en Zonas Templadas y Zonas Tropicales, siendo esto relevante al momento de la producción de diferentes germoplasmas de maíz.

Tabla 2: Detalle de las combinaciones entre Departamentos/Partidos de la República Argentina y fechas de siembra incluidos en el análisis.

Departamento / Partido	Provincia	Latitud	Longitud	Ventana de Siembra	Intervalo meses de siembra	Zona
Alberti	Buenos Aires	-36°58'60"	-61°43'60"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Arrecifes	Buenos Aires	-35°56'14"	-61°52'38"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Arrecifes	Buenos Aires	-35°56'14"	-61°52'38"	2da siembra	Nov - Dic	Templada
Balcarce	Buenos Aires	-38°8'33"	-59°47'16"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Carmen de Areco	Buenos Aires	-35°37'60"	-60°10'60"	1era siembra	Sep - Nov	Templada
Chacabuco (BsAs)	Buenos Aires	-35°22'0"	-61°31'60"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Chacabuco (BsAs)	Buenos Aires	-35°22'0"	-61°31'60"	2da siembra	Nov - Dic	Templada
Colón	Buenos Aires	-34°7'0"	-62°54'0"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Coronel Pringles (BsAs)	Buenos Aires	-38°1'60"	-62°39'1"	1era siembra	Nov - Nov	Templada
Coronel Suarez	Buenos Aires	-38°33'38"	-62°2'16"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
General Alvarado	Buenos Aires	-39°50'28"	-59°54'5"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
General Arenales	Buenos Aires	-35°52'22"	-62°52'1"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
General Arenales	Buenos Aires	-35°52'22"	-62°52'1"	2da siembra	Nov - Dic	Templada
General Lamadrid	Buenos Aires	-38°45'0"	-62°45'0"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Guaminí	Buenos Aires	-38°58'60"	-63°34'60"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Lobería	Buenos Aires	-39°45'22"	-59°15'25"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Necochea	Buenos Aires	-39°26'38"	-59°15'30"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Pergamino	Buenos Aires	-34°14'42"	-61°26'34"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Pergamino	Buenos Aires	-34°14'42"	-61°26'34"	2da siembra	Enero - Dic	Templada
Rojas	Buenos Aires	-35°49'4"	-61°15'36"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Rojas	Buenos Aires	-35°49'4"	-61°15'36"	2da siembra	Enero - Dic	Templada
Salto	Buenos Aires	-35°41'19"	-61°44'9"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Salto	Buenos Aires	-35°41'19"	-61°44'9"	2da siembra	Nov - Dic	Templada
Juárez Celman	Córdoba	-34°35'42"	-64°33'46"	1era siembra	Ago - Oct	Templada
Juárez Celman	Córdoba	-34°35'42"	-64°33'46"	2da siembra	Nov - Dic	Templada
Marcos Juárez	Córdoba	-36°58'60"	-61°43'60"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
San Javier	Córdoba	-28°9'54"	-66°48'22"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Totoral	Córdoba	-31°13'7"	-64°8'15"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
Gualeguay	Entre Rios	-34°50'59"	-60°41'23"	1era siembra	Ago - Sep	Templada
Gualeguay	Entre Rios	-34°50'59"	-60°41'23"	2da siembra	Sep - Oct	Templada
Victoria	Entre Rios	-33°13'28"	-60°6'45"	1era siembra	Ago - Sep	Templada
Victoria	Entre Rios	-33°13'28"	-60°6'45"	2da siembra	Sep - Oct	Templada
Villaguay	Entre Rios	-32°7'55"	-60°58'23"	1era siembra	Ago - Sep	Templada
Villaguay	Entre Rios	-32°7'55"	-60°58'23"	2da siembra	Sep - Nov	Templada
Chacabuco (San Luis)	San Luis	-34°22'25"	-62°12'59"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Coronel Pringles (San Luis)	San Luis	-35°52'22"	-62°52'1"	1era siembra	Oct - Nov	Templada
Constitución	Santa Fé	-34°31'15"	-61°29'19"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
General Lopez	Santa Fé	-35°44'18"	-61°8'19"	1era siembra	Sep - Oct	Templada
General Lopez	Santa Fé	-35°44'18"	-61°8'19"	2da siembra	Nov - Dic	Templada
Santa Rosa	Catamarca	-29°56'29"	-66°32'11"	1era siembra	Ago - Sep	Tropical
Santa Rosa	Catamarca	-29°56'29"	-66°32'11"	2da siembra	Dic - Ene	Tropical
Rio Primero	Córdoba	-38°0'44"	-59°59'44"	2da siembra	Dic - Ene	Tropical
San Alberto	Córdoba	-31°40'0"	-60°31'60"	1era siembra	Sep - Sep	Tropical
San Alberto	Córdoba	-31°40'0"	-60°31'60"	2da siembra	Dic - Ene	Tropical
Totoral	Córdoba	-30°45'7"	-64°8'15"	2da siembra	Dic - Ene	Tropical
Anta	Salta	-24°25'60"	-60°1'0"	1era siembra	Julio - Ago	Tropical
Atamisqui	Santiago del Estero	-28°36'0"	-59°19'60"	1era siembra	Ago - Sep	Tropical
Banda	Santiago del Estero	-26°36'0"	-61°27'0"	1era siembra	Ago - Ago	Tropical

Figueroa	Santiago del Estero	-27°26'0"	-62°58'60"	1era siembra	Ago - Ago	Tropical
Robles	Santiago del Estero	-27°51'20"	-63°33'50"	1era siembra	Ago - Ago	Tropical
La Cocha	Tucumán	-27°50'55"	-66°24'57"	1era siembra	Ago - Sep	Tropical

En las figuras 3 y 4 se presenta la ubicación de los Departamentos/Partidos considerados en el análisis tanto para zonas templadas como tropicales.

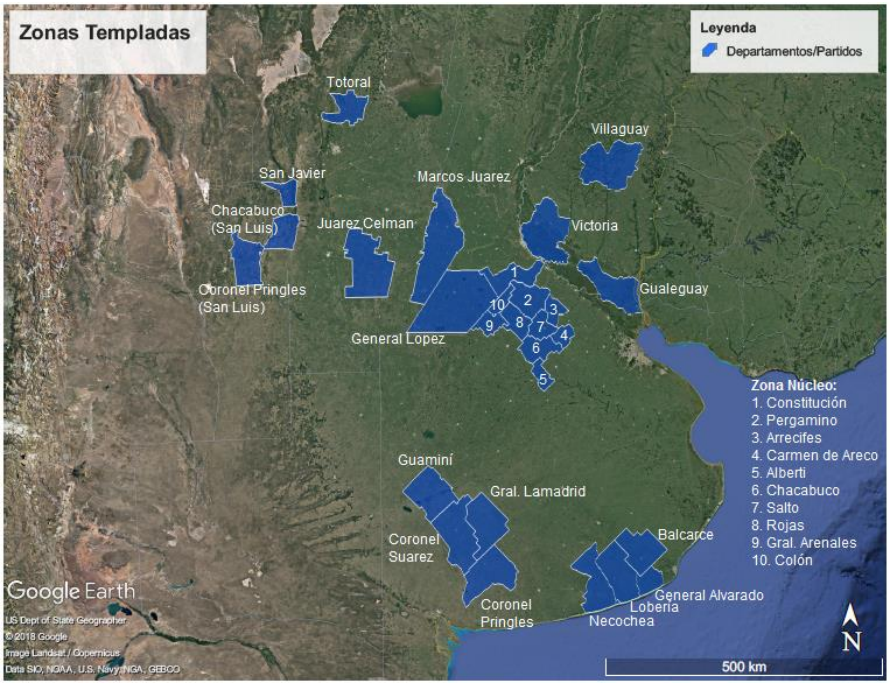

Figura 3: Mapa de los Partidos de la Argentina donde se lleva a cabo la producción de materiales de maíz templado por parte de la empresa.

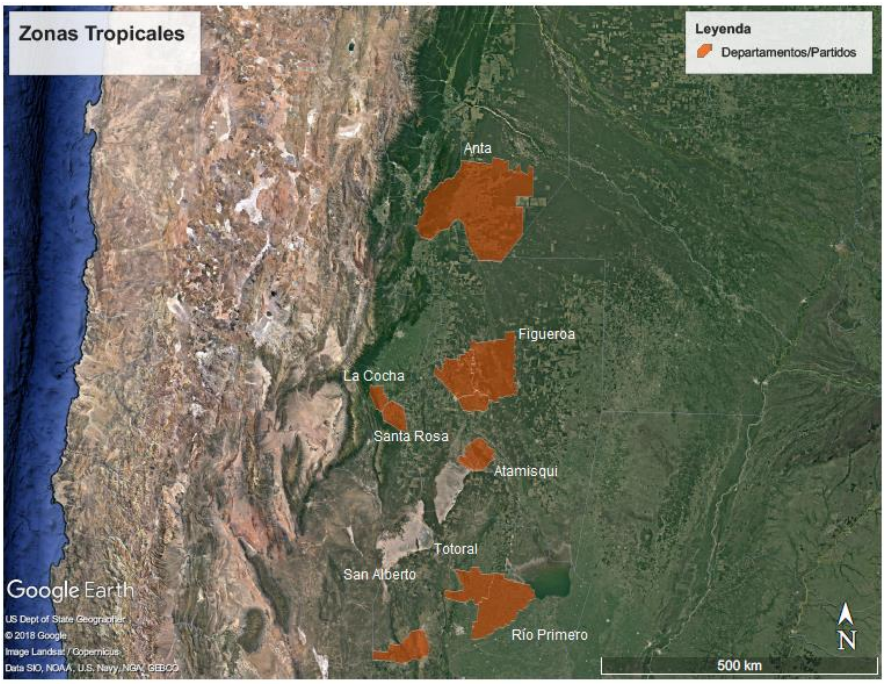

Figura 4: Mapa de los Partidos de la Argentina donde se lleva a cabo la producción de materiales de maíz tropical por parte de la empresa.

3.2 Métodos para obtener la zonificación agro-climática:

Dado que el presente trabajo tuvo por objeto asociar el efecto de más de una variable sobre un evento simple y agrupar sitios en virtud de esto, para el análisis de los datos se empleó estadística multi-variada. Dentro de esta, se llevó a cabo un análisis en clústers o conglomerados, que es una técnica descriptiva basada en la organización de una colección de patrones (representados por vectores de mediciones) en grupos basados en métricas de similitud (Jain et al., 1999). Se trata de una técnica estadística que busca agrupar elementos o variables buscando lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. La literatura relacionada a las técnicas de "*clustering*" es abundante, sin embargo, empleando la clasificación taxonómica de algoritmos propuesta por Dubai et al., 2017, las técnicas pueden estar enmarcadas en: Jerárquicas y Particionales (o disociativas). Los métodos jerárquicos producen una serie de particiones concatenadas, mientras que los métodos particionales producen solo una. Los algoritmos jerárquicos son también más versátiles que los particionales. Por su parte, también existen los algoritmos

híbridos los cuales han sido explorados por Murty y Krishna et al., 1980 para favorecerse de los beneficios de ambas aproximaciones.

El algoritmo empleado en el presente trabajo es el jerárquico aglomerativo, cuyo objetivo es construir un árbol de datos conocido también como dendograma, en el cual se unen sucesivamente grupos de puntos similares. Dependiendo de cómo se define el clúster, existen diferentes métricas de proximidad que pueden ser empleadas: Linkage Simple, Linkage Completo, Promedio entre Grupos, Método del Centroide, Método de la Mediana y Método Ward. Se optó por emplear el Método Ward ya que el análisis de conglomerados mediante esta metodología busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad dentro de cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos (Johnson, 2000). Para ello se calcula, en primer lugar, la media de todas las variables en cada conglomerado. A continuación, se calcula la distancia entre cada caso y la media del conglomerado, sumando después las distancias entre todos los casos. Posteriormente se agrupan los conglomerados que generan menos aumentos en la suma de las distancias dentro de cada conglomerado. Como ya se mencionó, este procedimiento permitió crear grupos homogéneos de Departamentos/Partidos a partir de las variables ambientales y productivas seleccionadas, obteniendo así los mega-ambientes resultantes distribuidos a lo largo de las distintas Regiones productivas. Para ejecutar todos los análisis estadísticos descriptos, se empleó el software Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

Para estimar la eficacia del modelo propuesto se realizó un análisis sobre la información de producción de semillas de la campaña 17-18. La misma no se encuentra incluida en la base de datos empleada para realizar estudio de mega-ambientes debido a que la misma fue posterior a dicho análisis. El parámetro empleado para evaluar su eficacia es el porcentaje de los lotes que obtuvieron un rendimiento final entre el 80% y 120% respecto de la meta establecida inicialmente. Para realizar este procedimiento, se debió calcular una meta teórica para cada cruzamiento (combinación línea hembra x línea macho) en cada mega-ambiente a partir de la información histórica de la base de datos. En el caso

de que para una determinada combinación '*cruzamiento x mega-ambiente*' no existiera información histórica, o bien, fueran menos de 10 datos, la meta inicial era inferida afectando el promedio histórico de rendimiento del cruzamiento por el índice de productividad específico para cada agrupamiento expresado en rendimiento relativo. De esta forma, todas las combinaciones '*cruzamiento x mega-ambiente*' poseían una meta inicial para realizar la comparación respecto del rendimiento final, expresado en Bolsas/ha.

4. Resultados y Discusión:

4.1 Caracterización de la base de datos empleada:

Se obtuvo el rendimiento relativo promedio de cada una de las líneas hembra de maíz durante el período comprendido entre 2004 y 2017. En la Figura 5 se observan las diferencias de rendimiento relativo promedio existentes entre las distintas líneas hembras expresadas en kilos/hectárea (Kg/Ha). Este rango va desde 7059,5 Kg/Ha, en el caso de la línea de mejor comportamiento, a 2424,7 Kg/Ha para aquella de menor potencial. Asimismo, este comportamiento diferencial se observa en la longitud del ciclo del cultivo (Figura 6) y en el peso final de las semillas (Figura 7).

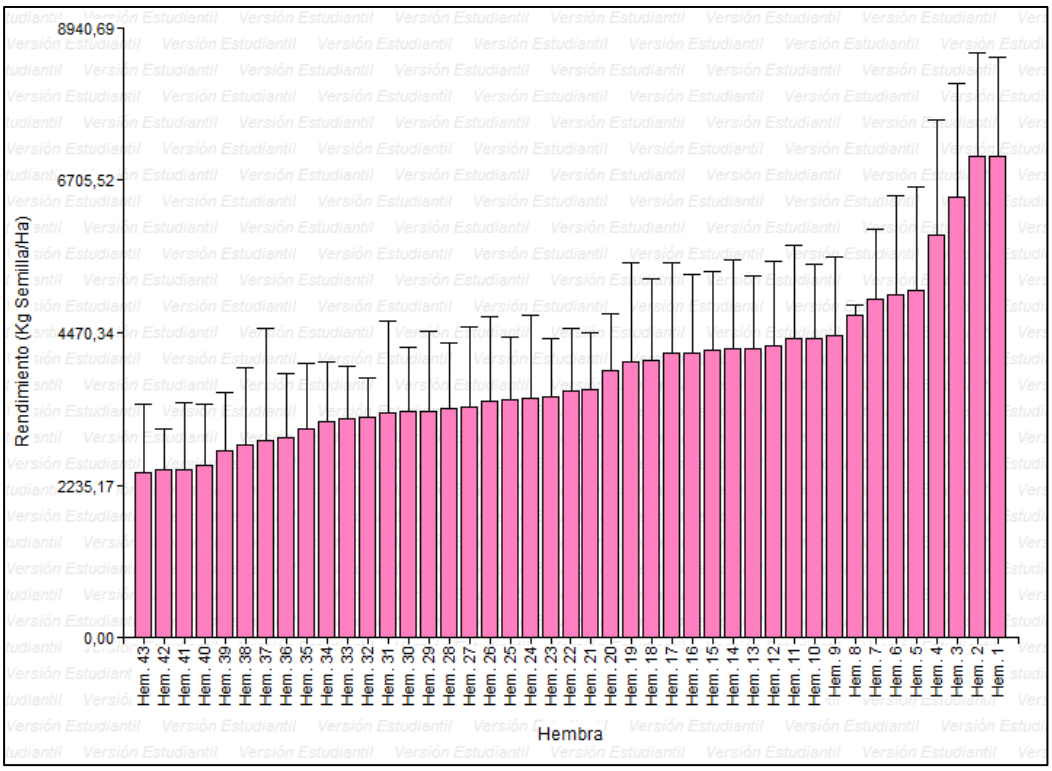

Figura 5: Rendimiento expresado en Kilos de semilla por hectárea para distintas líneas hembras de maíz. Información promedio de 13 campañas (desde 2004 a 2017).

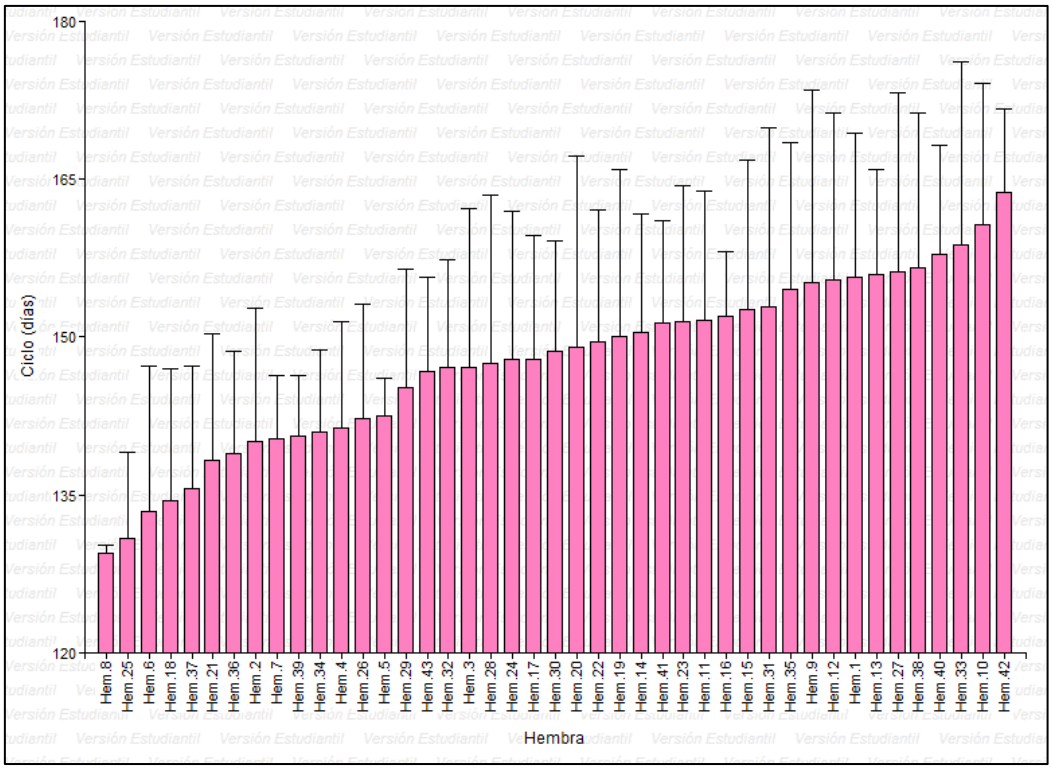

Figura 6: Duración del ciclo del cultivo expresada en días para distintas líneas hembras de maíz. Información promedio de 13 campañas (desde 2004 a 2017).

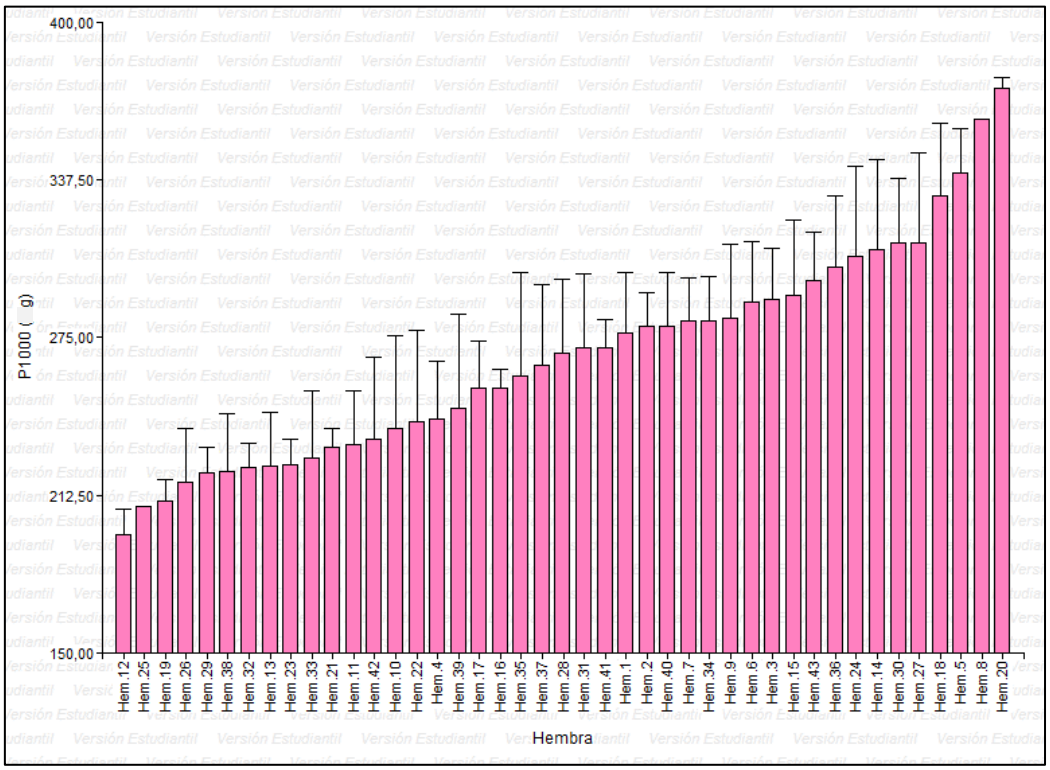

Figura 7: Peso de 1000 semillas expresada en gramos (g) para distintas líneas hembras de maíz. Información promedio de 13 campañas (desde 2004 a 2017).

Una vez definido el rendimiento relativo como variable de productividad, se procede a analizar el comportamiento de este parámetro durante las 13 campañas de producción de semillas que comprenden la base de datos analizada. En la Figura 8 es posible observar la fluctuación del rendimiento relativo a lo largo de este lapso, la cual se encuentra asociada a diversos factores que van desde cuestiones relativas a la calidad del material sembrado (por ejemplo, poder germinativo y vigor de la semilla), las prácticas de manejo del lote y finalmente, las condiciones ambientales particulares de cada sitio y año. Este trabajo se focaliza en encontrar similitudes entre las condiciones ambientales y la productividad (rendimiento) de las distintas regiones de producción con el fin de poder llevar a cabo una zonificación que permita simplificar el proceso de asignación de metas de rendimiento.

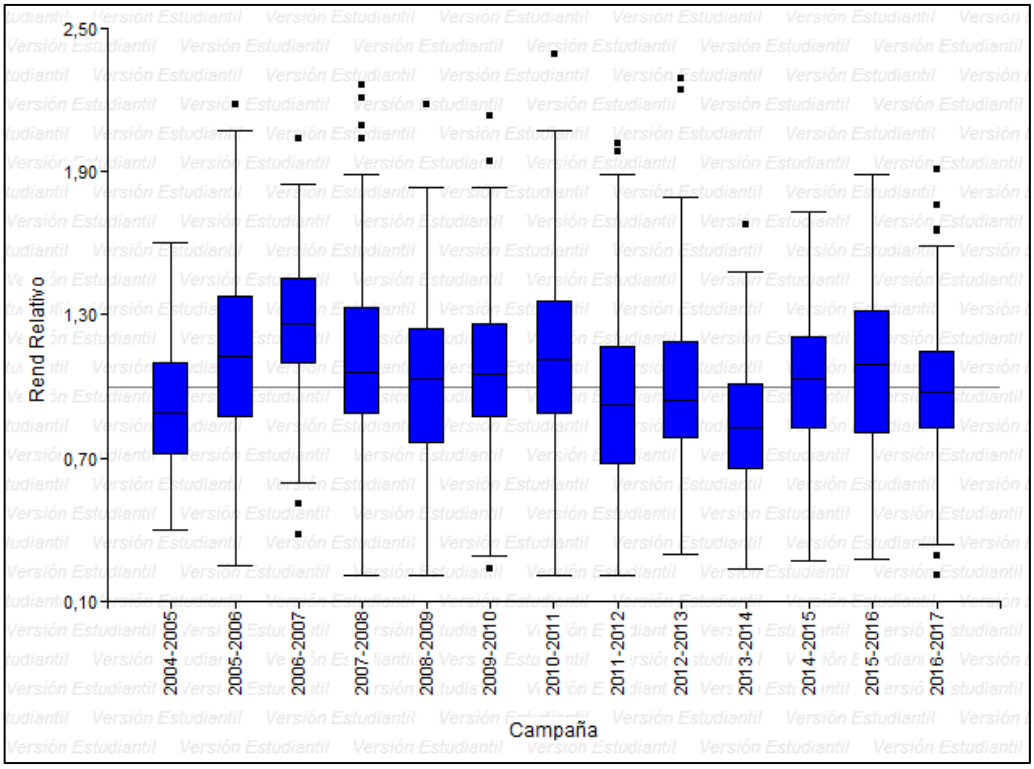

Figura 8: Box-Plot de la evolución del rendimiento relativo por campaña de producción de semillas (2004 – 2017).

En la Figura 9 se analiza la variación del rendimiento relativo promedio de las 13 campañas para las 51 combinaciones de *Partido/Departamento y ventana de siembra*

(siembra de primera -o temprana- y siembra de segunda -o tardía-). Las variaciones en el rendimiento relativo por combinación son aún más marcadas que las variaciones promedio interanuales, lo cual sugiere la importancia del agrupamiento entre zonas de producción con características climáticas y productivas similares.

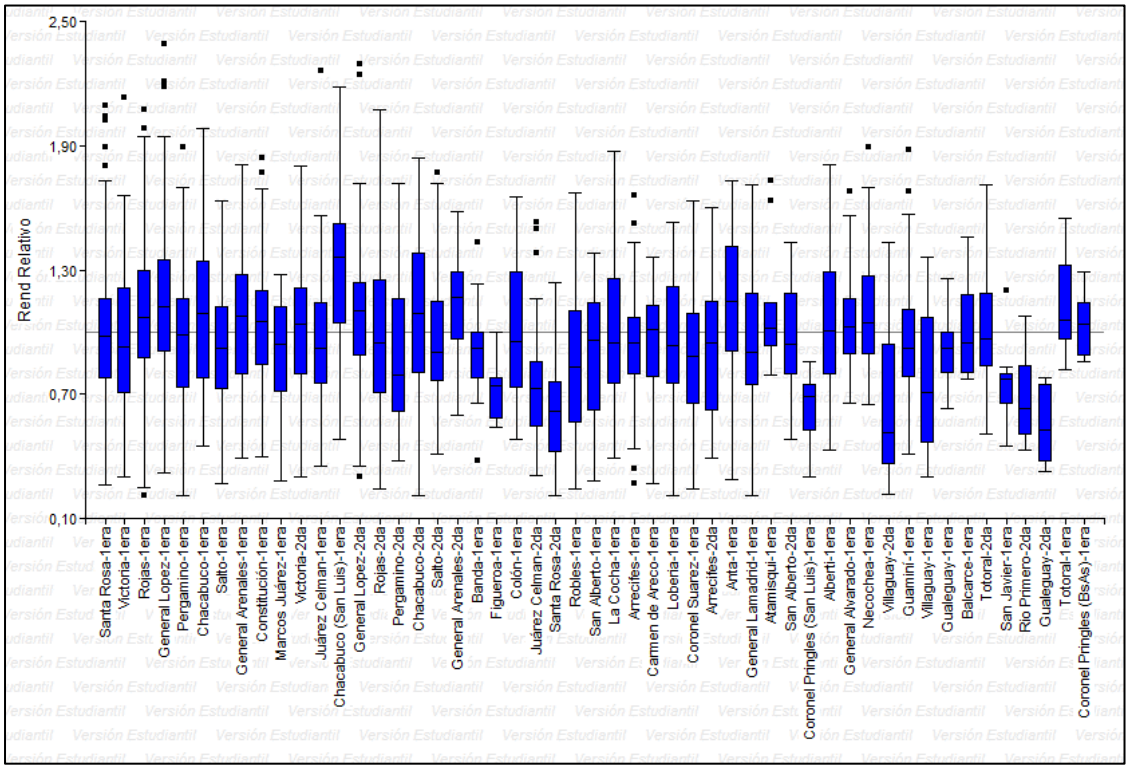

Figura 9: Box-Plot para rendimiento relativo por Partido/Departamento de Producción y ventana de siembra.

A continuación, se aborda la importancia de emplear el rendimiento obtenido a partir de la metodología de 'Pago Productor' descripta anteriormente para el cálculo del rendimiento relativo, en lugar de emplear el dato de rendimiento final de planta de Procesamiento expresado en bolsas por hectárea tal como fuera utilizado en el análisis anterior. En la Figura 10 se grafica la relación entre el Rendimiento '*Pago Productor*' en el eje de las abscisas, y rendimiento del Desgrane (o Dried Shelled – DS) una vez que las espigas de maíz son secadas y desgranadas en la planta; y también la relación con el rendimiento luego del gradeo o clasificación por grados o calibres (Finished Good – FNG).

Como es de esperarse, la relación entre el rendimiento proveniente de campo y el resultante de planta se va debilitando a medida que se avanza a través de las sucesivas etapas del procesamiento en planta. Por eso, cuando idealmente la relación entre rendimiento de campo y final de planta debiera ser de 1, la misma es de 0,94 (R^2 = 0,87) para el rendimiento DS y 0,84 (R^2 = 0,81) para el rendimiento FNG. En estas etapas ocurren pérdidas de semilla por el efecto de las máquinas y acarreos, como así también por calidad, ya que son eliminados lotes por no cumplir con los estándares de calidad definidos por la empresa. Ya hacia el final del proceso, cuando la semilla es embolsada, se adiciona otro factor de variación: el peso de la semilla. Dado que las bolsas comercializadas poseen un número fijo de semillas y este varía para los distintos materiales, se requerirá un peso variable para llegar al número fijo de semillas contenido en una bolsa. Por este motivo, como se muestra en la Figura 11, la relación entre el rendimiento proveniente del campo ('Pago Productor') llevado a bolsas por hectárea, y las bolsas por hectárea finales obtenidas es aún más bajo (R^2 0,80 vs 0,83). En conclusión, al emplear el dato de rendimiento mediante el 'Pago Productor' proveniente directamente del camión cosechado, es posible despejar del análisis las variaciones producidas en etapas posteriores del proceso ajenas a la producción a campo.

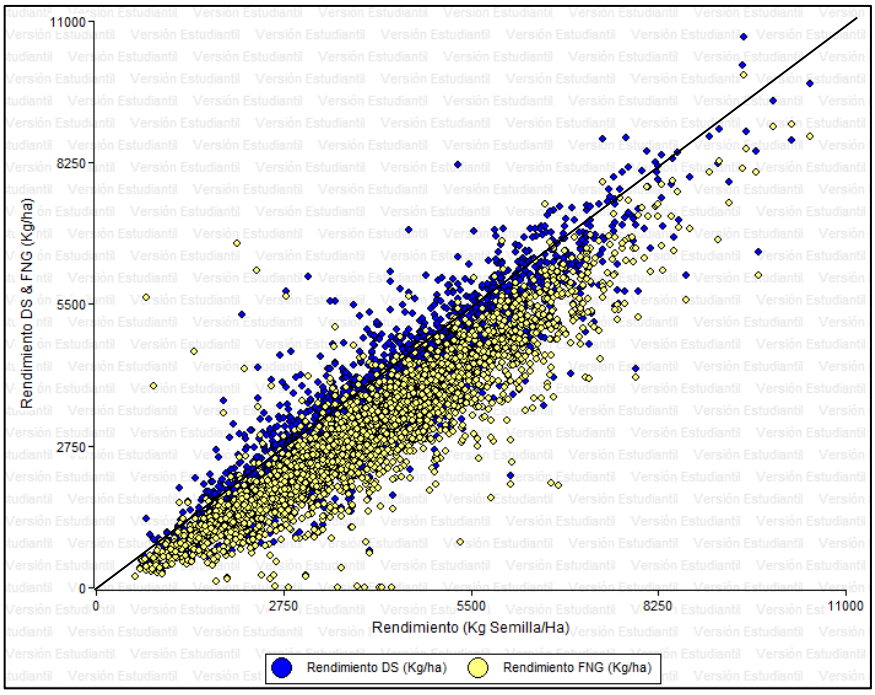

Figura 10: Relación entre rendimiento proveniente de campo obtenido a partir de la metodología de 'Pago Productor' y el rendimiento de planta luego del secado y desgrane (DS), y también el rendimiento posterior a la clasificación por calibres o tamaño de semilla (FNG).

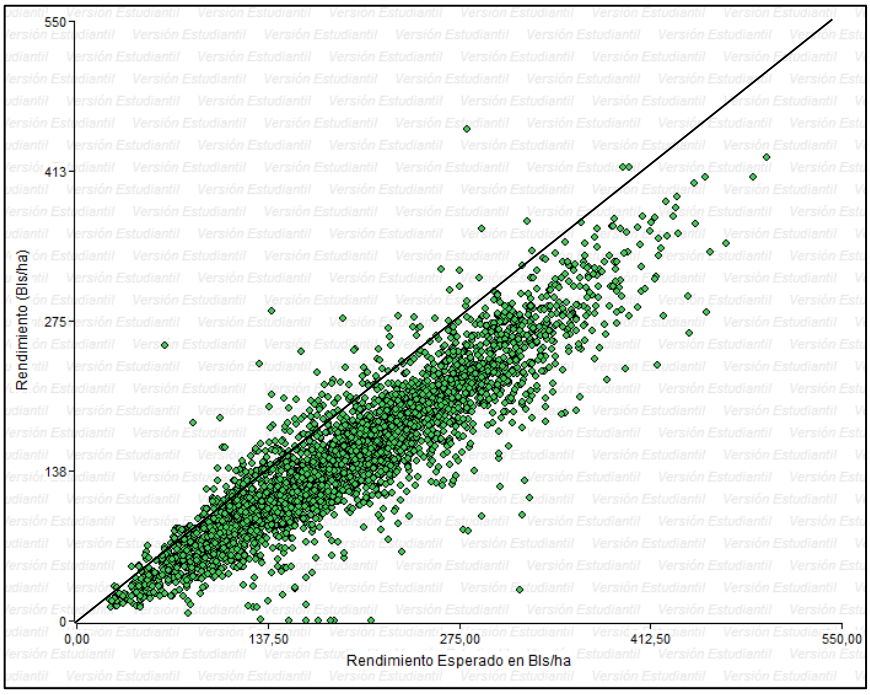

Figura 11: Relación entre rendimiento proveniente de campo obtenido a partir de la metodología de 'Pago Productor' estimado en bolsas (Rendimiento Esperado), y el rendimiento real de planta luego del secado y desgrane, clasificación y embolse (FNG).

4.2 Estudio de los parámetros ambientales:

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio de 13 campañas para las seis variables climáticas bajo estudio en cada combinación de *Partido y ventana de siembra*. Luego, en las Figuras 12 a 17 se esquematiza el comportamiento de las variables climáticas a lo largo del tiempo (2004 a 2017). En términos generales, se observa una fluctuación inter-anual en todos los parámetros ambientales bajo estudio. Estas variaciones sugieren que existe una relación entre las mismas y las fluctuaciones en el rendimiento relativo durante el mismo período observadas en la Figura 8. En los box-plot que se presentan debajo se discriminó además por ventana de siembra, es decir, fechas de siembra temprana y tardías. Esto es así debido a que, para cinco de las seis variables climáticas analizadas, los valores difieren entre ambos momentos de siembra. Debajo se presentación los valores máximos, mínimos y la mediana para cada una de las variables en cada ventana de siembra a lo largo del período analizado.

		TMiM10Sb (°C)	RAcM10SbCh (MJ/m²)	RPrMm10An (MJ/m²/día)	PAcSbCh (mm)	HPrMm10An (%)	TMaxM37An (#días)
1era ventana de siembra	**Mínimo**	8,94	1445,83	10,68	393,92	36,08	0,00
	Mediana	10,40	1507,73	11,57	518,44	46,12	0,83
	Máximo	14,18	1665,18	12,13	713,59	60,43	2,12
2da ventana de siembra	**Mínimo**	13,74	1199,97	9,18	416,50	34,73	0,00
	Mediana	15,07	1309,66	10,57	545,00	49,94	0,72
	Máximo	20,46	1430,09	11,84	843,87	62,43	2,44

Tabla 3: Datos climáticos promedio de 13 campañas (2004 a 2017) para los Partidos/Departamentos bajo estudio, discriminando por ventana de siembra. El detalle de los códigos de las variables se encuentra en la Tabla 1.

Partido - Ventana Siembra	**TMiM10Sb (°C)**	**RAcM10SbCh (MJ/m²)**	**RPrMm10An**	**HPrMm10An (%)**	**PAcSbCh (mm)**	**TMaxM37An (#días)**
Alberti-1era	12,7	1515	11,8	45,6	638	0,8
Anta-1era	8,6	1310	10,4	53,8	228	0,6
Arrecifes-1era	10,3	1518	11,7	48,8	598	0,7
Arrecifes-2da	16,3	1307	10,8	47,9	485	0,8
Atamisqui-1era	8,4	1428	11,0	56,1	221	0,2
Balcarce-1era	12,8	1536	10,7	62,9	479	0,3
Banda-1era	11,2	1316	10,5	54,5	255	0,4
Carmen de Areco-	13,1	1522	11,7	50,1	443	1,0
Chacabuco (San	12,9	1495	12,0	50,3	440	0,3
Chacabuco-1era	10,4	1538	11,7	45,9	635	1,0
Chacabuco-2da	16,3	1347	11,4	42,7	506	2,1
Colón-1era	10,5	1585	11,6	38,5	569	1,7
Constitución-1era	9,5	1507	11,6	43,9	624	1,5
Coronel Pringles	13,2	1558	10,4	57,2	353	0,0
Coronel Pringles	14,1	1503	11,6	39,3	498	1,5
Coronel Suarez-	10,9	1639	12,0	38,6	486	1,2
Figueroa-1era	10,9	1332	10,7	56,5	225	0,0
General Alvarado-	12,3	1595	11,2	68,8	560	0,0
General Arenales-	10,3	1564	11,8	44,9	618	1,1
General Arenales-	15,7	1322	10,3	46,7	556	0,8
General Lamadrid-	11,6	1634	11,9	41,4	484	0,9
General Lopez-	10,7	1565	11,7	43,4	612	1,7
General Lopez-2da	16,3	1325	11,6	39,9	619	2,2
Gualeguay-1era	8,3	1585	11,8	44,6	578	0,7
Gualeguay-2da	9,5	1409	11,4	48,6	366	1,7
Guaminí-1era	13,0	1639	11,4	41,4	497	0,9
Juárez Celman-	11,4	1555	11,7	46,9	573	1,4
Juárez Celman-2da	16,5	1299	11,3	45,0	552	1,1
La Cocha-1era	7,9	1330	10,0	60,9	295	0,1
Loberia-1era	12,1	1580	10,8	63,4	466	0,3
Marcos Juárez-	10,9	1603	12,0	43,5	531	1,3
Necochea-1era	12,3	1586	11,2	69,9	532	0,0
Pergamino-1era	10,2	1553	11,7	43,1	613	1,9
Pergamino-2da	16,0	1309	11,1	41,5	595	1,8
Rio Primero-2da	17,5	1104	8,2	63,9	510	0,0
Robles-1era	11,4	1340	10,8	54,0	307	0,5
Rojas-1era	9,9	1545	11,7	45,2	599	1,3
Rojas-2da	16,3	1299	11,1	45,5	539	1,2
Salto-1era	10,3	1560	11,8	43,7	592	1,4
Salto-2da	16,1	1336	11,0	46,5	549	1,4
San Alberto-1era	8,2	1451	11,5	48,4	356	0,0
San Alberto-2da	16,2	1187	9,4	50,7	386	0,0
San Javier-1era	16,6	1475	12,4	30,5	356	2,8
Santa Rosa-1era	9,2	1418	10,9	47,7	156	0,4
Santa Rosa-2da	19,3	1036	8,7	62,7	274	0,3
Totoral-1era	17,2	1487	11,2	49,9	346	0,0
Totoral-2da	19,2	1155	9,5	58,7	497	0,2
Victoria-1era	9,8	1576	11,5	42,7	603	1,3
Victoria-2da	11,7	1485	11,6	45,3	520	1,7
Villaguay-1era	9,4	1495	12,0	36,0	448	2,4
Villaguay-2da	14,9	1428	10,6	49,5	628	1,6

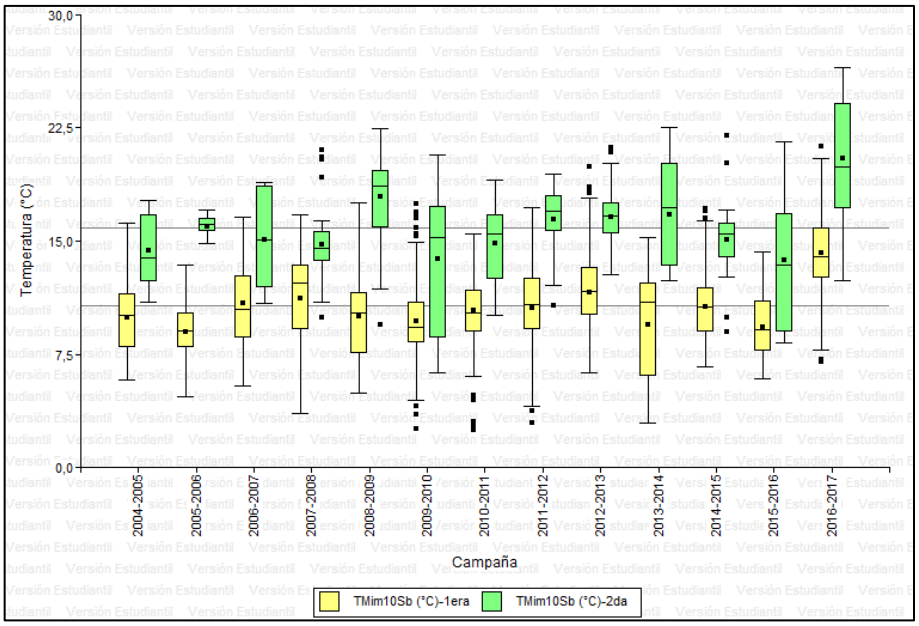

Figura 12: Box-Plot de evolución de la temperatura mínima 10 días luego de la siembra (TMiM10Sb) por campaña de producción de semillas (2004 – 2017). Las series en amarillo corresponden a fechas de siembra tempranas (1era ventana de siembra), mientras que series en verde a fechas tardías (2da ventana de siembra). Las líneas horizontales representan los valores promedio para ambas ventanas de siembra.

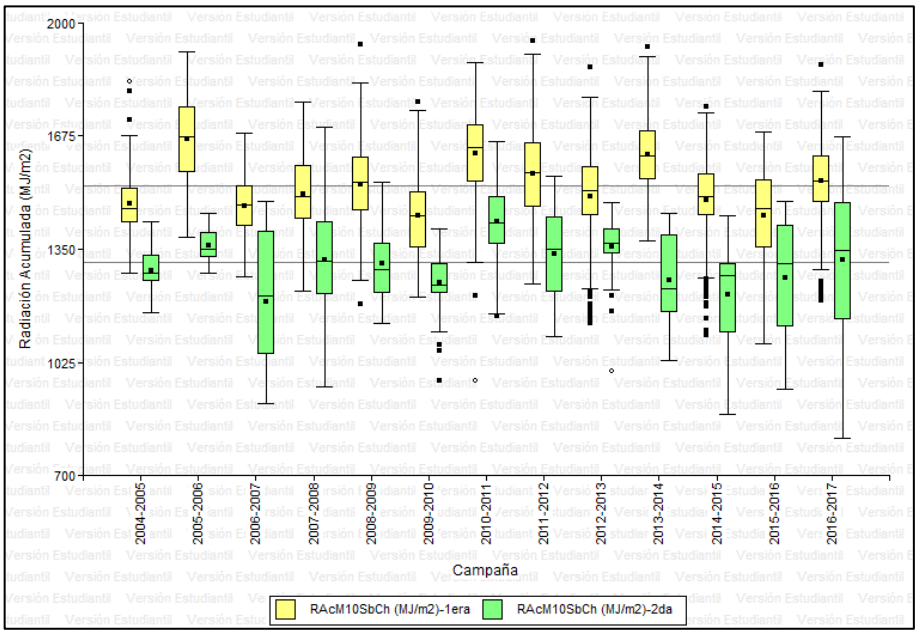

Figura 13: Box-Plot de evolución de la radiación PAR acumulada desde emergencia a cosecha (RAcM10SbCh) por campaña de producción de semillas (2004 – 2017). Las series en amarillo corresponden a fechas de siembra tempranas (1era ventana de siembra), mientras que series en

verde a fechas tardías (2da ventana de siembra). Las líneas horizontales representan los valores promedio para ambas ventanas de siembra.

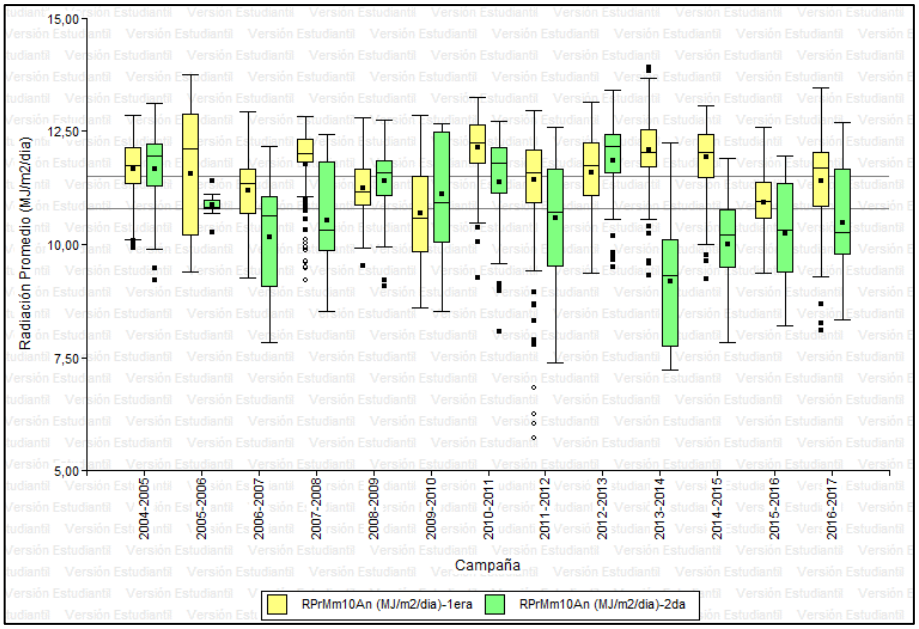

Figura 14: Box-Plot de evolución de la radiación PAR promedio diaria ±10 días de antesis (RPrMm10An) por campaña de producción de semillas (2004 – 2017). Las series en amarillo corresponden a fechas de siembra tempranas (1era ventana de siembra), mientras que series en verde a fechas tardías (2da ventana de siembra). Las líneas horizontales representan los valores promedio para ambas ventanas de siembra.

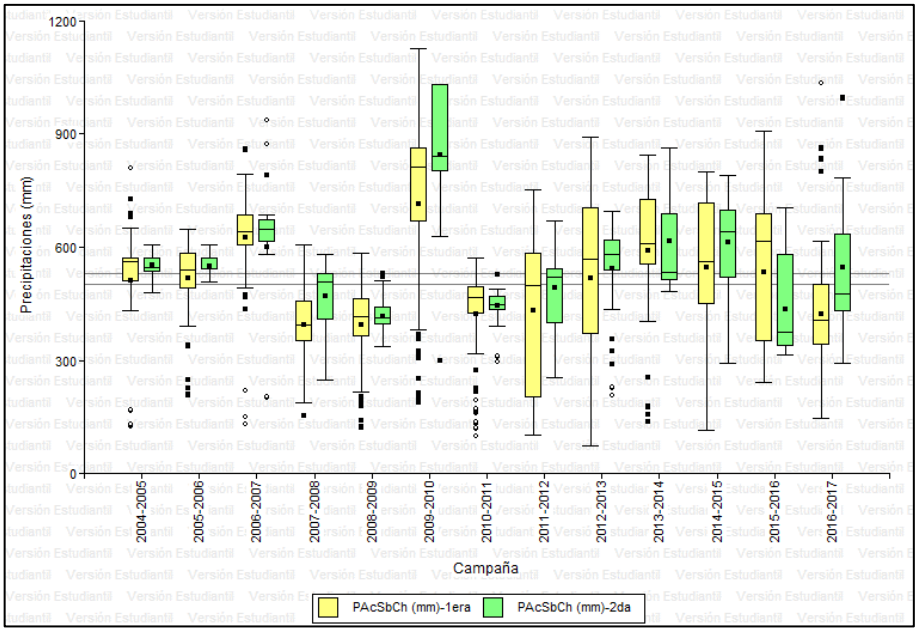

Figura 15: Box-Plot de evolución de la precipitación acumulada de siembra a cosecha (PAcSbCh) por campaña de producción de semillas (2004 – 2017). Las series en amarillo corresponden a fechas de siembra tempranas (1era ventana de siembra), mientras que series en verde a fechas tardías (2da ventana de siembra). Las líneas horizontales representan los valores promedio para ambas ventanas de siembra.

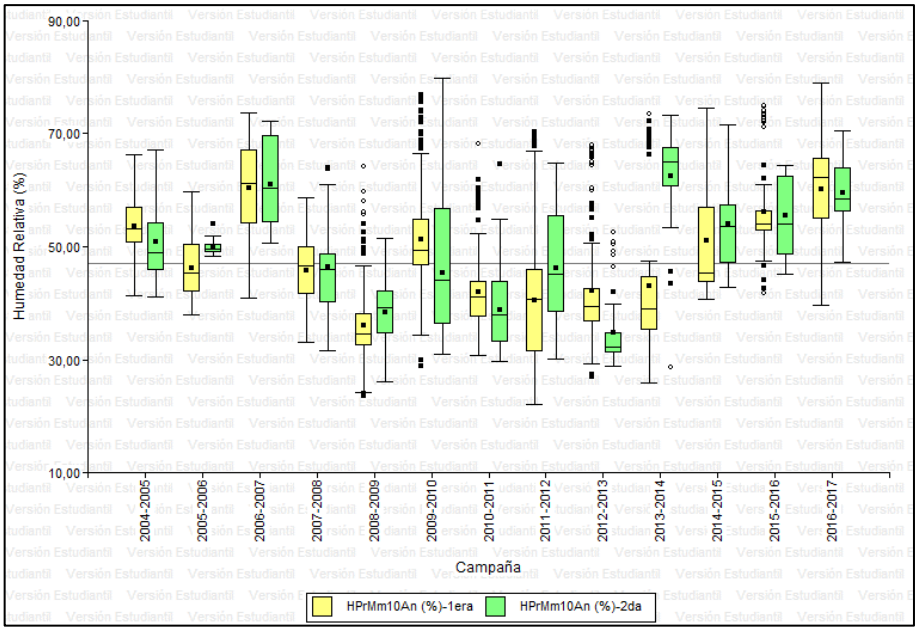

Figura 16: Box-Plot de evolución de la humedad relativa del aire promedio diaria ±10 días de antesis (HPrMm10An) por campaña de producción de semillas (2004 – 2017). Las series en amarillo corresponden a fechas de siembra tempranas (1era ventana de siembra), mientras que series en verde a fechas tardías (2da ventana de siembra). Las líneas horizontales representan los valores promedio para ambas ventanas de siembra.

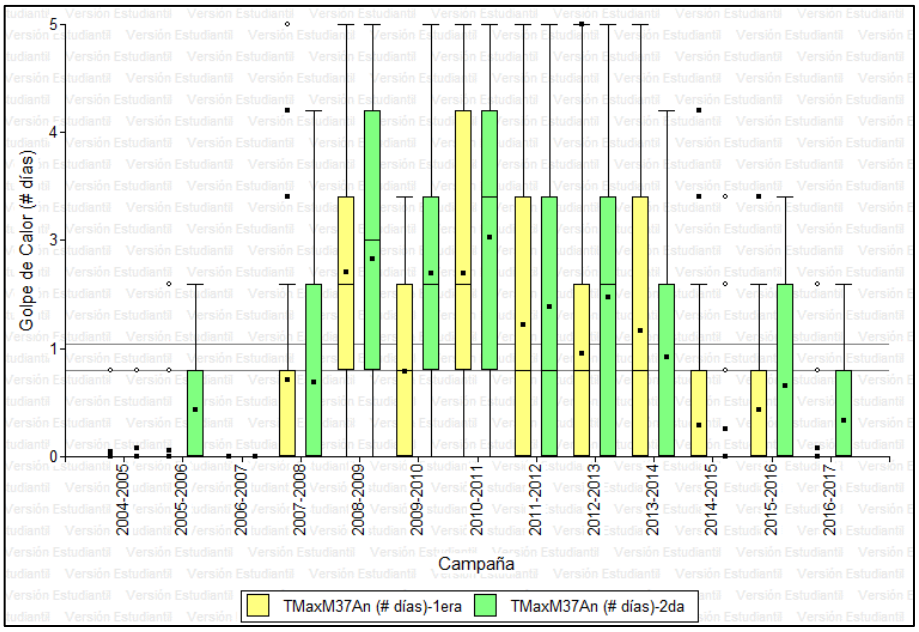

Figura 17: Box-Plot de evolución del número de días con temperatura máxima superior a 37°C 10 días previo antesis (TMaxM37An) por campaña de producción de semillas (2004 – 2017). Las series en amarillo corresponden a fechas de siembra tempranas (1era ventana de siembra), mientras que series en verde a fechas tardías (2da ventana de siembra). Las líneas horizontales representan los valores promedio para ambas ventanas de siembra.

4.3 Zonificación Agro-Climática resultante:

Para los análisis multivariados de conglomerados mediante el método Ward D que se discuten a continuación, se consideraron en todos los casos tanto las variables ambientales seleccionadas (TMiM10Sb, RAcM10SbCh, RPrMm10An, PAcSbCh, HPrMm10An y TMaxM37An) como así también el rendimiento relativo. En la figura 18 se presenta el dendograma con los agrupamientos para las 51 combinaciones *Partido/Departamento – Ventana de siembra*. Con esto se buscó evaluar la eficacia del modelo al momento de discriminar entre zonas templadas y tropicales, ya que la diferencia entre ellos está dada netamente por cuestiones climáticas. En esta figura las líneas rojas indican las zonas tropicales, mientras que las líneas negras aquellas zonas templadas, permitiendo inferir que el modelo fue exitoso al momento de distinguir entre estos ambientes. La correlación cofenética de este primer análisis general arroja un valor de 0,663.

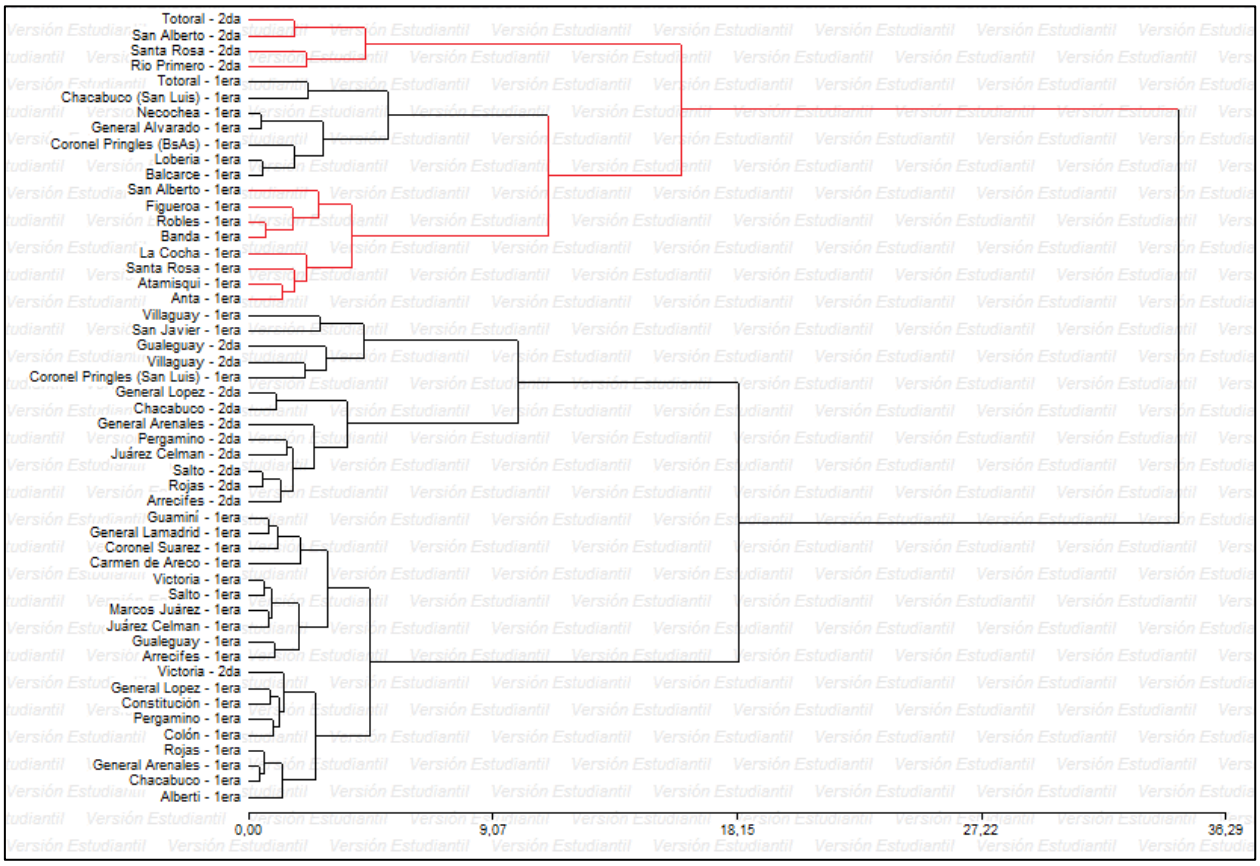

Figura 18: Análisis de Conglomerados por el método Ward D para las 51 combinaciones *Partido/Departamento – Ventana de siembra*, utilizando las siete variables bajo estudio (Temperatura mínima 10 días luego de la siembra, Radiación PAR acumulada desde emergencia a cosecha, Radiación PAR promedio diaria ±10 días de antesis, Humedad relativa del aire promedio diaria ±10 días de antesis, Precipitación acumulada de siembra a cosecha, Días con temperatura máxima superior a 37°C 10 días previo antesis y Rendimiento Relativo). Líneas rojas indican zonas para producción de líneas de maíz tropicales, y negras zonas para producción de líneas templadas.

Con el objetivo de mejorar la precisión del análisis, es decir, incrementar la correlación cofenética resultante, se realizó un análisis específico únicamente para zonas templadas y otro para zonas tropicales. Esto permitió mejorar los valores de correlación cofenética, siendo 0,725 para zonas templadas y 0,781 para zonas tropicales (Figuras 19 y 20). Allí es posible distinguir con líneas de diferente color entre los trece grupos de combinaciones *Partido/Departamento – Ventana de siembra* o mega-ambientes.

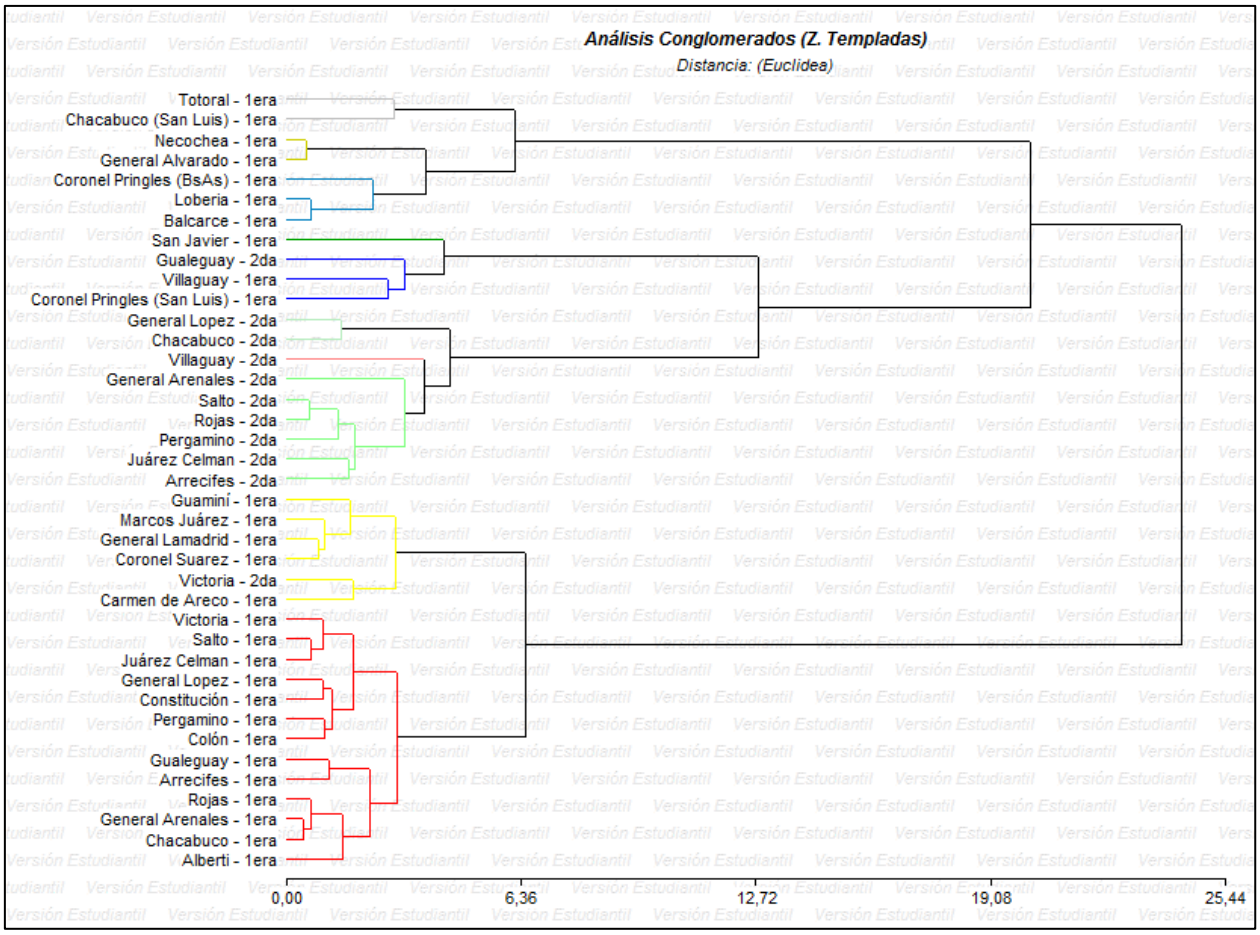

Figura 19: Análisis de Conglomerados por el método Ward D para las 39 combinaciones *Partido/Departamento – Ventana de siembra*, correspondientes a zonas para producción de líneas de maíz Templadas utilizando las siete variables bajo estudio (mencionadas en Figura 14). Líneas de distintos colores indican las diferentes agrupaciones generadas mediante el análisis.

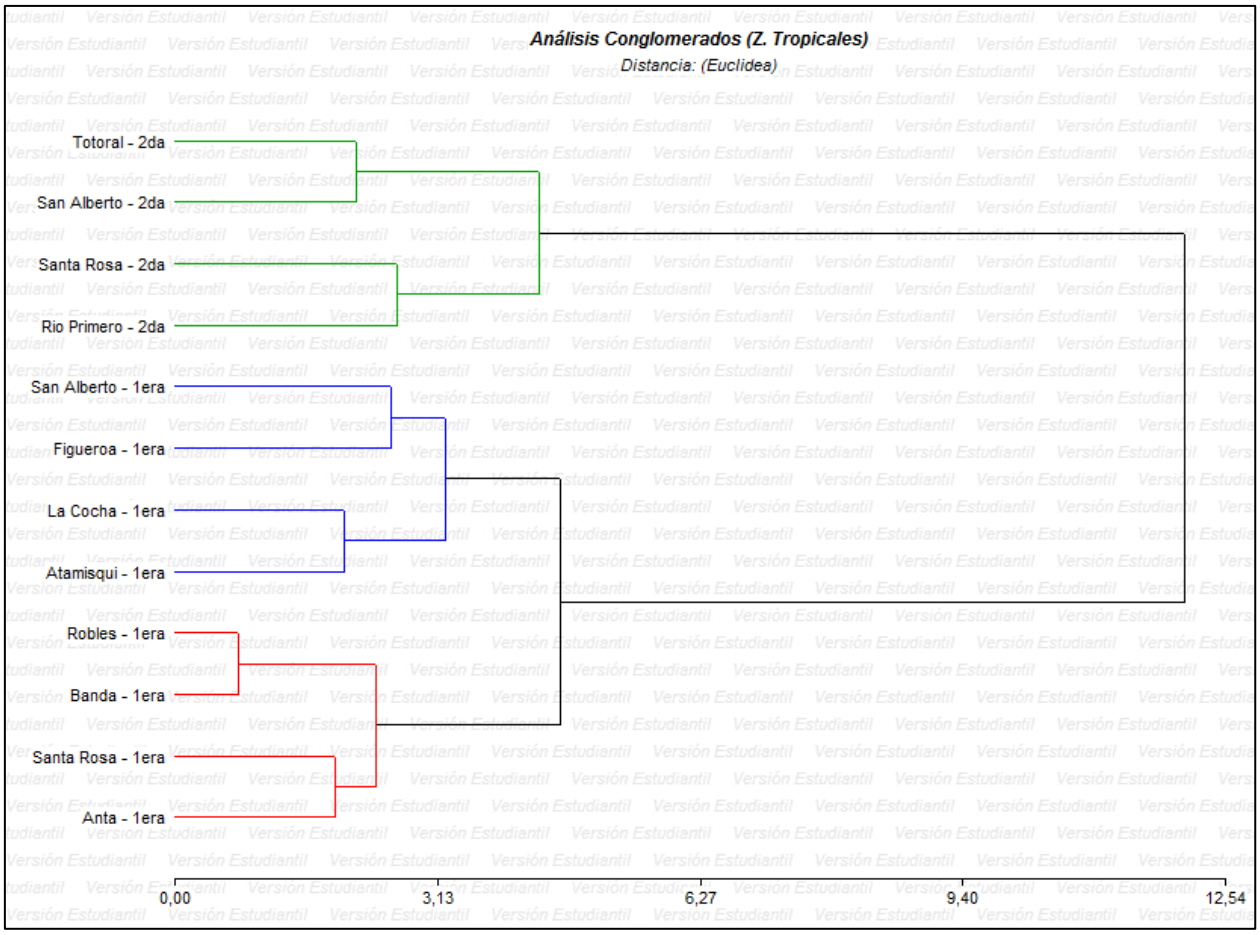

Figura 20: Análisis de Conglomerados por el método Ward D para las 12 combinaciones *Partido/Departamento – Ventana de siembra*, correspondientes a zonas para producción de líneas de maíz Tropicales utilizando las siete variables bajo estudio (mencionadas en la Figura 14). Líneas de distintos colores indican las diferentes agrupaciones generadas mediante el análisis.

En la Tabla 4 se detalla la conformación de los trece mega-ambientes identificados mediante el análisis de conglomerados, y a su vez se representan espacialmente en las figuras 21 a 24 discriminando entre zonas templadas y tropicales y ventana de siembra. Este análisis permitió agrupar sitios distantes entre sí, lo cual favorece y simplifica el proceso de asignación de rendimientos objetivo, aunque es también preciso mencionar que dos de los mega-ambientes identificados están comprendidos por un único Partido. Esto se debe a que no fue posible agruparlo con otros a la distancia cofenética considerada.

Tabla 4: Detalle de la conformación (combinación Partido/Departamiento – Ventana de siembra) de los mega-ambientes identificados en el análisis de conglomerados, indicando además si se trata de una zona propicia para producción de líneas de maíz templadas o tropicales.

Mega-ambiente	**Combinación Partido/Departamento - Ventana de Siembra**	**Tipo de Zona de producción de maíz para semilla**
1	Alberti - 1era; Arrecifes - 1era; Chacabuco - 1era; Colón - 1era; Constitución - 1era; General Arenales - 1era; General Lopez - 1era; Gualeguay - 1era; Juárez Celman - 1era; Pergamino - 1era; Rojas - 1era; Salto - 1era; Victoria - 1era	Templada
2	Coronel Pringles (San Luis) - 1era; Gualeguay - 2da; Villaguay - 1era	Templada
3	General Alvarado - 1era; Necochea - 1era	Templada
4	Arrecifes - 2da; General Arenales - 2da; Juárez Celman - 2da; Pergamino - 2da; Rojas - 2da; Salto - 2da	Templada
5	San Javier - 1era	Templada
6	Villaguay - 2da	Templada
7	Balcarce - 1era; Coronel Pringles (BsAs) - 1era; Loberia - 1era	Templada
8	Carmen de Areco - 1era; Coronel Suarez - 1era; General Lamadrid - 1era; Guaminí - 1era; Marcos Juárez - 1era; Victoria - 2da	Templada
9	Chacabuco - 2da; General Lopez - 2da	Templada
10	Chacabuco (San Luis) - 1era; Totoral - 1era	Templada
11	Anta - 1era; Banda - 1era; Robles - 1era; Santa Rosa - 1era	Tropical
12	Atamisqui - 1era; Figueroa - 1era; La Cocha - 1era; San Alberto - 1era	Tropical
13	Rio Primero - 2da; San Alberto - 2da; Santa Rosa - 2da; Totoral - 2da	Tropical

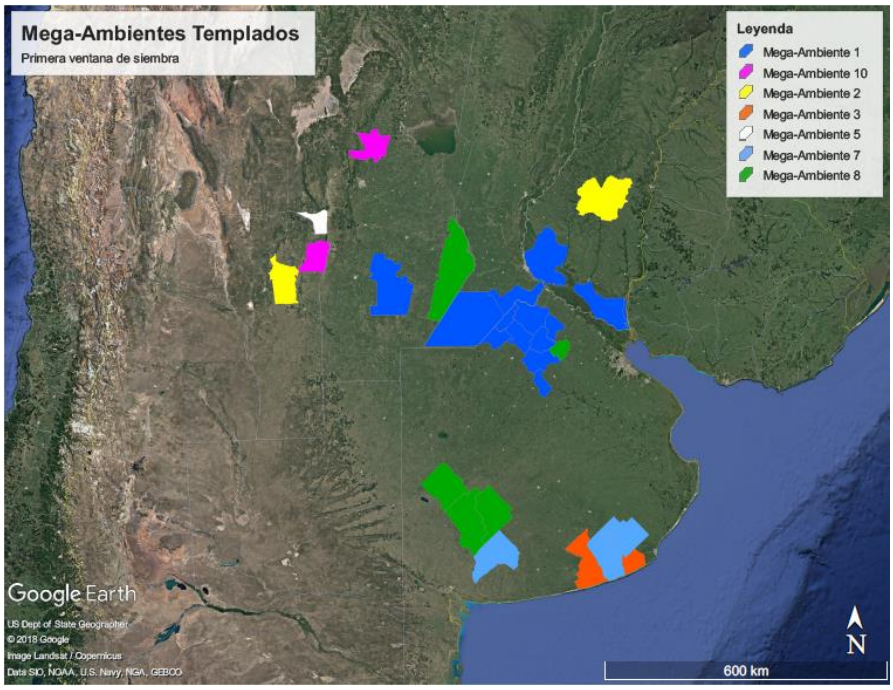

Figura 21: Mapa de distribución de mega-ambientes correspondientes a zonas de producción de líneas de maíz Templadas para la ventana de siembra temprana.

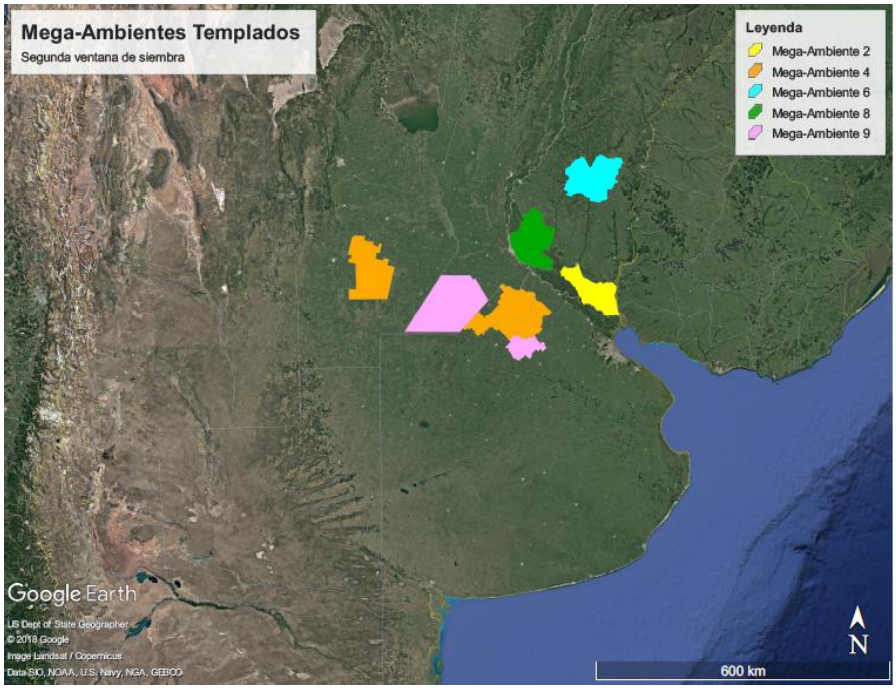

Figura 22: Mapa de distribución de mega-ambientes correspondientes a zonas de producción de líneas de maíz Templadas para la ventana de siembra tardía.

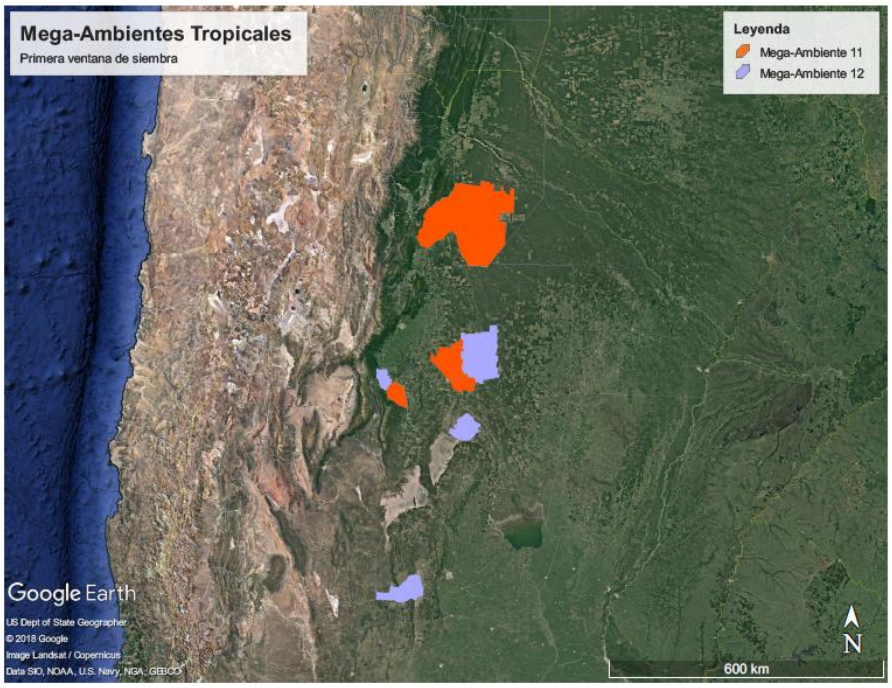

Figura 23: Mapa de distribución de mega-ambientes correspondientes a zonas de producción de líneas de maíz Tropicales para la ventana de siembra temprana.

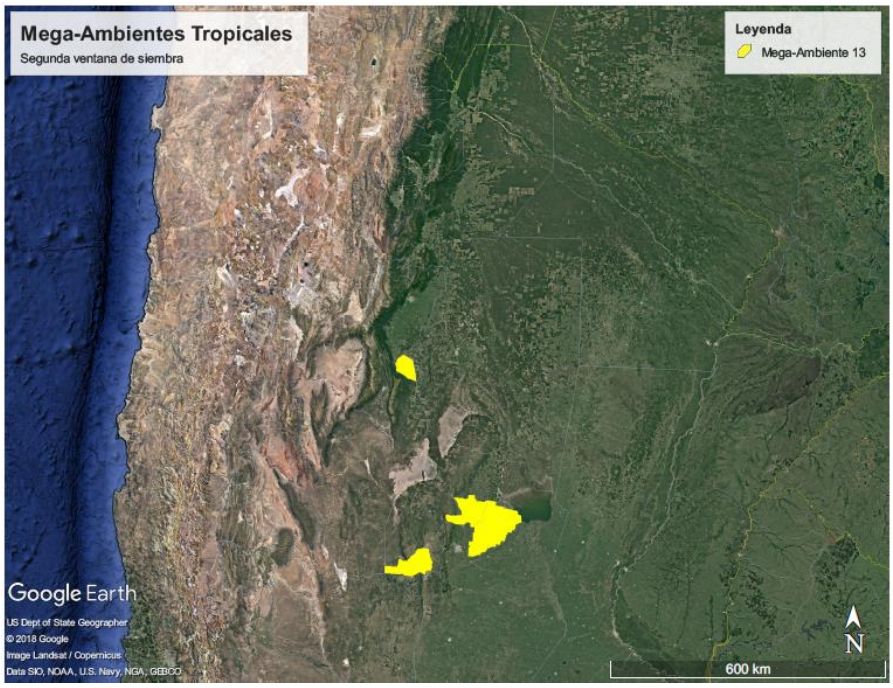

Figura 24: Mapa de distribución de mega-ambientes correspondientes a zonas de producción de líneas de maíz Tropicales para la ventana de siembra tardías.

En la Tabla 5 se detallan los valores medios de rendimiento relativo y de las variables climáticas en cada una de las agrupaciones encontradas. En base a estos datos, es posible analizar diferencias entre cada uno de estos mega-ambientes (MA). Así, en ambientes templados, se observa el MA 1 que nuclea Partidos de la región Norte de la Provincia de Buenos Aires, Sur de Santa Fé y Centro-Sur de Córdoba todo en siembras tempranas. Esta representa la agrupación menos dispersa de todas y su rendimiento relativo es de 1,01, cuenta con buen nivel de precipitaciones (604 mm) y radiación acumulada a lo largo del ciclo del cultivo (1551 MJ/m^2), aunque posee también características que impactan negativamente en el rendimiento como bajas temperaturas mínimas a la siembra (10,3°C) y baja humedad ambiental durante el período crítico (44,4%). Sin embargo, cuando se analizan las siembras tardías o de segunda, los Partidos que integran este MA se abren en dos agrupaciones distintas: Partidos de la región Norte de la Provincia de Buenos Aires y Centro-Sur de Córdoba, MA 4; y Sur de Santa Fé y Chacabuco (Provincia. de Buenos Aires) MA 9. Si bien las dos agrupaciones presentan condiciones climáticas similares y esperables para siembras tardías, como ser: buenas condiciones a la siembra (temperaturas mínimas de 16,2°C y 16,3°C), buen aporte de precipitaciones (546 mm y 562 mm), radiación acumulada baja por acortamiento del ciclo del cultivo (1312 MJ/m^2 y 1336 MJ/m^2) y menor radiación diaria promedio durante antesis por días más cortos durante el momento de floración (10,9 MJ/m^2/día y 11,5 MJ/m^2/día); se evidencia una gran diferencia de rendimiento relativo promedio entre ambas, siendo 0,95 para el MA 4 y 1,07 para el MA 9. Esta diferencia en rendimiento relativo promedio puede ser explicada por variaciones edáficas, las cuales quedan más en evidencia en las condiciones de siembras tardías donde el ambiente se torna más restrictivo. Esta misma situación se repite también en el Sur y Sudeste de la Provincia de Buenos Aires en los MAs 3 y 7, donde se separan zonas muy próximas entre sí, y cuyos rasgos climáticos son similares, pero poseen una marcada diferencia de rendimiento promedio relativo, 1,05 y 0,96, respectivamente.

Continuando con el análisis del conjunto de zonas templadas, se encuentra el MA 8 que posee una gran dispersión espacial y temporal, ya que combina Regiones muy distanciadas entre sí: Zona Núcleo y Sudoeste Bonaerense, Este de Córdoba y Sur de Entre Ríos; y a su vez, siembras tempranas y tardías. El rendimiento relativo medio de esta agrupación es 0,93 y la misma posee características como buena radiación durante el ciclo del cultivo (1587 MJ/m^2), valores de precipitación promedio en relación con las otras Regiones bajo estudio (493 mm) y bajas temperaturas mínimas a la siembra (11,9°C). Estas son condiciones similares al MA 7 con quien comparte un rendimiento relativo promedio análogo (0,96), pero con condiciones aún más restrictivas durante el *'período crítico'* ya que posee humedad relativa baja (43,4% contra 61,2% del MA 7) y mayor posibilidad de recibir *'golpe de calor'* previo a antesis (1,2 vs 0,2 días con registros de más de 37°C de temperatura máxima). Otra consideración respecto de este último factor es que el mismo presenta gran variación dentro de la agrupación, ya que los Partidos que la componen poseen valores que van desde 0,9 a 1,7 días con temperaturas máximas registradas superiores a 37°C 10 días previos a antesis.

Los MAs templados 2, 5 y 6, presentan baja potencialidad con rendimientos promedio de 0,68, 0,74 y 0,66, respectivamente. Estas agrupaciones están formadas por Partidos localizados en la Provincia de San Luis y Entre Ríos, y comparten fundamentalmente condiciones restrictivas durante el '*período crítico'*, como predisposición al '*golpe de calor'* (1,9, 2,8 y 1,6 días con máximas registradas superiores a 37°C 10 días previos a antesis) y baja humedad relativa durante este momento (41,3%, 30,5% y 49,5%). Para el resto de las características presentan comportamientos dispares que no parecen explicar por sí solos sus bajos valores de rendimiento. Por último, el MA 10 es el que posee el mayor rendimiento de todas las agrupaciones tomando un valor de 1,25, y se encuentra formado por los Partidos de Chacabuco (Provincia de San Luis), y 250 km al Noreste, Totoral (Provincia de Córdoba) en siembras tempranas. Esta agrupación combina niveles favorables de todas las variables climáticas bajo estudio: 15,0°C de temperatura mínima a la

siembra, 1491 MJ/m^2 acumulados durante el ciclo, y condiciones aceptables durante el *'período crítico'*; siendo las precipitaciones durante el cultivo bajas en relación con el resto de las agrupaciones (393 mm).

En cuanto a las Regiones Tropicales, se encuentran los MAs 11 y 12 que corresponden a siembras tempranas en zonas de Salta, Santiago del Estero, Catamarca, Tucumán y Córdoba (San Alberto); y MA 13 con siembras tardías en Catamarca y Córdoba (San Alberto, Río Primero y Totoral). Los rendimientos relativos medios de las agrupaciones de siembra temprana son superiores respecto del de las siembras tardías, siendo estos 0,98 y 0,96 contra 0,86 en siembras tardías. Esto podría estar explicado por los bajos niveles de radiación PAR incidente acumulados en siembras de segunda (1116 MJ/m^2 contra 1346 y 1385 MJ/m^2 en siembras tempranas). Para el resto de las variables climáticas, con excepción de las condiciones térmicas durante la siembra (18,2°C durante siembras tardías), los zonas tropicales comparten características similares, a saber, bajas precipitaciones durante el ciclo del cultivo, baja radiación diaria promedio durante antesis, humedad relativa aceptable durante este período y bajos registros de días con temperaturas superiores a 37°C 10 días previos a antesis.

Tabla 5: Valores promedio de las siete variables bajo estudio (mencionadas en la Figura 14) para cada uno de los mega-ambientes identificados.

Mega-ambiente	Rend Rel.	TMim10Sb (°C)	RAcM10SbCh (MJ/m2)	RPrMm10An (MJ/m2/dia)	PAcSbCh (mm)	HPrMm10An (%)	TMaxM37An (# días)
1	1,00	10,3	1551	11,7	604	44,4	1,3
2	0,66	11,0	1469	11,7	437	41,3	1,9
3	1,06	12,3	1591	11,2	546	69,3	0,0
4	0,95	16,2	1312	10,9	546	45,5	1,2
5	0,75	16,6	1475	12,4	356	30,5	2,8
6	0,68	14,9	1428	10,6	628	49,5	1,6
7	1,00	12,7	1558	10,7	433	61,2	0,2
8	0,95	11,9	1587	11,8	493	43,4	1,2
9	1,09	16,3	1336	11,5	562	41,3	2,1
10	1,20	15,0	1491	11,6	393	50,1	0,2
11	0,97	10,1	1346	10,6	237	52,5	0,5
12	0,94	8,8	1385	10,8	274	55,5	0,1
13	0,82	18,2	1116	8,9	418	59,2	0,1

Con el fin de ilustrar las diferencias existentes en la productividad de cada MA, se grafican a continuación los rendimientos relativos y sus correspondientes coeficientes de variación (Figura 25). Si bien existen desbalances en cuanto a la cantidad de datos que conforman el promedio de cada agrupación, dificultando esto la realización de un análisis paramétrico para determinar si las diferencias observadas son significativas, es importante remarcar la gran utilidad práctica que posee el conocimiento de este valor promedio para la determinación de metas de rendimiento. Esta información será empleada al momento de estimar la productividad esperada para cruzamientos en un determinado MA para el cual no se posean aún antecedentes productivos.

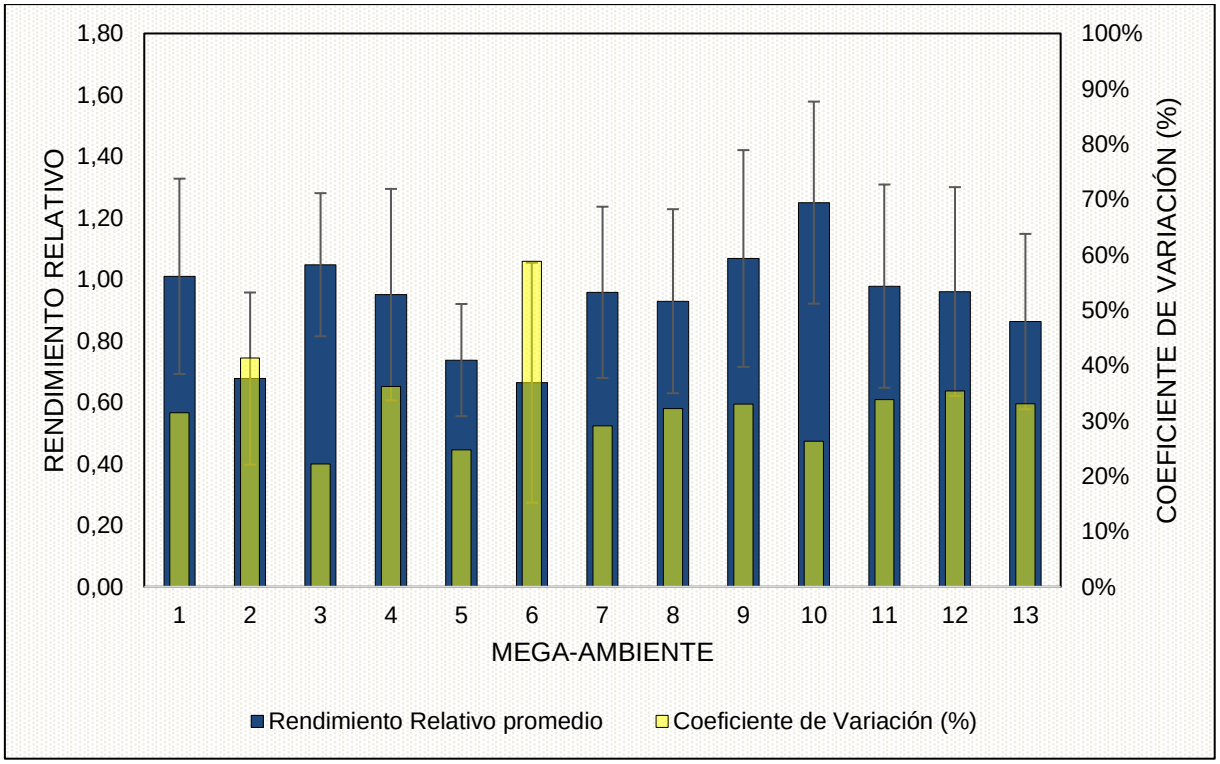

Figura 25: Medias de rendimiento relativo por cada mega-ambiente identificado a partir del análisis de conglomerados, y coeficientes de variación (%) del rendimiento.

En la Tabla 6 se muestra el comportamiento de las cinco principales líneas parentales de la empresa para ambientes templados. Las mismas representan el 64,5% de los registros sobre el total de 3799 datos contenidos en la base. Para este análisis se toman los rendimientos históricos de la base de datos empleada y se calculan los promedios por línea hembra para cada uno de los MAs identificados. Es posible de esta forma evidenciar el comportamiento diferencial de las líneas en cada agrupamiento, permitiendo así determinar objetivos de rendimiento específicos para cada una de las líneas a producir en las agrupaciones identificadas. Esto resulta de importancia fundamentalmente durante el proceso de asignación de lotes para producción de semilla por sitio previo a la campaña, ya que será posible priorizar la producción de las líneas en los ambientes donde manifiesten un mejor comportamiento. Como se observa en la tabla, algunas de estas líneas no cuentan con datos históricos para todas las agrupaciones encontradas, siendo esta es una situación frecuente en el establecimiento de los rendimientos objetivo. En estos casos, resulta de utilidad el uso del valor de rendimiento relativo medio de cada MA (Tabla 5), ya que esto permitirá extrapolar la productividad esperada a partir de datos existentes.

Tabla 6: Rendimiento relativo promedio para las cinco principales líneas de maíz producidas por la empresa en cada uno de los mega-ambientes identificados en el análisis de conglomerados. Se muestran en color verde aquellas celdas con rendimiento relativo igual o superior a 1,00; amarillo entre 0,99 y 0,90; y rojo datos menores a 0,89.

	Mega-ambiente												
Línea	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Línea #1	1,02	0,61	1,01	0,98	0,74	0,58	0,98	0,91	1,03	1,19	0,76	0,92	0,84
Línea #2	1,04	s/d	1,11	0,92	s/d	s/d	0,66	0,95	1,15	1,21	0,83	0,81	0,93
Línea #3	0,93	s/d	s/d	1,09	s/d	s/d	s/d	1,08	1,09	1,52	1,08	s/d	0,51
Línea #4	0,94	0,87	0,71	1,11	s/d	s/d	s/d	0,88	1,19	1,57	s/d	s/d	s/d
Línea #5	1,00	s/d	1,08	0,96	s/d	s/d	s/d	0,90	1,11	s/d	s/d	s/d	1,23

Con el objetivo de analizar la eficacia del método de agrupación de ambientes propuesto, se realizó una comparación con el método clásico empleado por la empresa utilizando como indicador el porcentaje de los lotes que obtuvieron un rendimiento final entre

el 80% y 120% respecto de la meta establecida inicialmente para la campaña de producción de semillas 17-18. Dado que este parámetro fue de 38% para las campañas 13-14, 14-15, 15-16 y 16-17, se empleó dicho valor como base para realizar la comparación. Para este análisis se consideraron 396 lotes de producción, para cada uno de los cuales se calculó una meta '*cruzamiento x mega-ambiente*' ya sea mediante promedio de datos históricos, o bien, por estimación cuando no existían datos en la base o fueran menos de 10 registros. En la tabla 7 se muestran los resultados detallados por MA, y allí se observa que 162 lotes se encontraron dentro del rango establecido respecto de la meta, superando de esta forma en 3% el promedio de las últimas 4 campañas, 38% vs 41% con el nuevo método. Pese a que la diferencia entre el modelo clásico y el propuesto sea pequeña, se debe tener en cuenta que mientras el cálculo de las metas para el primer caso se realiza de una manera manual y exhaustiva, evaluando el valor de cada '*cruzamiento x mega-ambiente*' caso por caso, aquí las mismas fueron calculadas de una manera completamente objetiva, pudiendo ser reproducibles anualmente.

Se considera también la variación por cruzamiento dentro de cada MA que se evidencia en ambos modelos, es decir, la misma cruza (línea hembra por línea macho) presenta valores muy disimiles dentro de una región agroclimática similar. La medida para evaluar este fenómeno es el coeficiente de variación (CV%) de cada cruzamiento dentro de un mega-ambiente, valor que al compararse con el CV% de cada cruzamiento en general (considerando todos los ambientes) permite ver si la zonificación fue en alguna medida exitosa para explicar las diferencias observadas en productividad. El resultado de este análisis se representa en las figuras 26 y 27 para los MAs según el método '*propuesto'* y el método '*clásico'*, respectivamente. Si se toma como parámetro de comparación entre modelos la diferencia absoluta entre el CV% de cada '*cruzamiento x mega-ambiente*' y el CV% general de la cruza, el mismo toma un valor de 12% en ambos casos, mostrando que ambos modelos no difieren entre sí al momento de atenuar las diferencias de productividad de un mismo cruzamiento dentro de cada región agroclimática similar. Por todo lo mencionado, si

bien se demuestra que el modelo supera mínimamente al anterior, el mismo posee aún algunas oportunidades de mejora tanto para poder predecir metas más precisas como para disminuir las diferencias de productividad de una misma cruza en cada ambiente.

Tabla 7: Calculo de la exactitud del modelo expresada como porcentaje de lotes dentro del rango de ±20% del rendimiento obtenido respecto de la meta de planteada inicialmente detallada por mega-ambiente.

Mega-ambiente	Superficie (hectáreas)	Cant. de lotes	Cant. de lotes dentro del rango ±20% respecto de la meta	Exactitud (%)
1	6784	128	52	41%
2	44	1	1	100%
3	1114	19	7	37%
4	513	10	7	70%
7	4206	66	27	41%
8	3058	59	25	42%
10	3198	60	26	43%
11	589	10	3	30%
12	712	12	3	25%
13	1446	31	11	35%
Total	**21664**	**396**	**162**	**41%**

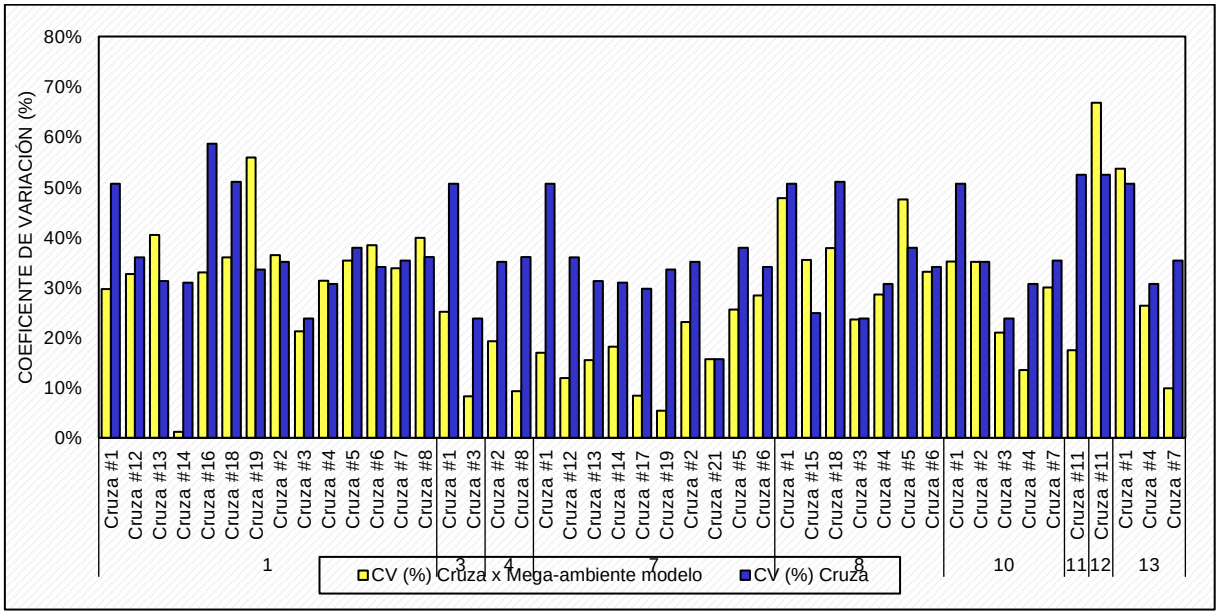

Figura 26: Comparación entre el CV% de cada 'cruzamiento x mega-ambiente' y el CV% general de la cruza en cada mega-ambiente del modelo 'propuesto'. En el eje de las x se observa el número de

la cruza y el número que agrupa las cruzas es cada uno de los mega-ambientes. Se consideraron cruzas con al menos 3 valores en cada ambiente.

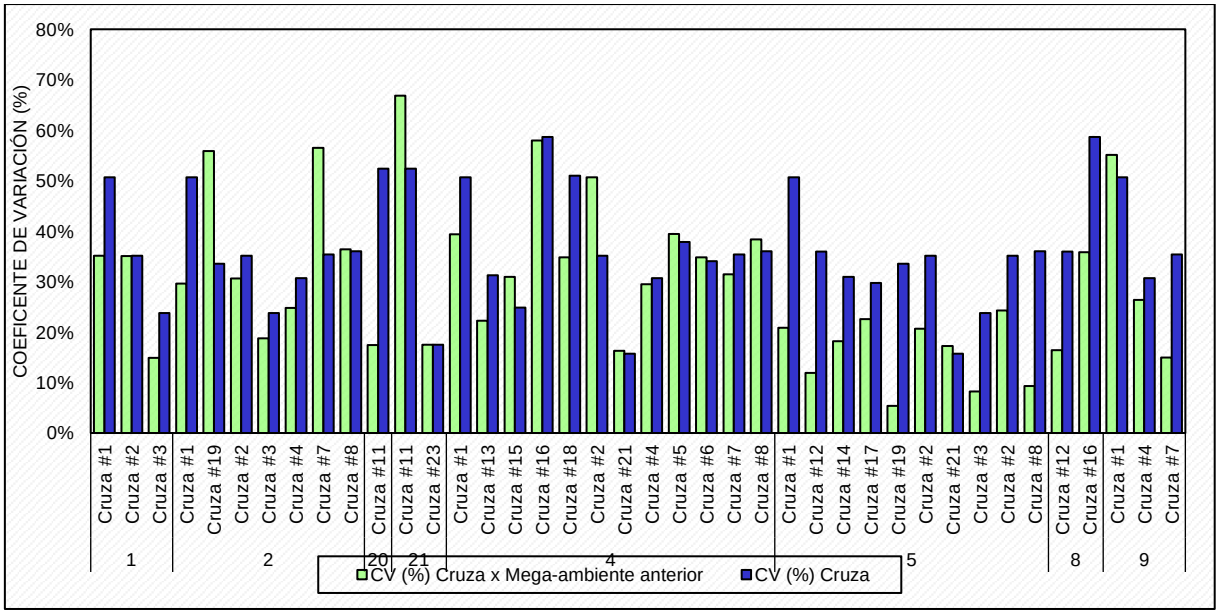

Figura 27: Comparación entre el CV% de cada 'cruzamiento x mega-ambiente' y el CV% general de la cruza en cada mega-ambiente del modelo 'clásico'. En el eje de las x se observa el número de la cruza y el número que agrupa las cruzas es cada uno de los mega-ambientes. Se consideraron cruzas con al menos 3 valores en cada ambiente.

Finalmente, se llevó a cabo el análisis multivariado empleando únicamente las seis variables climáticas seleccionadas, es decir, sin considerar el rendimiento relativo. El objetivo de este nuevo análisis fue comparar únicamente variables de la misma naturaleza. En la figura 28 se observa el dendograma resultante, el cual presenta una correlación cofenética más baja que la corrida original con las 51 combinaciones Partido/Departamento – Ventana de siembra e incluyendo el rendimiento (0,606 contra 0,663). Más allá de esto, los grupos obtenidos presentan un alto grado de homología respecto de los mega-ambientes identificados en el análisis original, ya que el 77% de los MA identificados (diez de los trece) permanecieron sin modificaciones o con hasta dos cambios en su conformación (detalle en la tabla 8).

En términos generales, en este nuevo análisis se observa una tendencia al reacomodamiento de zonas en función de su ubicación geográfica, lo cual es esperable considerando que el agrupamiento pasa a ser predominantemente por aspectos climáticas y no ya productivos. Esto se aprecia con mayor claridad en el MA 8, agrupación que en el análisis original presentaba una gran dispersión espacial y del que en este nuevo análisis quedaron afuera Partidos del Norte de Buenos Aires, Córdoba y Entre Ríos, pasando a representar únicamente al Oeste Bonaerense. Lo mismo ocurre con el MA 9 sumando a Pergamino de siembra tardía junto a otros Partidos de la Región Norte de Buenos Aires; y con el MA 2 que incluyó al Partido de Victoria pasando esta a ser una agrupación representativa de la Zona de Entre Ríos.

Otras modificaciones tuvieron que ver con la eliminación del MA 6, integrado únicamente por Villaguay de 2da que pasó a formar parte del MA 4; y con la escisión del MA 1 que originalmente reunía 13 Partidos (siendo la agrupación más abarcativa) y en el presente análisis se dividió en dos agrupaciones distintas: MA 1 integrado por con Colón - 1era, Constitución - 1era, General Arenales - 1era, General Lopez - 1era, Juárez Celman - 1era, Pergamino - 1era, Rojas - 1era, Salto - 1era, Victoria - 1era; y lo que podríamos denominar ‘MA 1bis’ que agrupa Alberti - 1era, Arrecifes - 1era, Chacabuco - 1era, Gualeguay - 1era. Los Partidos del ‘MA 1bis’ presentan en la práctica menores valores de rendimiento que los del MA 1, lo cual se encuentra respaldado por el promedio de rendimiento relativo calculado para el mismo que toma un valor de 0,98 contra el 1,01 que es el dato del MA 1 (tabla 8).

Por último, se menciona que en este análisis se mantuvo la capacidad de diferenciar entre zonas templadas y tropicales, corroborando nuevamente la eficacia del modelo en su capacidad de discriminar entre ambos ambientes contrastantes. En cuanto a las zonas tropicales no se observaron variaciones en el MA 13 correspondiente a siembras tardías, y existieron modificaciones mínimas en los MAs de siembras tempranas (11 y 12) pero sin gran impacto en el rendimiento relativo de dichas agrupaciones.

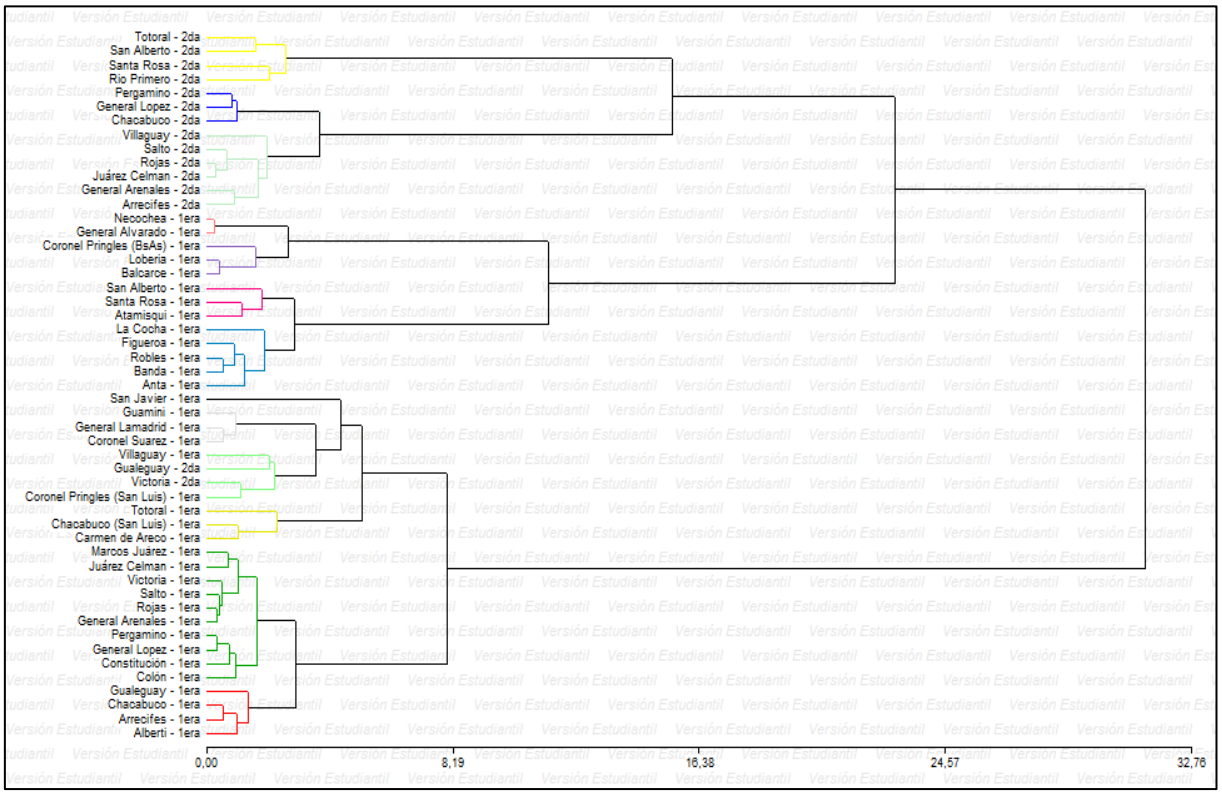

Figura 28: Análisis de Conglomerados por el método Ward D para las 51 combinaciones *Partido/Departamento – Ventana de siembra*, utilizando únicamente las variables climáticas bajo estudio (Temperatura mínima 10 días luego de la siembra, Radiación PAR acumulada desde emergencia a cosecha, Radiación PAR promedio diaria ±10 días de antesis, Humedad relativa del aire promedio diaria ±10 días de antesis, Precipitación acumulada de siembra a cosecha, Días con temperatura máxima superior a 37°C 10 días previo antesis). Líneas de distintos colores indican las diferentes agrupaciones generadas mediante el análisis.

Tabla 8: Detalle de la composición (combinación Partido/Departamento – Ventana de siembra) de los mega-ambientes identificados en el análisis de conglomerados considerando únicamente variables climáticas e indicando si se trata de una zona de producción de líneas de maíz templadas o tropicales. Se muestran los rendimientos relativos de los análisis original y nuevo; y se detallan con colores los cambios ocurridos en la distribución de los mega-ambientes: en verde aquellos Partidos que permanecieron sin cambios, en rojo los que cambiaron y en azul los que se incorporaron a la agrupación en el nuevo análisis para los que se muestra también el mega-ambiente del que provienen ("ex MA").

Mega-ambiente	Rendimiento relativo anterior	Rendimiento relativo nuevo	Combinación Partido/Departamento - Ventana de Siembra	Tipo de Zona de producción de maíz para semilla
1	1,01	1,01	Alberti - 1era; Arrecifes - 1era; Chacabuco - 1era; Colón - 1era; Constitución - 1era; General Arenales - 1era; General Lopez - 1era; Gualeguay - 1era; Juárez Celman - 1era; Pergamino - 1era; Rojas - 1era; Salto - 1era; Victoria - 1era (+ Marcos Juárez - 1era ex MA 8)	Templada
1 Bis	*N/A*	0,98	(Nuevo agrupamiento: + Alberti - 1era; Arrecifes - 1era; Chacabuco - 1era; Gualeguay - 1era ex MA 1)	Templada
2	0,68	0,93	Coronel Pringles (San Luis) - 1era; Gualeguay - 2da; Villaguay - 1era (+ Victoria 2da ex MA 8)	Templada
3	1,05	1,05	General Alvarado - 1era; Necochea - 1era	Templada
4	0,95	0,94	Arrecifes - 2da; General Arenales - 2da; Juárez Celman - 2da; Pergamino - 2da; Rojas - 2da; Salto - 2da (+ Villaguay - 2 da ex MA 6)	Templada
5	0,74	0,74	San Javier - 1era	Templada
6	0,66	*N/A*	Villaguay - 2da	Templada
7	0,96	0,96	Balcarce - 1era; Coronel Pringles (BsAs) - 1era; Loberia - 1era	Templada
8	0,93	0,91	Carmen de Areco - 1era; Coronel Suarez - 1era; General Lamadrid - 1era; Guaminí - 1era; Marcos Juárez - 1era; Victoria - 2da	Templada
9	1,07	1,03	Chacabuco - 2da; General Lopez - 2da (+ Pergamino de -2da ex MA 4)	Templada
10	1,25	1,22	Chacabuco (San Luis) - 1era; Totoral - 1era (+ Carmen de Areco - 1era ex MA 8)	Templada
11	0,98	0,99	Anta - 1era; Banda - 1era; Robles - 1era; Santa Rosa - 1era (+ Figueroa - 1era; La Cocha - 1era ex MA 12)	Tropical
12	0,96	0,97	Atamisqui - 1era; Figueroa - 1era; La Cocha - 1era; San Alberto - 1era (+ Santa Rosa 1era ex MA 11)	Tropical
13	0,86	0,86	Rio Primero - 2da; San Alberto - 2da; Santa Rosa - 2da; Totoral - 2da	Tropical

Conclusión:

Más allá de la diversidad de ambientes explorados para la producción de semilla de maíz por parte de la empresa, fue posible establecer agrupamientos de zonas con características climáticas y productivas similares o mega-ambientes. Esto permitirá simplificar el proceso de planificación de producción de semillas para las futuras campañas.

Además, fue posible calcular un índice de productividad específico para las principales líneas de maíz en cada uno de los agrupamientos encontrados. Esto hará que las producciones se lleven a cabo en aquellos sitios en donde presenten mejores comportamientos, permitiendo establecer metas de rendimiento fehacientes y también maximizando el uso del recurso edáfico. Asimismo, el conocimiento de los datos de rendimiento medios de cada mega-ambiente identificado permitirá estimar la productividad de líneas en sitios para los que aún no se cuente con antecedentes productivos.

A futuro, se podrá ampliar el análisis con información de suelos (series de suelo, fertilidad, altimetría, etc.) como así también con datos acerca de la calidad del agua de riego, siendo esto último un factor de gran impacto para la producción de semillas. De esta forma, sería posible, no solo independizarse de la información proveniente de la base de datos productivos la cual se encuentra sujeta a diversas variaciones por cuestiones de manejo a campo o bien sucesos climáticos imprevistos (granizos, inundaciones, etc.); sino, además sistematizarla junto con los datos climáticos del Programa POWER de la NASA empleando una herramienta GIS que permita visualizar todos estos parámetros en capas y realizar análisis relacionando esta información. Como resultante, se obtendría una zonificación a nivel regional para eventualmente detectar nuevas regiones propicias para la producción de semilla de maíz aún no exploradas y que hagan viable el gasto de la logística asociada al traslado de campamentos como así también el desarrollo de nuevos productores para llevar adelante este tipo de producciones.

5. Bibliografía:

- Araya, A., Keesstra, S.D., Stroosnijder, L., 2010. A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia. Agric. Forest Meteorol. 150, 1057–1064
- Caldiz, D.O., Haverkort, A.J., Struik, P.C., 2002. Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: a methodological approach for potatoes in Argentina. Agric. Syst., 73: 297–311.
- Camargo‑Buitrago, I., Quiros‑Mc Intire, E., Gordon‑Mendoza, R., 2011. Identificación de mega‑ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.9: 1061-1069.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar.
- Dubai, A.F., Humbe, V.T., Chowhan, S.S., 2017. Integrated model for handling abnormal network connection using parallelizing K-means (PKM) clustering and Big Data processing tool (SPARK). International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, Vol. 9, issue no. 6: 225-234.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F.N., Van Velhuizen, H., 2005. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 360, 2067–2083.
- Gallup, J.L., Sachs, J.D., 2000. Agriculture, climate, and technology: why are the tropics falling behind? Am. J. Agric. Econ. 82, 731–737.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C., Buytaert, W., 2006. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa. Agric. Forest Meteorol. 139, 399–412.
- Hoegemeyer, T., 2011. How extend high heat disrupts corn pollination. University of Nebraska – Lincoln. https://cropwatch.unl.edu.

- Jain, A., Murty, M., Flynn, P., 1999. Data clustering: A Review. ACM Computing Surveys, Vol. 31, issue no. 3: 264-323.
- Johnson, D.E.,2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Ed. Ediciones Paraninfo, 566p.
- Murty, M. N., Krishna, G., 1980. A computationally efficient technique for data clustering. Pattern Recogn. 12, 153–158.
- Nielsen, R. L., 2010. Tassel emergence and pollen shed. Corny News Network. Purdue University Extension.
- Seppelt, R., 2000. Regionalised optimum control problems for agroecosystem management. Ecol. Model. 131, 121–132
- Stanhill, G., Fuchs, M., 1977. The relative flux density of photosynthetically active radiation. Journal of Applied Ecology, Vol. 14, No 1, 317-322.
- van Wart, J., van Bussel, L.G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N.D., Claessens, L. and van Ittersum, M.K., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. Field Crops Research, 143: 44-55.
- Westberg, D.J., Stackhouse P.W., Hoell J.M., Chandler W.S. and Zhang T., 2015. NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Development of Thirty Plus Years of Satellite-Derived Solar Insolation and Meteorological Parameters for Global Applications. 95th American Meteorological Society Annual Meeting, January 4-8, Phoenix, Arizona.
- Williams, C.L., Liebman, M., Edwards, J.W., James, D.E., Singer, J.W., Arritt, R., Herzmann, D., 2008. Patterns of regional yield stability in association with regional environmental characteristics. Crop Sci. 48, 1545–1559.