



Maestría en Economía Aplicada

Análisis de los determinantes del rendimiento del trigo en la región núcleo de Argentina

Autor: Federico Di Yenno

RESUMEN

La posibilidad de estimar el rendimiento de los diferentes cultivos ayuda a toda la cadena de comercialización, desde formuladores de políticas hasta participantes del mercado, para estimar la oferta agropecuaria, planificar la infraestructura existente y alcanzar objetivos de producción permitiendo la planificación del sector a lo largo de la campaña. Este trabajo se centra en el análisis y la estimación de la función respuesta del rendimiento del trigo en la zona núcleo de Argentina. Se realizó un análisis de datos de panel con efectos fijos para estimar el rendimiento departamental, utilizando variables de 25 estaciones meteorológicas de la Bolsa de Comercio de Rosario en la zona núcleo de Argentina. Se encontró una fuerte significancia estadística en el agua útil al momento de la siembra, los cupos a las exportaciones, el déficit hídrico en diferentes etapas del desarrollo del cultivo y las temperaturas entre los meses de junio y octubre. El conocimiento de los determinantes del rendimiento de los cultivos ayuda a las decisiones agrícolas para la asignación de recursos en la dirección correcta. Se proporciona así, un marco para ajustar la producción al empleo óptimo de recursos y promover el desarrollo económico.

JEL No. Q0, Q1, C5.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) por financiar mi maestría y por brindarme los datos necesarios para el desarrollo de esta tesis. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta institución a todos mis compañeros del Departamento de Estudios Económicos, gracias por a su apoyo personal y humano, especialmente al Dr. Julio Calzada, a Patricia Bergero y a la Lic. Emilce Terré. Agradezco también el apoyo y la información recibida por los ingenieros agrónomos de la Guía Estratégica para el Agro de la BCR, Ing. Cristian Russo, Ing. Marina Barletta, Ing. Sofía Corina e Ing. Florencia Poetta.

Asimismo, agradezco a la directora del Departamento de Economía de la Universidad Austral, Dr. Ana Inés Navarro, y los licenciados Jorge Camusso y Juan Cruz Varvello por sus sugerencias e ideas en el Seminario de Investigación, que ha facilitado la redacción de este trabajo.

Un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Gracias a mis padres por brindarme apoyo todo este tiempo.

1. INTRODUCCION

El cultivo de trigo en Argentina es un caso interesante para analizar ya que su área ha tenido un incremento sustancial en el área núcleo de Argentina desde el año 2015 hasta el año 2019. La siembra del cereal en esta zona proporciona una buena herramienta para mejorar los ingresos de los agricultores, en general utilizándose como doble cultivo con soja o maíz. Este artículo examina los efectos del agua útil, la fertilización y las temperaturas sobre el rendimiento del trigo en la zona núcleo de Argentina. Las condiciones climáticas tienen en cuenta diferentes variables que se toman en el momento de la siembra hasta la cosecha en diferentes localidades del país. Al poder estimar los determinantes del rendimiento promedio por zona se ayudaría al agricultor para estimar su propia cosecha y al sistema comercial para planear la comercialización y la logística. Al tenerse los datos de siembra de trigo, sólo es necesario multiplicar las hectáreas que se piensan cosechar por el rendimiento estimado para obtener la producción esperada de trigo. Para los organismos que se encargan de realizar estimaciones, este método ayudaría a realizar proyecciones de rendimientos, considerando ciertos supuestos sobre las variables estudiadas. Por otro lado, se puede realizar un seguimiento del rinde y de la producción estimada, lo que permite a su vez estimar las exportaciones de trigo y cuánto puede quedar disponible para el sector de molinos. Como la cosecha de trigo se produce en períodos de menor oferta de divisas, ayudaría a proyectar los ingresos de divisas que se originan por exportaciones principalmente en los meses de diciembre, enero y febrero.

Existe una basta literatura en Argentina de estudios a campo donde se pudo encontrar una relación cuantitativa entre el rendimiento del trigo y diferentes tipos de insumos y variables climatológicas. En general, los estudios a campo sólo utilizan un lote o una zona determinada y no se posee una medida del efecto promedio de las variables climáticas sobre el rendimiento de una región. Siguiendo a esto, no se encontró información de trabajos que estudien el efecto de esta variable a nivel agregado en Argentina. Por ejemplo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), se basa en diversos estudios econométricos (Willhelm et. al., 1993; Westcott & Jewison, 2013) para elaborar las proyecciones de rendimientos de diferentes cultivos. A nivel local, desde el año 2020, el Servicio Meteorológico Nacional junto con la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA), la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), y la Escuela Rosenstiel de Ciencias Marinas y Atmosféricas de la Universidad de Miami, Estados Unidos de Norteamérica (RSMAS, por sus siglas en inglés) desarrollaron una herramienta que permite estimar los rindes por diversas localidades llamada

ProRindes¹. Para simular rendimientos, ProRindes utiliza el programa de software DSSAT² (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) y dentro del mismo, los modelos CERES y CROPAGRO. Para administrar las simulaciones y realizarlas en forma eficiente y rápida, se utilizan herramientas de paralelización desarrolladas en el marco del proyecto "Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AGMIP³). El modelo DDSSAT utiliza modelos de simulación de crecimiento de cultivos pudiendo medir la respuesta del rendimiento sobre variaciones en el clima, el suelo, la genética, la gestión de cultivos y datos experimentales de observación. Los modelos de simulación de cultivos simulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento en función de la dinámica suelo-planta-atmósfera. El problema de esta herramienta para Argentina, es que el resultado del modelo no indica valores de rendimientos absolutos, sino que se indica en términos relativos al promedio de todos los rendimientos simulados con datos climáticos anteriores al ciclo actual. Por otro lado, al ser un modelo de simulación, los parámetros para dicha simulación ya se encuentran cargados en el modelo y hay que remitirse a los estudios individuales para observar las relaciones entre las variables dependientes y las variables independientes.

En este trabajo, se realiza un estudio econométrico con datos de panel a nivel regional para explicar los rendimientos promedio por zona o por localidad utilizando variables que se encuentran disponibles a nivel agregado. Se utilizan datos de panel ya que se tiene la ventaja de tomar en cuenta las diferencias entre zonas que son invariantes en el tiempo (por ejemplo: diferentes tipos de suelos, manejos de cultivos, paquetes tecnológicos, etc.) eliminando así los sesgos debidos a las variables omitidas. Este trabajo sería novedoso ya que no existe en la literatura disponible un estudio econométrico con datos de panel en Argentina. A diferencia de los modelos de simulación, al utilizar un método de datos de panel se pueden interpretar los coeficientes y así obtener una estimación de los rendimientos dados determinados parámetros climáticos. De esta manera, estos efectos pueden ser utilizados como guía para elaborar un rinde estimativo promedio de la campaña comercial.

2. PRODUCCIÓN DE TRIGO EN ARGENTINA

La agricultura argentina es una de las principales actividades económicas ya que no solo abastece al país, si no que el excedente se destina a la exportación. Argentina tiene una superficie continental de alrededor de 2,8 millones de kilómetros cuadrados, y cuenta con aproximadamente 37 millones de

¹ <https://prorindes.smn.gob.ar/>

² <https://dssat.net/>

³ <https://agmip.org/>

hectáreas con cultivos agrícolas. Los principales cultivos que ocupan esa superficie son: soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz. La producción de cereales y oleaginosas superó los 141 millones de toneladas en la campaña 2018/2019 marcando un récord histórico. La actividad agrícola se desarrolla en tres zonas: templada, subtropical y árida; que se diferencian por sus condiciones climáticas y su aptitud para la agricultura. Los distintos suelos y climas del país ofrecen una diversidad de producciones agrícolas, adaptadas a las posibilidades de cada región.

La zona por excelencia para el cultivo de cereales es la pampa húmeda, con una superficie total de alrededor de 210.000 km², concentra el 80% de la producción de cereales. Según la Bolsa de Comercio de Rosario, la cosecha de soja en la campaña 2018/19 fue de 56,5 millones de toneladas, y la de maíz de 51,5 millones de toneladas. Argentina se ubica como el mayor exportador de aceite y harina de soja y el tercer productor mundial. En tanto, es el tercer exportados de maíz y cuarto productor en el mundo, de este cereal.

La mayor parte de la producción de cereales está en la provincia de Buenos Aires, seguida por Santa Fe y Córdoba. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, el trigo que se siembra tiene rendimientos que pueden superar los 6.000Kg/ha. Las tierras cultivadas con trigo se alternan con girasol, papas y pastoreo de ganado. En el noreste de la provincia de Buenos Aires de clima templado cálido, en los cultivos de primavera-verano se rota el trigo con maíz, mijo y sorgo. En el este Córdoba, sur de Santa Fe y oeste de Entre Ríos el trigo rota con el maíz, la soja y el pastoreo de animales. La fecha de siembra del trigo varía según la zona y el tipo de trigo que se utiliza. En general, en la zona núcleo, la siembra comienza en el mes de mayo para terminar en el mes de junio-julio. A partir de noviembre se da la cosecha de trigo y oficialmente, la campaña de trigo se toma desde diciembre hasta noviembre del año posterior.

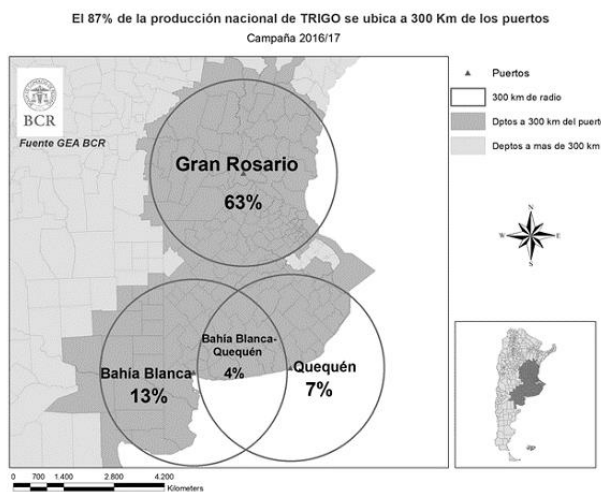
La Argentina es uno de los 10 primeros productores mundiales de trigo, el cual fue históricamente su cultivo insignia. En los últimos 20 años el área sembrada con trigo tuvo mucha variabilidad. Se observa una disminución del 38% en el área cultivada desde el año 2003 hasta 2013. Ésta, pasó de un promedio de 5.829.333 de hectáreas sembradas en las campañas 2003-2006 a 3.600.000 de hectáreas sembradas en 2013-2014. Observándose, en consecuencia, una caída en la producción del 30%, en la misma década. Con una producción de 14.383.333 de toneladas en el período 2003-2006, que se reduce a alrededor de 10.000.000 de toneladas para 2013-2014.

La producción de trigo se vio afectada por desequilibrios originados en las políticas internas, el aumento en los derechos de exportación y las condiciones impuestas por la demanda del mercado internacional. Estos condicionantes de los mercados internos y externos favorecieron la producción de oleaginosas, la soja en particular, en desmedro del trigo y otros productos agropecuarios.

El volumen de producción de trigo, de acuerdo con datos de la Bolsa de Comercio de Rosario, para la campaña 2014/15 fue de 11,2 millones de toneladas, un 10,9% más que la campaña anterior. Efectivamente, a partir de diciembre de 2015, la política de disminución de los derechos de exportación generó una recuperación en el área sembrada de trigo. Esta medida, estuvo dirigida a restablecer el equilibrio, entre el cultivo de los distintos cereales.

Según datos de la GEA de la Bolsa de Comercio de Rosario, en la producción de trigo de la temporada 2015/2016, el área sembrada fue de 3,9 millones de hectáreas con una producción de 10,9 millones de toneladas. Las áreas sembradas y la producción aumentaron en las últimas campañas. Es así como se alcanzó el récord de 17 millones de toneladas, con un área sembrada de 5,4 millones de hectáreas (2017/2018 Bolsa de Cereales de Buenos Aires). En tanto las estimaciones para el 2018/2019, indican una producción 18,7 millones de toneladas con una superficie sembrada de 6,37 millones de hectáreas (BCR). El 63% de la producción nacional de trigo se encuentra a 300 Km del Gran Rosario. Por otra parte, según BCR (2019), el 87% de la producción de este cereal se encuentra a 300 Km de algunos de los tres nodos portuarios principales de Argentina: Gran Rosario, Quequén y Bahía Blanca.

Figura N° 1: Distribución de la producción de trigo



Fuente: BCR (2019).

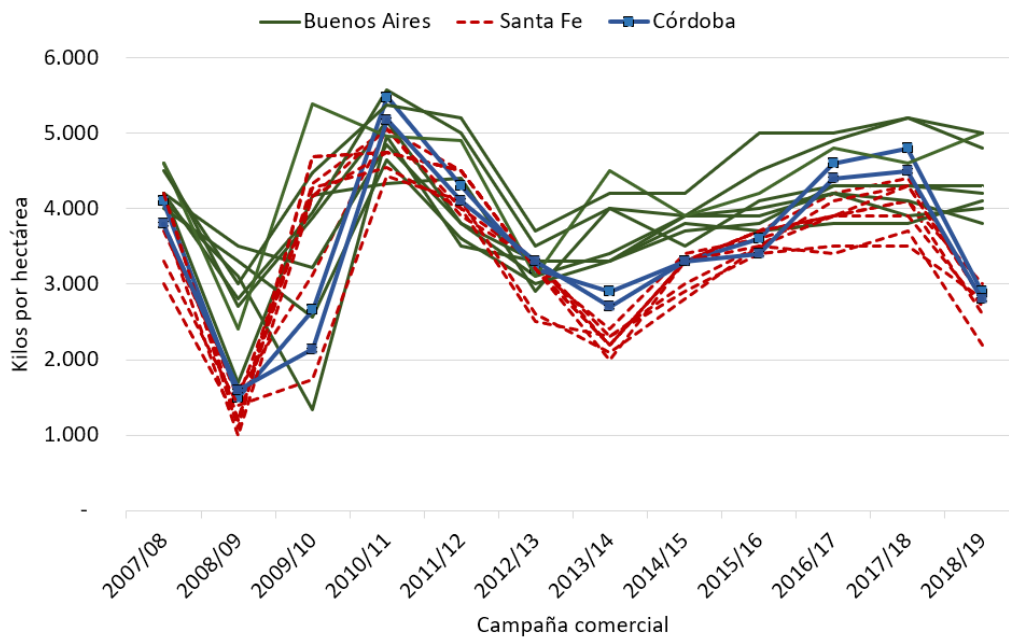
En el caso del trigo, los partidos más productivos se encuentran en el sur de la provincia de Buenos Aires, razón por la cual se despacha una parte importante del cereal en el mar argentino. El 13% de la producción nacional de trigo se ubica a 300 Km de Bahía Blanca y el 7% a 300 Km de Quequén. Comparten un 4% de la producción nacional en la misma zona de influencia. Por otra parte, el Gran Rosario presenta un 63% de la producción nacional de trigo en un radio de 300 km con centro en la ciudad de Rosario. De esta forma, las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe ostentan el 82% de la producción nacional de trigo.

A nivel nacional y en la zona núcleo, la siembra del trigo comienza en el mes de mayo. Para fines de este mes, se encontró sembrado el 16% del área objetivo a nivel nacional. Junio es un mes clave para la siembra debido a que, para finales de este mes, se encontró sembrado el 60 % del área a nivel nacional (avance de 44 puntos porcentuales pp.). Para fines de julio el área sembrada promedio a nivel país fue de 93% (avance de 33 pp.). Debido a este calendario del cultivo, gran parte de las variables de tiempo climático considerará el período que comienza en junio y termina en octubre, ya que la cosecha de los lotes sembrados de manera temprana comienza a realizarse a mediados de noviembre, y por esto, las variables climáticas dejan de tener efecto en el rinde promedio. La campaña comercial (año calendario del trigo) comienza en diciembre de cada año, con el grueso de la cosecha del cereal y termina en noviembre del año siguiente. Por ejemplo, la campaña comercial 2018/19 comenzó en diciembre de 2018 y terminó en noviembre de 2019. Debido a esto, cada campaña comercial se puede identificar con un año calendario.

3. FUENTE DE LOS DATOS

Se utilizarán los datos de rendimiento de trigo por departamento del Ministerio de Agricultura de la Nación para el período comprendido entre 2007 y 2019. Los datos por departamento se encuentran también agrupados por delegación. Una delegación es un grupo de departamentos formado por el Ministerio para la medición de los datos agrícolas. Como se puede observar en la figura N° 2, los rendimientos promedio entre departamentos muestran una fuerte correlación en el tiempo en las diferentes zonas, pero se puede observar una diferencia de nivel si agrupamos por provincias. En general, el rendimiento promedio del trigo en el norte de Buenos Aires es el mayor, el de Córdoba se encuentra en el medio y el rendimiento promedio en la zona de Santa Fe es el más bajo de todos. En el período en cuestión, el norte de Buenos Aires tuvo un rendimiento promedio de 4.034 kg por hectárea (kg/ha), 3.523 kg/ha en Córdoba y 3.444 kg/ha en Santa Fe. Entre los departamentos con mejor producción dentro de la muestra se encuentran Rojas, Junín y Pergamino en la provincia de Buenos Aires. Esta diferencia puede existir por un clima más propicio para el crecimiento del trigo en el norte de la provincia de Buenos Aires en comparación con Santa Fe y Córdoba. También puede deberse a tipos de suelos, rotación de cultivos o manejo de diferentes paquetes tecnológicos. Por otro lado, se puede observar una caída en el rinde del trigo entre las campañas 2010/11 a la 2014/15 que pueden deberse a una menor fertilización o paquete tecnológico utilizado en medio de las restricciones a la comercialización en dichos años. Estos factores, diferentes a los climáticos, se abordarán en la siguiente sección.

Figura N° 2: Rendimientos promedio de trigo por departamento en zona núcleo



Se puede ver por otro lado, que la provincia de Buenos Aires posee mayor variabilidad en los rendimientos que Córdoba o Santa Fe. Esto puede deberse a que los efectos del clima severo afectan más fuertemente a las zonas con un potencial de producción mayor. Al mismo tiempo, el uso de fertilizantes condiciona el umbral productivo de cada campaña, por lo tanto, la decisión de fertilizar impacta en la variabilidad de aquellas zonas donde se utiliza esta opción a menudo.

Tabla N°1: Departamentos y rendimientos promedio en la región núcleo

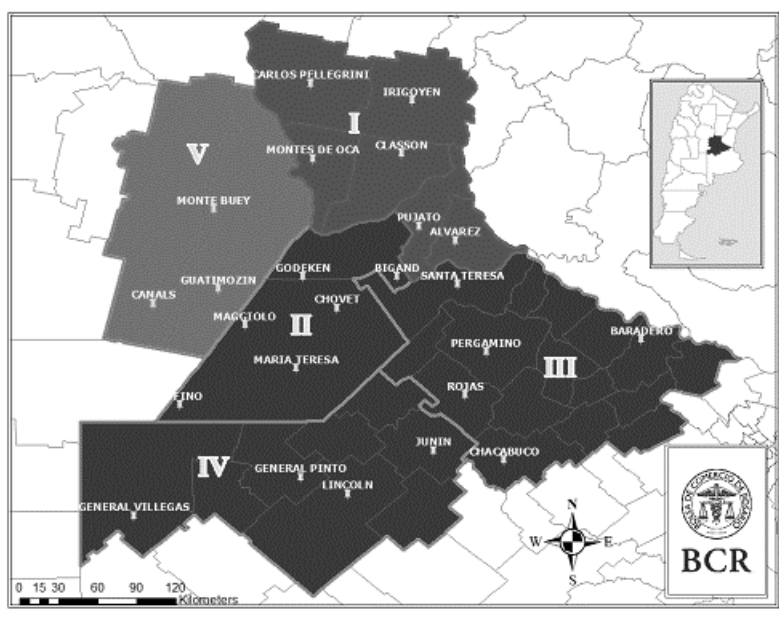
Departamento	Provincia	Rend. prom	Desvío*	CV
Baradero	Buenos Aires	3.851,67	942,19	24%
General Pinto	Buenos Aires	3.700,50	620,99	17%
General Villegas	Buenos Aires	3.566,00	759,73	21%
Junín	Buenos Aires	4.360,50	1.115,21	26%
Lincoln	Buenos Aires	3.831,67	152,53	4%
Pergamino	Buenos Aires	4.362,75	612,25	14%
Rojas	Buenos Aires	4.570,17	1.030,50	23%
Marcos Juárez	Córdoba	3.611,92	725,82	20%
Unión	Córdoba	3.435,17	794,68	23%
Belgrano	Santa Fe	3.373,83	255,81	8%
Caseros	Santa Fe	3.591,83	42,15	1%
Constitución	Santa Fe	3.578,25	103,32	3%
General Lopez	Santa Fe	3.919,83	244,77	6%
Iriondo	Santa Fe	3.427,25	174,31	5%
Rosario	Santa Fe	3.451,42	300,25	9%
San Jerónimo	Santa Fe	3.160,58	158,84	5%
San Lorenzo	Santa Fe	3.553,25	82,41	2%

San Martín	Santa Fe	2.939,75	465,91	16%
------------	----------	----------	--------	-----

*Raíz de la suma de los cuadrados de regresión lineal por año.

Para realizar el trabajo se utilizaron datos de 25 estaciones meteorológicas en el período que abarca el año 2007 al año 2019. Las estaciones meteorológicas se encuentran en puntos cercanos a diferentes ciudades de la región núcleo detalladas en la figura N°1. Las variables obtenidas comprenden precipitaciones diarias acumuladas, temperaturas promedio diarias, temperaturas máximas y mínimas. Como se vio anteriormente, esta zona contiene el 63 por ciento de la producción de trigo en Argentina. La red de estaciones de GEA se divide en subzonas de la I a la V que en general coinciden con los límites provinciales.

Figura N° 3: Zona Núcleo de Argentina



Fuente: GEA/BCR.

Se considerará que cada estación meteorológica tomará los datos del clima de cada departamento o partido por año calendario. En el caso de que existan estaciones dentro de un mismo departamento o partido se tomará el promedio simple de las variables para esa zona. Para cada departamento se identificará con la zona sobre la cual el Ministerio de Agroindustria de la Nación realiza estimaciones de rendimiento de trigo para cada campaña comercial.

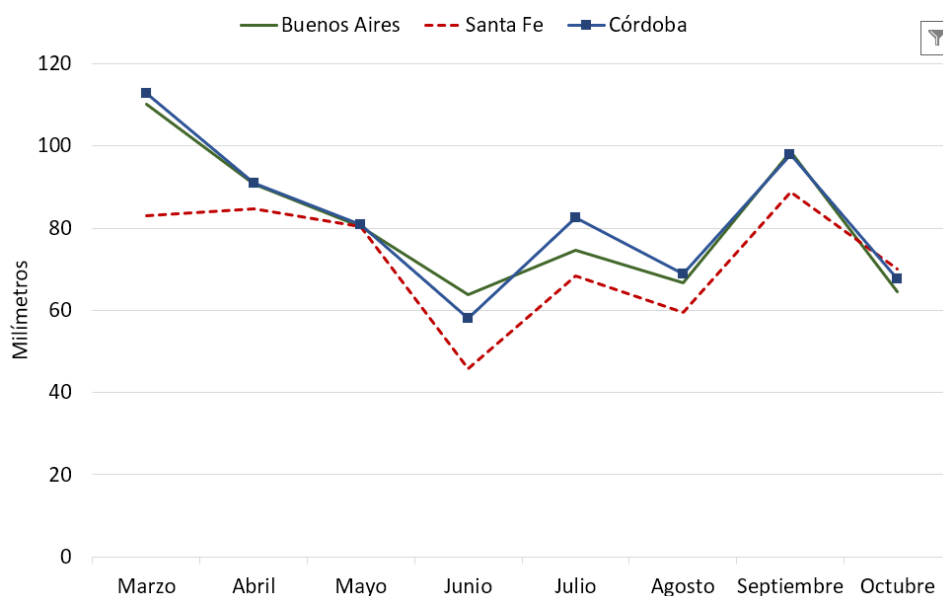
Tabla N°2: Ciudades y departamentos de la región de estudio

Ciudad	Departamento	Provincia
Baradero	Baradero	Buenos Aires
General Pinto	General Pinto	Buenos Aires
General Villegas	General Villegas	Buenos Aires

Chacabuco	Junín	Buenos Aires
Junín	Junín	Buenos Aires
Lincoln	Lincoln	Buenos Aires
Pergamino	Pergamino	Buenos Aires
Rojas	Rojas	Buenos Aires
Guatimozín	Marcos Juárez	Córdoba
Monte Buey	Marcos Juárez	Córdoba
Bellville	Unión	Córdoba
Canals	Unión	Córdoba
Montes de Oca	Belgrano	Santa Fe
Bigand	Caseros	Santa Fe
Godeken	Caseros	Santa Fe
Santa Teresa	Constitución	Santa Fe
Chovet	General Lopez	Santa Fe
Maggiolo	General Lopez	Santa Fe
María Teresa	General Lopez	Santa Fe
Rufino	General Lopez	Santa Fe
Classon	Iriondo	Santa Fe
Álvarez	Rosario	Santa Fe
Irigoyen	San Jerónimo	Santa Fe
Pujato	San Lorenzo	Santa Fe
Carlos Pellegrini	San Martín	Santa Fe

Según se puede observar en la figura N° 4, las lluvias en promedio en los meses de siembra y cosecha del trigo en Argentina (marzo-octubre) en Santa Fe fueron menores a Buenos Aires y Córdoba en todos los meses salvo en mayo y octubre. Esto ayudaría a explicar el menor rendimiento que se obtiene en la zona. Se puede decir que el mes de marzo y abril son fundamentales para la recarga de agua en los perfiles de suelos ya que hasta septiembre el promedio no pasa de los 100 milímetros mensuales. En el caso de Santa Fe, se recibió una menor cantidad de agua en los meses de marzo y abril lo que explicaría en parte el efecto en el rinde final de cosecha de dicha región.

Figura N° 4: Promedio de lluvias por provincia en el período de marzo a octubre

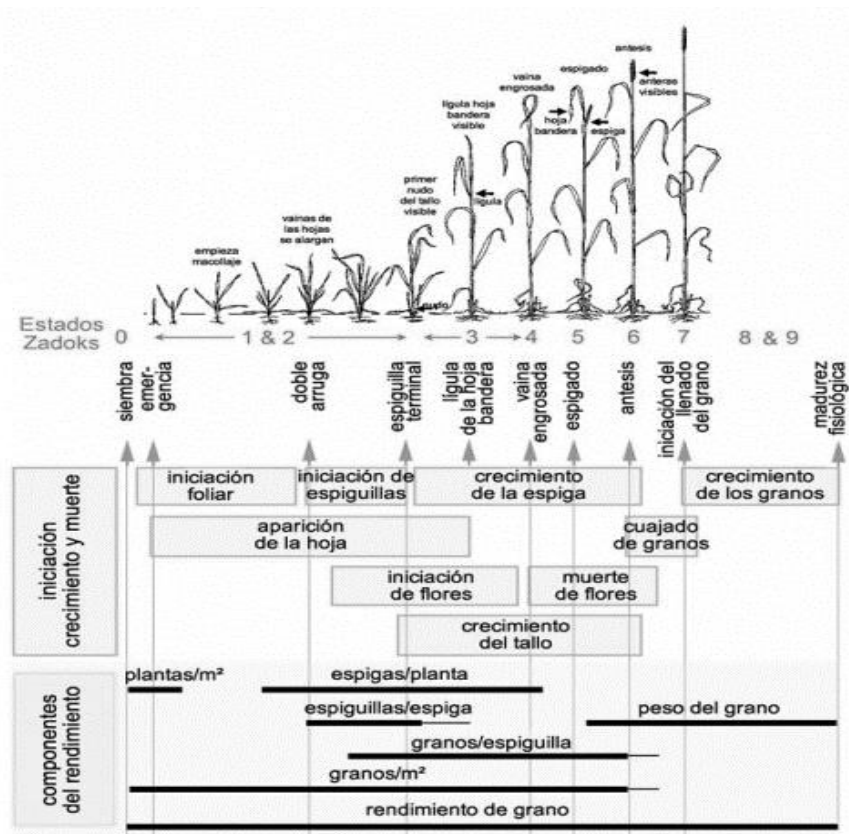


4. FENOLOGÍA DEL TRIGO Y DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

Las etapas de crecimiento o desarrollo son momentos específicos en los que pueden verse cambios físicos reconocibles en la planta. Es necesario identificar tales etapas ya que están acompañadas por varios cambios morfológicos y fisiológicos, que afectarán el rendimiento futuro. Algunos ejemplos de estos cambios son el macollaje (*tilering*, en inglés), la floración, el llenado de granos y la madurez. Muchas actividades de manejo de cultivos, como la aplicación de fertilizantes, pesticidas y riego son más efectivas cuando se aplican en etapas específicas de desarrollo. Por lo tanto, la comprensión adecuada de las etapas de desarrollo es un requisito básico para poder modelar la función respuesta del rendimiento del trigo en la región núcleo. Se han establecido varios sistemas de estadificación para describir el desarrollo del trigo. El sistema Zadoks es el más comúnmente aceptado y permite una estadificación precisa (Zadoks et al., 1974). Consiste en un código de dos dígitos: el primer dígito que se refiere a la etapa principal de desarrollo (de 0 a 9, germinación hasta la maduración del grano) y el segundo dígito que permite la subdivisión del principal a medida. Además del sistema Zadoks, los sistemas Haun y Feekes-Large también se han utilizado ampliamente. El sistema de Haun se refiere principalmente a la etapa de desarrollo de la producción de la hoja al expresar la longitud de la hoja en cada etapa (Haun, 1973). El sistema Feekes-Large identifica numéricamente las etapas principales, como el macollaje o la maduración, pero carece de las subdivisiones permitidas por el sistema Zadoks, lo que lo hace menos detallado (Feekes, 1941; Large, 1954). Se ha establecido una correspondencia entre los sistemas Zadok y Feekes-Large. La escala de Waddington se centra en el desarrollo del spikemeristem y pistilo de la cebada y el trigo (Waddington et al., 1983). La escala comienza en el

momento del vértice de transición y termina justo antes de la antesis. La Figura 5 muestra las etapas principales de acuerdo con el sistema de escala de Zadoks.

Figura N° 5: Componentes del rendimiento y fases de desarrollo del trigo



Fuente: FAO (2000)

Según la experiencia de ingenieros agrónomos y diversos estudios de campo realizados sobre la región, se pueden observar diferentes momentos bajo los cuales el rendimiento del trigo se ve afectado marcadamente. La enumeración de esta sección corresponde con la Tabla N°3 en la sección de resultados. En el anexo estadístico, la Tabla N°4 muestra las estadísticas descriptivas de las variables mencionadas en esta sección.

1. Agua almacenada al momento de la siembra

Los factores más estudiados, son el efecto del agua almacenada en los suelos al momento de la siembra y las precipitaciones acumuladas entre junio y agosto. El agua útil⁴ inicial impacta en la fase de desarrollo de la planta y las lluvias de junio-agosto sobre la etapa de encañazón (escala 3 de Zadok).

⁴ “Se habla de “agua útil” o “disponible” porque los suelos al secarse la retienen cada vez con mayor fuerza, de modo que cuando las plantas se marchitan todavía existe un cierto volumen de agua en el perfil (punto de marchitez permanente). El “agua útil” es, entonces, la totalidad de agua presente en el suelo, menos el valor del punto de marchitez permanente que se determina en laboratorio” (Krüger et.al., 2006).

Según Krüger et.al. (2006) “los datos precedentes son teóricos y de carácter ilustrativo, pero evidencian que, en la región dependemos de la precipitación durante el ciclo para alcanzar rindes aceptables”. (Villar, 2010) recopiló información sobre el efecto en el rinde del agua almacenada en el rinde en el centro de la provincia de Santa Fe para el período 1996-2000 obteniendo una función respuesta que⁵ explicaba el 93 % de la variación en el rendimiento en el período de estudio. INTA Manfredi (2015) encontró que el agua en la siembra explicó un 55 % de la variación en el rinde en la provincia de Córdoba. Fontanetto et. Al (2006) encontró una explicación en la variación del rinde del 88 %. El momento crítico para la fijación del número de granos (principal componente del rendimiento) ocurre durante los 25 días previos a fecha probable de anthesis (escala 6 de Zadok), propuesto por Fischer (1985). En consecuencia, el mayor impacto de una sequía, o sea del consumo no satisfecho, sobre los rendimientos ocurre en ese período, coincidente con la encañazón del trigo (escala 3 de Zadok).

El régimen estacional de lluvias que tenemos en Argentina hace que el nivel de agua útil en las capas arables superficiales sea significativo para el desarrollo del trigo desde el momento de la siembra hasta la cosecha. Se extiende que se necesita una variable que mida este porcentaje al comienzo de cada campaña. Para esto se recabaron los datos de agua útil en el suelo para cada campaña obtenido de los mapas de GEA/BCR. En la figura número 6 se muestran los mapas donde se sacó la información de agua útil de cada departamento para fines de mayo de cada año. Se procedió a agrupar las categorías de reserva de agua en una variable que va desde 0 a 110.

Figura N° 6: Escala de reserva de agua útil. GEA



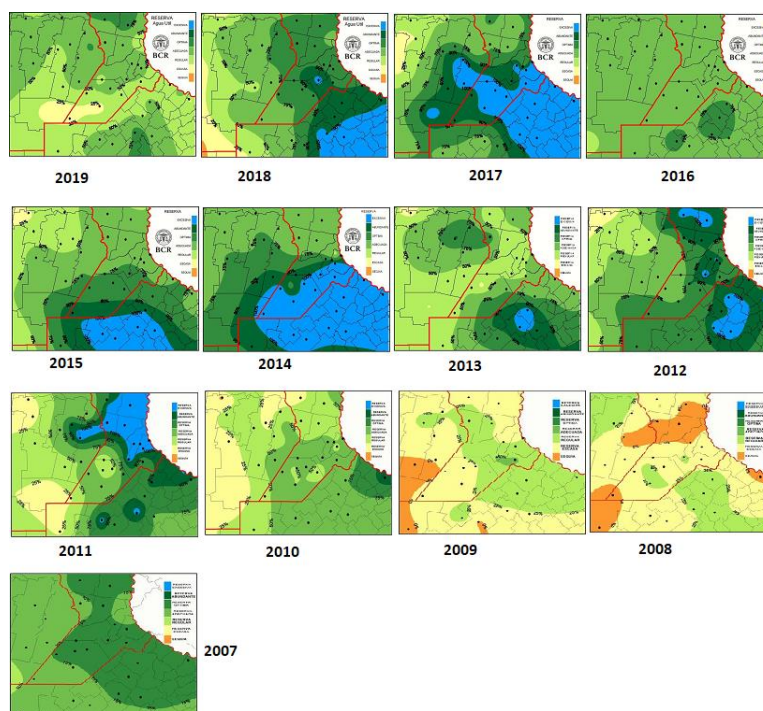
Fuente: GEA/BCR

Según la escala que se observa en la figura 6, el número 75 (75 %) indica reservas de agua óptimas, 90 representa reservas de aguas abundantes y 100 o más representa reservas de aguas excesivas (color azul). Las reservas de agua son regulares cuando tenemos hasta 50 % de agua útil (50), reservas de

⁵ La función respuesta hallada fue de $(-704 + 16,9 (AU_i + \text{lluvias junio-agosto}))$

agua escasas cuando tenemos hasta 25 % de agua útil (25), y sequía cuando los valores de agua útil en la capa arables son cercanos a 0 % (0). El déficit de agua útil al momento de la siembra es muy perjudicial para el desarrollo del cultivo, por lo que se **tendrá en cuenta desde los valores del 0 al 110**. Para todos los modelos propuestos, se considerará la forma cuadrática del agua útil, ya que cuando se pasa determinado límite, la abundancia de agua útil termina siendo redundante. Se espera que, en el caso de que exista sequía total, se deterioren significativamente las proyecciones de rendimientos.

Figura N° 7: Nivel de agua útil en la región núcleo por año a fines de mayo



Fuente: Elaborado en base a GEA/BCR

2. Agua acumulada posterior a la siembra

Como se ha demostrado en diferentes trabajos (Krüger, 2006), uno de los principales factores limitantes del rendimiento del trigo es la disponibilidad de agua en sus diferentes etapas. En áreas de secano, la provisión de agua para los cultivos se obtiene a partir de las lluvias durante el ciclo, y de las ocurridas en los meses previos que se almacenan en el suelo mediante el barbecho. En la zona núcleo, los registros de precipitación varían entre años (variabilidad interanual) y también a lo largo de un mismo año (variabilidad intranual). El suelo actúa como elemento de captación y retención del agua de lluvia, cediéndola posteriormente a las raíces de los cultivos. En este sentido, cumple la función de distribuir en el tiempo el suministro agua, amortiguando dentro de ciertos límites, los períodos de sequía. La capacidad de almacenaje de agua del suelo depende de su espacio poroso (determinado

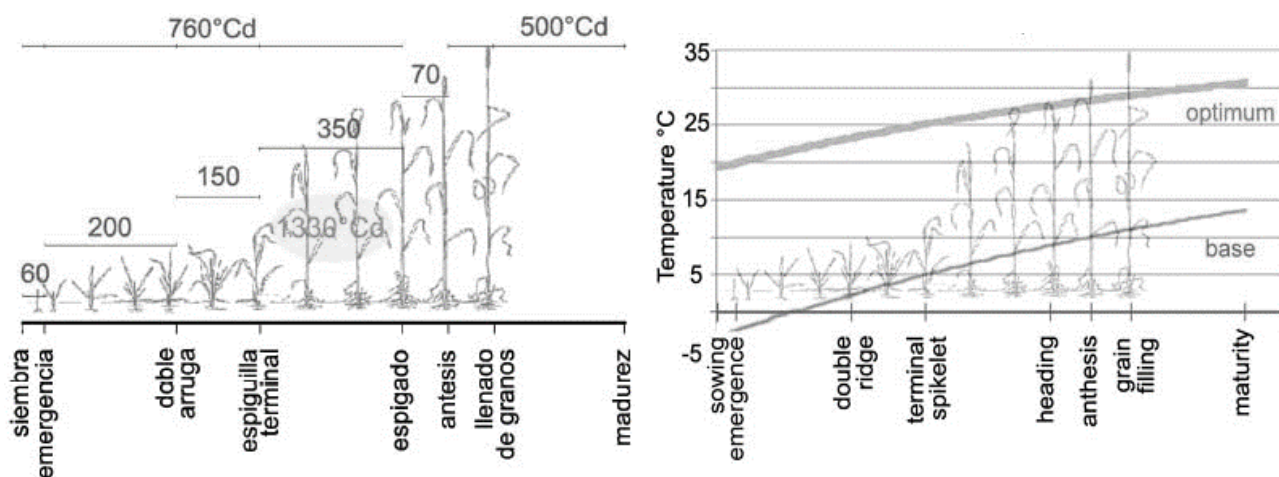
principalmente por la textura de sus distintas capas) y de su espesor o profundidad. Esta última se ve condicionada por la presencia de limitaciones a la penetración de las raíces, o por la diferente habilidad del cultivo para explorar el perfil en suelos homogéneos y profundos. La heterogeneidad de los campos dentro de cada departamento hace difícil captar esta última variable que puede hacer que las lluvias sean más aprovechadas en diferentes zonas. Para este caso, se utilizará también la forma cuadrática de la acumulación de milímetros de precipitaciones entre los meses de junio a septiembre de cada año para cada zona. Esta forma convencional se ha usado en numerosos estudios (Westcott & Jewison, 2013; Yun and Gramig, 2021). Por otro lado, se probará otro modelo tomando el déficit de lluvias en junio-julio-agosto, el superávit de lluvias acumulado de junio-julio-agosto y el superávit de lluvias en septiembre, todos respecto a las medias históricas.

3. Temperatura

La temperatura es otro del factor primordial ya que induce el desarrollo de la planta de trigo a través de sus fases, desde la emergencia pasando por la doble arruga, hasta la floración y la madurez. El desarrollo puede ocurrir dentro de un cierto rango de temperaturas; por debajo de 0°C hace demasiado frío para el desarrollo de la mayor parte de las variedades y por encima de 30°C hace demasiado calor. A medida que la temperatura media aumenta dentro de estos puntos (conocidos como la temperatura base y la temperatura óptima, respectivamente) el desarrollo se acelera. Sin embargo, el crecimiento, o aumento de tamaño, no sigue necesariamente estas reglas porque también entra en juego la radiación solar.

Cada fase del desarrollo requiere un mínimo de acumulación de temperatura para llegar a su término y que la planta pueda pasar a la fase siguiente. En efecto, la planta "mide" la temperatura cada día y agrega el promedio de ese día a un total requerido para esa fase. Este total se llama tiempo térmico o suma de calor y las unidades térmicas son grados/días (°Cd). Se puede calcular sumando las temperaturas medias de cada día durante la fase en cuestión. La temperatura media es: (máxima + mínima) /2. Por lo tanto, si en un determinado día hubo una máxima de 35 °C y una mínima de 15 °C, la media será de 25°C [(35+15) /2] y la suma de calor para ese día será de 25°Cd.

Figura N° 8: Mínimo tiempo térmico requerido en las fases de desarrollo



Fuente: FAO (2000)

El diagrama anterior muestra el número mínimo de grados por día ($^{\circ}\text{Cd}$) necesario para cada fase. Por ejemplo, para pasar de la emergencia a la doble arruga son necesarios 200°Cd (10 días con una media de 20°C o 20 días con una media de 10°C). Del mismo modo, desde la siembra al espigado son necesarios por lo menos 760°Cd . Si se desea calcular para un determinado lugar cuantos son, los días necesarios para que una variedad de trigo de corta duración complete estas fases, será necesario dividir la suma de calor dada en el diagrama por la temperatura media del lugar. Por ejemplo, si la temperatura media es de 15°C , la fase de la siembra al espigado tomará al menos 50 días ($760/15=50$). También es posible calcular cómo afectará el desarrollo un período de altas o bajas temperaturas. Conceptualmente, la temperatura base es la temperatura a la cual el desarrollo se detiene debido al frío. A medida que la temperatura aumenta por encima de la temperatura base, el desarrollo se acelera hasta que se alcanza la temperatura óptima. **La temperatura óptima es aquella a la cual el desarrollo ocurre lo más rápidamente posible.** Temperaturas más altas que la óptima pueden reducir la velocidad del desarrollo; a temperaturas muy por encima de la óptima el desarrollo se puede detener y la planta morir. En el caso del trigo, la temperatura base y la óptima no son siempre 0°C y 25°C respectivamente. En efecto, estas temperaturas dependen de la fase de desarrollo; son más bajas al inicio del cultivo y aumentan con el desarrollo. La figura muestra que el trigo puede crecer a 0°C durante la fase de plántula, pero, en cambio, su progreso en la etapa de la espigado es lento si la temperatura está por debajo de 10°C . Afortunadamente, las variedades difieren en sus temperaturas base y óptima hasta en 7°C en cualquier fase. En general, el trigo de invierno puede desarrollarse a temperaturas más bajas que el trigo de primavera. Para medir esto, en un modelo se utilizarán los días de temperatura bajo cero acumulados desde junio a septiembre de cada año para cada zona. Por otro lado, se utilizará la popular forma cuadrática de la acumulación de grados/días por zona de junio a septiembre (Schlenker and Fisher, 2006; Schlenker and Roberts, 2009). Se supone que los primeros

meses son preferentes las temperaturas más frías a las calientes. En el mes de octubre, al ser considerado un mes crítico se utilizará el promedio de los máximos diarios de temperatura, la cantidad de días en que la temperatura cae debajo de los 3 °C (proxy de una helada agronómica⁶) y el desvío de la temperatura con respecto a los normal.

4. Otras variables

Existen otros factores que pueden modificar algunos efectos de la temperatura, precipitaciones o incidir sobre el rinde final del trigo. Los elementos modificadores del ambiente incluyen la nutrición y la radiación solar.

Para el caso de la nutrición, se tiene una variable de control de fertilización, para evitar el sesgo por variable omitida para cada campaña. Todas las variables climáticas indicadas pueden tener una correlación muy significativa con las tecnologías aplicadas por los agricultores en cada campo. Es decir, es muy probable que se apliquen las mejores prácticas agrícolas en aquellos campos donde se tiene un mejor régimen de precipitaciones/temperaturas o donde mejor sea el rendimiento por las características intrínsecas de los suelos. También existen términos de interacción que no se pueden ver, como el nivel de fertilización por delegación y diferentes variables climáticas. Los ingenieros agrónomos sostienen que cuando se fertiliza y llueve oportunamente, los fertilizantes tienen un mejor impacto en los suelos, mejorando el rinde. Para controlar por el nivel de fertilizantes, utilizados por cada campaña, se utiliza una serie de consumo fertilizantes para la siembra de trigo, calculados por Fertilizar⁷ para cada campaña comercial. Puede que esta variable no capte bien la variación de la fertilización de la región núcleo, ya que es una estimación a nivel nacional.

Por otro lado, para controlar el modelado del rinde contra enfermedades que se pueden dar en diferentes campañas comerciales, se utiliza como proxy la importación de funguicidas (es un proxy de nivel de ventas de funguicidas), obtenido del INDEC, el cual se divide por la cantidad de hectáreas sembradas por campaña comercial.

Para el caso de la radiación solar, los mayores modificadores de la temperatura son el fotoperíodo (el total de horas entre la primera y la última luz de cada día) y la vernalización (las temperaturas entre 0°C y 12°C). La incidencia de estos modificadores difiere según la fase y la variedad de trigo (ver Rawson et al., 1998). Los días más cortos demoran el desarrollo, así como lo hace la ausencia de temperaturas bajas vernalizantes cuando plántula, si bien este efecto se observa principalmente en los

⁶ La helada agronómica es la temperatura igual o inferior a 0°C, medida en termómetro de mínima, pero a la intemperie y a 5 centímetros del suelo. Se diferencia de la helada meteorológica, que es la que se mide en el abrigo o casilla meteorológica. Si bien cuando se habla de helada se tiene en cuenta la observación en abrigo, a la intemperie la temperatura puede ser mucho menor, por esto se toma una temperatura más alta.

⁷ <https://fertilizar.org.ar/>

trigos de invierno. Es necesario considerar esto cuando se estima la duración de las fases de desarrollo. Por ejemplo, el período de la siembra al espigado podría durar el doble con un fotoperíodo de 10 horas que con uno de 15 horas (1.500°Cd en lugar de 760°Cd , como se muestra en el diagrama de mínimo tiempo térmico). Para el caso de la radiación solar, no se tiene información al respecto. La vernalización ya se encuentra implícita en las variables de temperatura.

Se sabe también que en el mercado de trigo argentino hubo un período extenso de intervenciones del estado en la comercialización. En 2006 comenzaron a tomarse medidas para restringir la exportación de trigo, aunque los ROE Verdes (Registros de Declaraciones Juradas de Venta al Exterior, los permisos que otorga el Gobierno para exportar) no se implementaron hasta 2008. La limitación oficial a la exportación comenzó principalmente a finales de 2010. El argumento oficial de esta política fue que estos cupos eran necesarios para cubrir las necesidades del mercado interno. Una vez asegurado esto, el resto del trigo podía exportarse. Debido a esto, la producción de trigo bajó drásticamente desde la cosecha de 2010/2011. Si la medición se hace utilizando el área sembrada (lo que muestra la voluntad del productor de sembrar este cereal más allá de los rendimientos finales), la campaña 2012/2013 es la más bajas de los registros publicados por el Ministerio, que comienza en 1970. Se espera que también, además de la reducción de las hectáreas sembradas, haya cambiado el paquete tecnológico y el manejo en dichos años. Con el cambio de Gobierno en diciembre de 2015 se modificaron las políticas de intervenciones en el comercio exterior de granos. Se eliminaron los cupos a la exportación que se encontraban vigentes y se dejaron sin efecto los derechos de exportación para todos los productos a excepción de aquellos del complejo soja. De esta manera, se utiliza una variable dummy desde 2011 a 2015 para indicar este cambio estructural con el nombre de Cuotas.

5. MODELADO ESTADÍSTICO DEL RENDIMIENTO

Debido a que el clima aporta directamente al proceso biológico del crecimiento de las plantas, la agricultura ha sido el foco de muchos estudios sobre los impactos del clima en la producción de cultivos. Dos enfoques principales para la investigación sobre la relación entre el tiempo atmosférico/clima y la agricultura han sido el enfoque ricardiano y la estimación de las funciones de respuesta del rendimiento de los cultivos. Estos dos enfoques se basan en la relación funcional común:

$$(1) \quad y = f(T, P, S, L)$$

donde y es la medida de interés relevante para la agricultura, T es la exposición a la temperatura, P es la precipitación total, S son las características del suelo y L son otros factores no meteorológicos, como

la combinación de insumos, la tecnología u otros factores humanos. Si la variable dependiente es el valor de las tierras de cultivo en función del clima (el promedio de varios años, o distribución, del clima), entonces la estimación de la ecuación (1) se denomina enfoque ricardiano; si y es el rendimiento del cultivo en función del clima, entonces la ecuación (1) es la función de respuesta del rendimiento del cultivo.

En la mayoría de los estudios de la función respuesta del rendimiento del cultivo se incluye la tendencia temporal en el propio modelo (Lobell y Burke, 2009; Schlenker and Roberts, 2009). Aquí, se ha incluido la especificación cuadrática de las tendencias del tiempo en vez de efectos fijos (Miao et al., 2016; Yun and Gramig, 2021). La identificación de los efectos adecuados del clima en conjuntos de datos de rendimiento de series temporales también debe tener en cuenta los impactos de otros factores, especialmente si no están correlacionados con las variables climáticas (Lobell et al., 2011). La adición de estos factores se analizará en la siguiente sección.

Se ha utilizado un modelo similar al de Yun and Gramig, (2021) como se indica a continuación:

$$(2) y_{it} = X_{it}\beta + \tau_1 t + \tau_2 t^2 + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Donde, X_{it} es un vector que contiene las variables climáticas y otros factores que inciden sobre el rendimiento, β es el vector correspondiente de coeficientes, t es la tendencia temporal, τ es su coeficiente y μ_i es el efecto fijo (FE) individual (departamento), y ε es el error aleatorio. El modelo de efectos fijos tiene la ventaja de tener en cuenta las diferencias de países invariantes en el tiempo (calidad del suelo, prácticas específicas de manejo, etc.), eliminando así los sesgos debidos a las variables omitidas. Las tendencias de tiempo capturan las tasas diferenciales de progreso, aunque no son específicas para cada zona.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Tabla N°3: Estimación de la función respuesta del rendimiento del trigo

Log rend kg/ha	(1)	(2)	(3)	(4)	Grupo
Agua util	0.0118***	0.0120***	0.0111***	0.0118***	1
Agua util^2	-6.81e-05***	-6.49e-05***	-6.78e-05***	-6.06e-05***	
Déficit/Superavit lluvias	/***				2
Lluvias jun-sep		/***	0.00215***	0.00273***	
Lluvias jun-sep^2			-2.61e-06***	-3.14e-06***	
Lluvias en junio	0.000553**				
Lluvias en octubre	-0.000164**		-0.00116***	-0.000771*	
Desvío ° octubre	-0.0257***				3
Prom. Temperaturas mes		/***			
Grados día			0.00432**	0.00641***	
Grados día^2			-1.42e-06**	-2.09e-06***	
Días 0° jun-sep	0.00840***	0.0140***	0.0106***	0.0140***	
N° heladas oct	-0.0183***	-0.0237***	-0.0154***	-0.00631	
Cuotas	-0.226***	-0.195*	-0.148**	-0.246***	4
Progreso anual	0.116**	0.193***	0.0388	0.0281	
Progreso anual^2	-0.00831**	-0.0133***	-0.00278	-0.00176	
Importación fungui	-0.226***	-0.224**		-0.327***	
Fertilización trigo	0.236*	0.193		0.0199	
Constante	8.814***	8.730***	4.225***	3.358**	
RMSE	0,1840	0,1823	0,2048	0,1943	
Observaciones	216	216	216	216	
Número de ID	18	18	18	18	
R-cuadrado	0.672	0,688	0.591	0.636	
Errores estándar					*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

/*** Indica uno o más coeficientes significativos de un conjunto de variables.

Se elaboraron 4 modelos para evaluar la incidencia de los grupos de variables (ver sección N° 4) en el rendimiento del trigo. Siguiendo la teoría y consultas a ingenieros agrónomos, el primer modelo se generó tomando desvíos de precipitaciones sobre el promedio para los meses de junio a agosto y desvíos de temperaturas en el mes de octubre. El segundo modelo toma lluvias acumuladas y promedios de temperaturas mensuales para cada mes. El tercer y cuarto modelo toma las lluvias acumuladas y grados/día en su forma cuadrática, siguiendo la línea de Westcott & Jewison, 2013 y Yun and Gramig, 2021. El test de Hausman (1978) indica que la utilización de efectos fijos es el método indicado para especificar el modelo. El R cuadrado de los cuatro modelos indica que todavía existe variabilidad del rendimiento que no es explicado por los factores incluidos. Para mejorar esto, se podría agregar la variación de la calidad de los suelos (nivel de nutrientes, escurrimiento del agua, anegamientos que se producen a lo largo del tiempo) en el tiempo. El nivel de nitrógeno, algo crucial para el desarrollo del trigo, se ve incidido por el tipo de cultivo que antecede a su siembra. Esta variable

es muy difícil de medir a nivel agregado. Tampoco se tenían disponibles los datos de heliofanía⁸ o humedad relativa, ambos factores de suma importancia para el rendimiento del trigo. Por otro lado, en la práctica se suelen utilizar diferentes variedades de trigo (de ciclos cortos y largos) lo que agrega una mayor heterogeneidad a las plantaciones en las diferentes zonas.

De todos los modelos, el que más se acerca a la realidad y a la teoría es el modelo (4). Esto se explica ya que se puede observar que el progreso anual (crecimiento anual del rendimiento) da una evolución más cercana a la realidad, que debería aproximarse al 1-2 %. El coeficiente no logra ser estadísticamente significativo, posiblemente porque deberían incorporarse más años a la serie.

Mirando al resto de los factores, se puede observar un signo positivo en la acumulación de lluvias entre junio - septiembre y un signo negativo para la parte cuadrática, de acuerdo a lo esperado. Se agregó una variable de lluvias en octubre para todos los modelos, lo que muestra que las precipitaciones en este mes son negativas para el rendimiento del trigo y no pueden revertir el daño causado por las condiciones climáticas adversas. Esto va en línea con la teoría y la experiencia de los ingenieros agrónomos. La forma cuadrática del agua útil es significativa en todos los modelos. El valor del coeficiente indica que el rinde podría disminuir hasta un 40% si se tienen reservas nulas de agua útil en la capa arable al momento de la siembra. Lo mismo ocurre con las precipitaciones acumuladas de junio a septiembre. En el caso de que no llueva nada en este período, la caída en el rinde esperado también sería del 40%.

En la variable control de fertilización, se encontró un coeficiente positivo, pero siendo estadísticamente no significativo. Esto se puede deber a que la misma es una estimación de la fertilización a nivel nacional y no para la región núcleo. En las importaciones de funguicidas por año se encontró un signo negativo y significativo. Esto se puede explicar por la incidencia de enfermedades generalizadas en el trigo en determinadas campañas comerciales, algo que atenta sobre el rendimiento final. Por otro lado, esta variable también puede relacionarse con el nivel de inversión del productor y el paquete tecnológico que se usa en promedio por campaña.

En el modelo (4), la variable de heladas agronómicas pierde significancia estadística, pero se mantiene significativa la variable de grados bajo cero entre junio y septiembre. El signo del mismo es diferente al esperado. Esto puede deberse a que se debe incorporar más información sobre las temperaturas base para cada estadio y mes del desarrollo del trigo. Por último, el coeficiente de grados/día y su parte cuadrática, son estadísticamente significativos y resultan con el signo esperado. Esto va en línea con la teoría de que la planta sigue una línea de crecimiento con temperaturas óptimas para su desarrollo y

⁸ La heliofanía representa la cantidad del brillo del Sol y está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, heliógrafo, que registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa.

rendimiento. Por lo pronto, se puede decir que el cultivo prefiere temperaturas frías al principio y temperaturas templadas en las etapas finales, siguiendo a la parte cuadrática de esta variable. Al mismo tiempo, se puede decir que el agua útil resulta de extrema importancia para el trigo, pero también lo son las lluvias acumuladas entre los meses de junio y septiembre. Un déficit combinado de ambas variables disminuye significativamente el rendimiento esperado del cereal. En relación a los cuatro modelos, se encontró una relación negativa entre el rendimiento del trigo en la región núcleo y el período de imposición de cupos a la exportación de trigo. Esto se puede explicar por una menor inversión del productor en momentos en que el precio del trigo en el mercado interno cayó significativamente. El aumento de la incertidumbre respecto a la capacidad de comercializar, se refleja en un mayor riesgo para el productor, lo que termina impactando sobre la inversión penalizando en última instancia al rinde y a la producción de trigo en Argentina.

7. APÉNDICE ESTADÍSTICO

Figura N° 9: Diagrama de caja de precipitaciones promedio por provincia

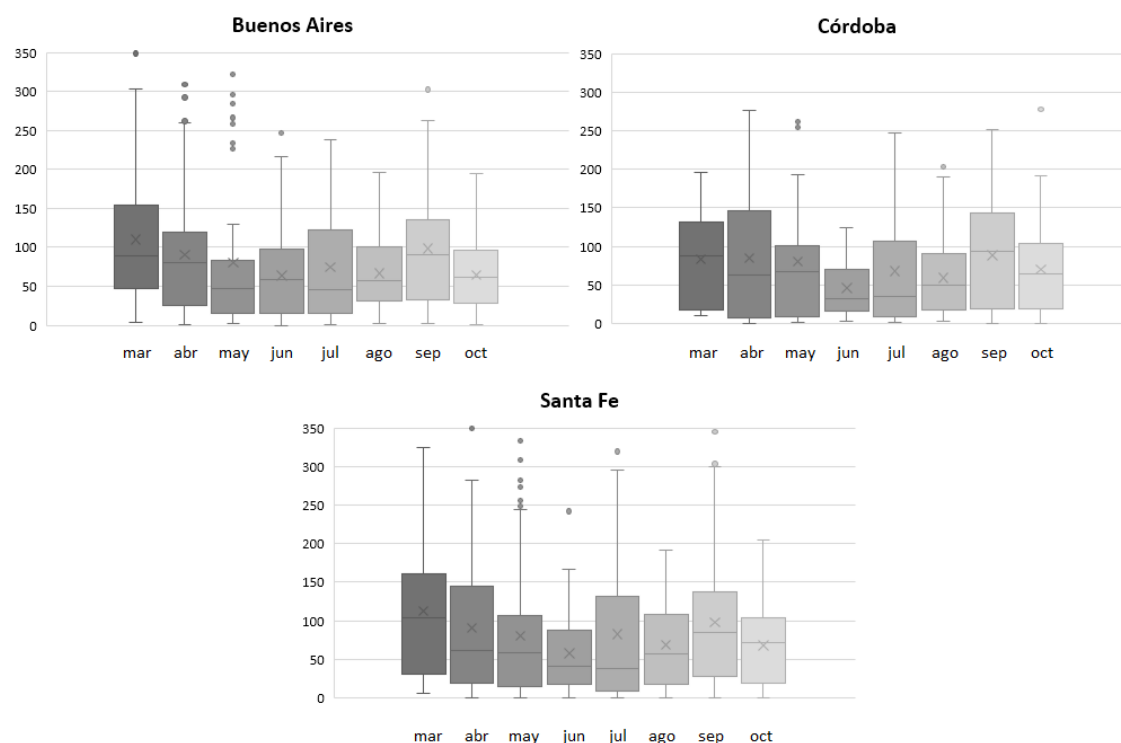


Tabla N° 4: Estadísticas descriptivas de las variables independientes

Nombre corto	Descripción	Medida / Escala	Obs	Promedio	Desvío Estándar	Mín	Máx
Campañas comerciales	Campañas comerciales / Años calendarios	1 año	12			2007	2018
Rend	Logaritmo de rendimiento	kg/ha	216	8,167	0,322	6,908	8,626
	Redimiento de trigo	kg/ha	216	3,683	958,4	1,000	5,577
Cuotas	Restricciones a la exportación de 2011 a 2015	Dicotómica	216	0,417	0,494	0	1
Agua útil	Agua útil en la capa arable	Escala 0 a 110	216	75,53	28,33	0	110
Fertilización trigo	Logaritmo de fertilización de trigo a nivel nacional		216	-1,856	-0,191	2,210	-1,523
	Fertilización de trigo a nivel nacional	kg/ha	216	0,159	0,029	0,110	0,218
Importación funguicidas	Logaritmo de importación de funguicidas	USD/Ha	216	2,869	0,309	2,012	3,228
	Importación de funguicidas por año, precios corrientes	USD/Ha	216	18,356	4,588	7,48	25,24
Lluvias jun-sep	Lluvias acumuladas entre junio y septiembre	milímetros	216	300,96	174,75	0,4	775,2
Lluvias en mar	Precipitaciones acumuladas en el mes de marzo	milímetros	216	108,43	85,33	3,2	440,7
Lluvias en abr	Precipitaciones acumuladas en el mes de abril	milímetros	216	90,06	80,41	0	349,6
Lluvias en mayo	Precipitaciones acumuladas en el mes de mayo	milímetros	216	81,19	87,05	0	375,2
Lluvias en junio	Precipitaciones acumuladas en el mes de junio	milímetros	216	58,88	50,92	0	246,4
Lluvias en julio	Precipitaciones acumuladas en el mes de julio	milímetros	216	77,92	87,21	0	438,8
Lluvias en agosto	Precipitaciones acumuladas en el mes de agosto	milímetros	216	67,01	50,16	0,4	203,1
Lluvias en septiembre	Precipitaciones acumuladas en el mes de septiembre	milímetros	216	97,16	82,87	0	520,6
Lluvias en octubre	Precipitaciones acumuladas en el mes de octubre	milímetros	216	66,73	47,35	0	277,7
0 grados en jul-sep	Días por debajo de los 0 grados entre junio y septiembre	días	216	5,737	8,743	0	39
Grados/día	Grados/día acumulados entre jun y septiembre	°Cd	216	1.521	152,99	1.194,8	1.866,7
° promedio en junio	Promedio diario entre mínima y máxima	grados	216	19,16	2,449	14,0	23,8
° promedio en julio	Promedio diario entre mínima y máxima	grados	216	18,72	2,971	13,5	25,4
° promedio en agosto	Promedio diario entre mínima y máxima	grados	216	19,43	3,672	13,3	26,4
° promedio en septiembre	Promedio diario entre mínima y máxima	grados	216	18,93	2,335	13,7	24,5
° promedio en octubre	Promedio diario entre mínima y máxima	grados	216	19,25	3,279	13,7	37,7
N° heladas oct	Cantidad de días con heladas agronómicas en octubre	días	216	4,407	5,909	0	19

8. REFERENCIAS

- BCR (2011). Informativo Semanal. Trigo: más cupo significa poco; sigue en mercado escueto y precios lejos del FAS teórico. AÑO XXIX - N° Edición 1537 - 02 de diciembre de 2011 Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/trigo-mas-cupo>
- BCR (2011). [Informativo Semanal](#). Trigo: ¿reactivará el cupo de 1,4 millón tn el mercado? AÑO XXIX - N° Edición 1536 - 25 de noviembre de 2011. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/trigo-2>
- BCR (2019). Informativo Semanal. El 74% de la producción de los seis principales cultivos se encuentra a 300 Km de los puertos del Gran Rosario, Quequén y Bahía Blanca. AÑO XXXVII - N° Edición 1911 - 14 de Junio de 2019. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-74-de-la>
- Haun, J. R. (1973), Visual Quantification of Wheat Development. *Agronomy Journal*, 65: 116-119.
- FAO (2000). Irrigated wheat. Managing your crop. Howard M. Rawson and Helena Gómez Macpherson. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2000
- Feekes, W. (1941). De tarwe en haar milieu [Wheat and its environment]. Verslagen van de Technische Tarwe Commissie. (in Dutch and English). 17: 523–888.
- Fischer R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. Camb.* 105:447-461
- Fontanetto et. Al (2006). La importancia del agua edáfica a la siembra como estimador de los rendimientos del trigo en el área central de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas* #41 p 10. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/473D1BD103DC9F918525799500760519/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/473D1BD103DC9F918525799500760519/$FILE/2.pdf)
- INTA Manfredi (2015). Consumo y disponibilidad de agua en cultivo de trigo. Junio 2015. Informe técnico. *Revista Riegos y Drenaje Argentina* p.57. Disponible en: <http://todoagro.com.ar/documentos/2015/riego-junio.pdf>
- Hausman, J. A. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251–1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>

- Krüger et.al. (2006). El agua y el rendimiento del trigo. Algunos cálculos. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-2_el_agua_y_el_rendimiento_de_trigo.pdf.
- Miao, R., Khanna, M., and Huang., H. “Responsiveness of Crop Yield and Acreage to Prices and Climate.” *American Journal of Agricultural Economics* 98,1(2016):191–211.CrossRefGoogle Scholar.
- Large, E. C. (1954), Growth Stages in Cereals Illustration of the Feekes Scale. *Plant Pathology*, 3: 128-129. doi: 10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x
- Lobell, D.B. and Burke, M. eds. 2009. *Climate change and food security: adapting agriculture to a warmer world (Vol. 37)*. Springer Science & Business Media.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. and Costa-Roberts, J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042): 616-620.
- Natali et.al. (2004). Factores que afectan el rendimiento de trigo en el centro sur de Santa Fe. *International Plant Nutrition Instruments*. CREA. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F370C9A2DF6B1B4B852579950078567D/\\$FILE/Natali-IA34.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F370C9A2DF6B1B4B852579950078567D/$FILE/Natali-IA34.pdf)
- Rawson, H.M., Zajac, M. & Penrose, L.D.J. (1998). Effect of seedling temperature and its duration on development of wheat genotypes differing in vernalization response. *Field Crops Res.*, 57: 289-300.
- Schlenker, W., Hanemann, M., and Fisher., A.C. “The Impact of Global Warming on U.S. Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions.” *Review of Economics and Statistics* 88(2006):113–25.
- Schlenker, W., and Roberts., M.J. “Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change.” *Proceedings of the National Academy of Science* 106(2009):15594–98.
- Villar J. 2001. Economía del agua en el cultivo de trigo. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de Trigo. Campaña 2000. Publicación Miscelánea N° 92.
- Villar, Jorge (2010). Estimación de rendimientos de trigo a partir del agua almacenada en el centro de Santa Fe. Experiencias en red INTA EEA OLIVEROS. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-estimacion_rendimientos.pdf

- Westcott, P. & Jewison M. (2013). “Weather Effects on Expected Corn and Soybean Yields” Economic Research Service. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. July 2013. https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/36651/39297_fds-13g-01.pdf?v=6143
- Wilhelm, W., McMaster, G. S., Rickman, R., & Klepper, B. (1993). Above-ground vegetative development and growth of winter wheat as influenced by nitrogen and water availability. *Ecological Modelling*, 68(3-4), 183-203. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(93\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0304-3800(93)90016-1)
- Yun, S. & Gramig B. (2021). “Spatial Panel Models of Crop Yield Response to Weather: Econometric Specification Strategies and Prediction Performance”. Cambridge University Press. U.S. *Journal of Agricultural and Applied Economics (JAAE)*. [November 2021](#).
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974), A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.