

# Trabajo Final de Graduación



Título: Efecto de diferentes sistemas de producción agronómica sobre el rendimiento y la composición química de granos de maíz

Carrera: Ingeniería Agronómica

Año: 2023

Alumno: Santiago Bunge

Tutores: Fernando Miguez y Daniela Becheran

Co-tutores: Alberto Peper y Beltrán Benedit

## **Índice**

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| <u>Introducción</u> .....           | <u>3</u>  |
| <u>Objetivos</u> .....              | <u>6</u>  |
| <u>Metodología</u> .....            | <u>7</u>  |
| <u>Resultados y discusión</u> ..... | <u>14</u> |
| <u>Conclusiones</u> .....           | <u>29</u> |
| <u>Anexos</u> .....                 | <u>30</u> |
| <u>Bibliografía</u> .....           | <u>31</u> |

## **Introducción**

### **Cultivo de maíz**

En las últimas décadas, los eventos tecnológicos, los nuevos híbridos, la tecnología y las prácticas de manejo han hecho que los rindes del cultivo de maíz aumenten considerablemente, y eso trajo aparejado un aumento en la superficie sembrada en Argentina (Paolilli y otros, 2021). A su vez, este aumento en los rendimientos conlleva una mayor extracción de nutrientes por parte de los cultivos (Ciampitti y García, 2008). Esto implica la necesidad de una mayor reposición de esos nutrientes a través de fertilizantes para poder conservar la fertilidad del suelo y producir de una manera sustentable. Sin embargo, las dosis medias de fertilizantes aplicados en maíz muestran que los aportes de nutrientes no son suficientes para reponer lo que se extrae con la cosecha de los granos. Puntualmente, en la campaña 2019-2020, el 54% de los suelos analizados presentaron niveles insuficientes de nitrógeno (N), el 56% niveles insuficientes de fósforo (P), y el 65% niveles insuficientes de azufre (S) (Grasso, 2021).

Esto sucede en los principales cultivos: en la campaña 2010/2011, teniendo en cuenta soja, maíz, trigo, girasol, sorgo y arroz, solo se repuso el 34,6% de lo extraído de N, P, K, S y Ca (Cruzate y Casas, 2012), mientras que en la campaña 2015/2016 solamente un 24,5% (Cruzate y Casas, 2017). Esta realidad muestra que los sistemas de producción agronómica actuales no son sostenibles, ya que se ve afectada la fertilidad de los suelos y se favorece su degradación año tras año. Como resultado, se limita la capacidad de la producción agrícola argentina para alcanzar su potencial máximo.

### **Demanda global y oportunidades**

El contexto global actual demanda cada vez más alimentos para satisfacer a una población en crecimiento, ya que se espera que para 2030 la población mundial alcance los 8.600 millones de personas (ONU, 2017). Durante un

tiempo, la solución tradicional y más sencilla para hacer frente al aumento de la demanda de alimentos fue la intensificación agrícola. Esto implica el incremento de la productividad por unidad de superficie en un período de tiempo determinado.

Con el paso de los años, la conciencia de la población acerca del impacto ambiental de la producción de alimentos ha ido cambiando. Tanto es así que los países miembros de la ONU han definido, como uno de los ejes del Plan de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el objetivo de producir alimentos de manera sostenible (FAO, 2015). Es por eso que la agricultura debe considerar y replantearse ciertas prácticas, y encontrar nuevas que tiendan a conservar e incluso mejorar la calidad de los suelos, proteger los ecosistemas naturales, y promover y conservar la biodiversidad. Es en ese panorama dónde aparece la agricultura sustentable, definida como “el manejo y conservación de los recursos naturales y la orientación de cambios tecnológicos e institucionales de manera de asegurar la satisfacción de las necesidades humanas en forma continuada para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo sustentable debe ser técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (García, 2020).

Frente a estas la necesidad de producir más y hacerlo de una manera más sustentable surge la intensificación sustentable, que integra ambas soluciones. Se refiere a mantener o aumentar los rendimientos utilizando agroquímicos de manera racional e intensificando el uso de los recursos ambientales, tales como agua, nutrientes, suelo, radiación, etc. (Caviglia y Andrade, 2010)

En este trabajo final de grado (TFG) se buscará analizar si existen diferencias en la composición de los granos del cultivo de maíz, en base a distintos sistemas de producción agronómica, siendo dos los sistemas a analizar: i) el actual del productor y ii) el intensificado sustentable. Esos sistemas presentan

diferencias en cuanto a la secuencia de cultivos, incluyendo el uso o no de cultivos de cobertura, a los genotipos y densidad de siembra utilizados y el aporte de nutrientes por medio de fertilizantes. También se buscará relacionar los resultados obtenidos con rendimiento y datos climáticos de cada campaña.

### Justificación de la elección del tema

El motivo principal de la elección del tema es analizar la dinámica de nutrientes del cultivo de maíz en diferentes sistemas de producción agronómica. Comprender este proceso y cómo se ve afectado por el manejo productivo permitiría que los productores logren una mayor eficiencia en el uso de los recursos, lo que reduce los costos en fertilizantes, aumenta la producción de granos, y fomenta la creación de un agroecosistema más sustentable. Todo esto es especialmente importante en un mundo que cada vez demanda productos de estas características.

Conocer cómo puede variar la extracción de estos nutrientes según distintos sistemas de producción agronómica es relevante. Los resultados que se obtendrán en este estudio pueden brindar un buen panorama para los productores acerca de la cantidad de nutrientes a reponer para no disminuir, con el paso de las campañas, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, evitando así su deterioro.

Es importante tener en cuenta que los resultados obtenidos en este estudio estarán limitados a ciertos análisis, tales como concentración de nutrientes y rendimiento. Sin embargo, a la hora de definir rotaciones para un manejo racional, sustentable y viable económicamente, es fundamental considerar muchos otros factores como la inclusión de una mayor diversidad de cultivos.

Por ejemplo, la inclusión de gramíneas en la secuencia de cultivos tiene un efecto sumamente positivo para el suelo. Esto se debe a que sus raíces en cabellera mejoran la porosidad, la infiltración y la aireación. A su vez, esto

controla el escurrimiento y la erosión, y genera una mayor disponibilidad de agua útil. Todo esto se traduce en mayor rendimiento (Smith y otros, 2008).

Una mayor diversidad de cultivos afecta parámetros del suelo como la disponibilidad de P, K, Ca y Mg, nutrientes que se analizarán en este trabajo (Francis y otros, 1990). Estudios realizados por varios autores (Barrios y Basso, 2018; Schlegel y Havlin, 2013) han demostrado que tanto la disponibilidad de nutrientes del suelo como el aporte a través de la fertilización pueden modificar la composición química del grano de maíz. Sin embargo, información disponible sobre el efecto de un sistema intensificado que incluya, diferentes híbridos, densidades y secuencias de cultivo, además de la fertilización, es escasa.

La inclusión de una mayor diversidad de cultivos también ayuda a controlar las malezas, ya que permite rotar los grupos químicos a utilizar y los momentos de aplicación, disminuyendo así el riesgo de generar resistencia a herbicidas. Por otro lado, la incorporación de cultivos de cobertura también tiene un efecto positivo en el control de malezas al competir con ellas por los recursos (agua, luz, nutrientes), y probablemente colaborar a reducir la cantidad de aplicaciones de herbicidas en el barbecho (Fernandez y otros, 2017).

Una mayor concentración de nutrientes en grano de maíz implicaría un mayor valor nutritivo de esos granos, pero a su vez una mayor extracción por tonelada producida, requiriendo aumentar la reposición para compensarla.

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

- Analizar el efecto de diferentes sistemas de producción sobre el rendimiento y la composición química de los granos del cultivo de maíz

#### Objetivos particulares:

- Analizar si los diferentes sistemas de producción agronómica afectan el rendimiento y el contenido de nutrientes en grano de maíz.
- Analizar cómo las condiciones meteorológicas y ambientales afectan la extracción de nutrientes por parte del cultivo de maíz.
- Analizar la relación entre el rendimiento y la extracción de nutrientes por parte del maíz.
- Comparar las tablas actualmente usadas de Cálculo de Requerimientos Nutricionales (IPNI) con lo exportado realmente en los ensayos

#### Hipótesis:

A) El sistema intensificado sustentable aumenta el rendimiento del maíz.

B) El sistema intensificado sustentable aumenta la concentración en grano de los nutrientes aplicados en mayor dosis con los fertilizantes (N, P y S) y no se modifica la concentración de los otros nutrientes analizados.

### **Metodología**

#### Carta acuerdo:

Los ensayos fueron llevados a cabo por la empresa Bayer, y los datos aportados al alumno a través de una carta acuerdo entre dicha empresa y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la U.C.A.

#### Sitio experimental:

Se realizaron ensayos durante 8 campañas (desde la 14-15 hasta la 21-22) en el establecimiento Don Eduardo Learning Center, en la localidad de

Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina (33° 51'55.7" S; 60° 40'28.39" W).

El clima en dicha zona es húmedo subtropical, con veranos cálidos, sin estación seca marcada y lluvias distribuidas homogéneamente durante todo el año (régimen isohigro). La temperatura media anual es de 17 °C, siendo el mes más cálido enero (23°C) y julio el mes más frío (9,8°C) (Figura 1). El promedio de lluvias anuales es de 988 mm (promedio 1910- 2018) con un 68% del total de estas entre los meses de octubre y marzo (INTA, 2022). El mes dónde suelen producirse más precipitaciones es marzo, con un promedio de 127 mm, mientras que el mes más seco es julio, con un promedio de 36 mm (Figura 2).

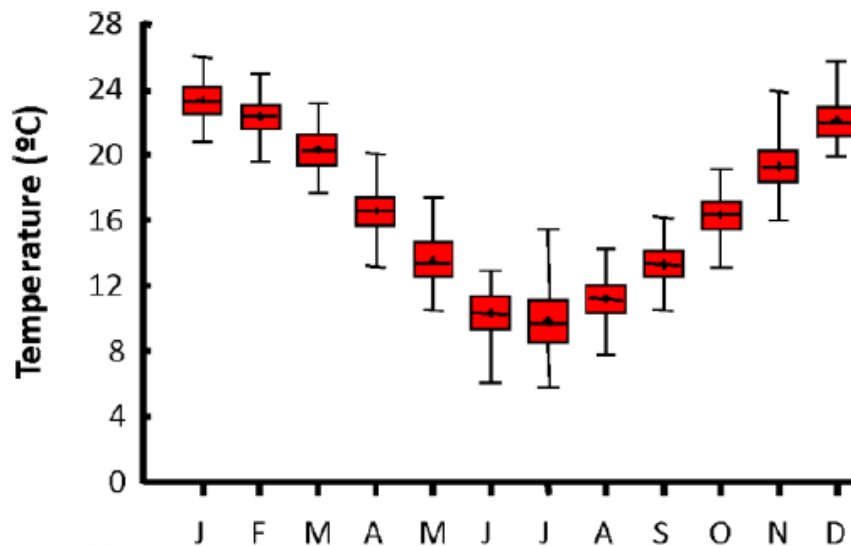


Figura 1: Temperaturas medias mensuales en Pergamino, Buenos Aires, Argentina (EEA Inta Pergamino, promedio 1932, 2015) (Valdettaro M., 2020).

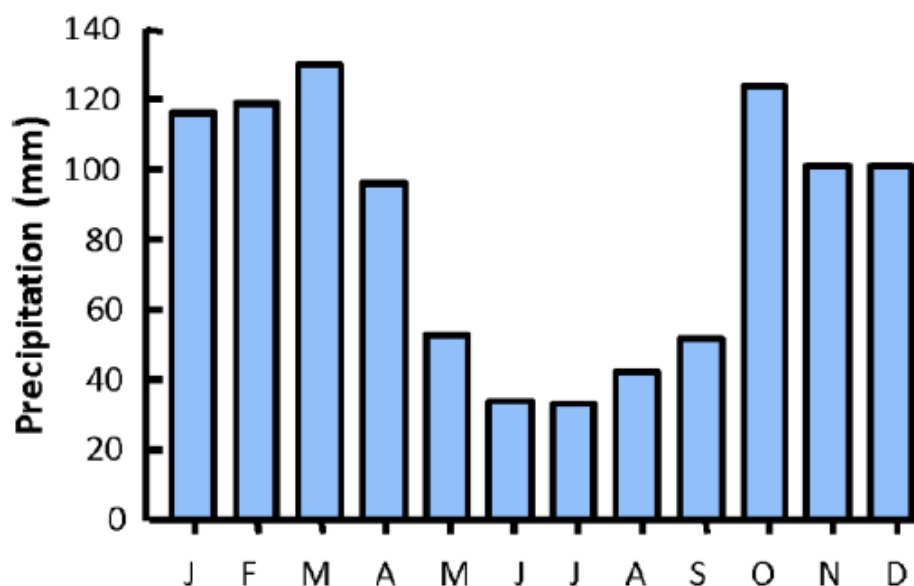


Figura 2: Precipitaciones mensuales promedio en Pergamino, Buenos Aires, Argentina (EEA Inta Pergamino, promedio 1932, 2015) (Valdettaro M., 2020)

El suelo del área experimental es un Argiudol Típico Serie Pergamino rico en arcillas y bien drenado, con un horizonte superficial rico en materia orgánica.

Tabla 1: Características del suelo en el área experimental (Argiudol Típico Serie Pergamino)

| Horizonte  | Profundidad (cm) | Textura               | Arcilla | Limo (%) | Arena | pH  | MOS (%) | CIC (meq 100 g <sup>-1</sup> ) | HE   |
|------------|------------------|-----------------------|---------|----------|-------|-----|---------|--------------------------------|------|
| <b>Ap</b>  | 0-20             | Franco-limoso         | 22      | 68,8     | 9,2   | 5,9 | 2,6     | 21,1                           | 25,5 |
| <b>Bt1</b> | 20-65            | Arcillo-limoso        | 42      | 52,3     | 5,7   | 6,1 | 2,5     | 20,3                           | 24,7 |
| <b>Bt2</b> | 65-95            | Franco arcillo-limoso | 26      | 64,5     | 9,5   | 6,2 | 1,5     | 18,6                           | 27,3 |
| <b>BC</b>  | 95-120           | Franco-limoso         | 16      | 72,5     | 11,5  | 6,3 | 1,1     | 32                             | 37,7 |
| <b>C</b>   | >120             | Franco-limoso         | 16      | 74,1     | 9,9   | 6,5 | 0,6     | 27,2                           | 31,3 |

### Diseño del experimento:

Los ensayos se llevaron a cabo en 24 parcelas de 700 m<sup>2</sup> cada una, con un diseño en bloques con 3 repeticiones, no aleatorizado por las dificultades de operatividad de manejo entre tantos tratamientos.

El diseño del experimento fue en parcelas subdivididas con parcelas principales: la parcela principal correspondió al cultivo de cobertura, la subparcela a la secuencia de cultivos y la sub-subparcela es el sistema de producción agronómica.

El diseño de tratamientos es el siguiente:

*Tabla 2: Diseño experimental de los tratamientos en las parcelas*

|        |          |     |
|--------|----------|-----|
| CC     | M/S/T/Sj | SIM |
|        |          | AFM |
|        | M/S      | SIM |
|        |          | AFM |
| Sin CC | M/S/T/Sj | SIM |
|        |          | AFM |
|        | M/S      | SIM |
|        |          | AFM |

Así, quedan definidos 3 factores:

1. Cultivo de cobertura
  - a) Con cultivo de cobertura (CC)
  - b) Sin cultivo de cobertura (SCC)
2. Secuencias de cultivos
  - a) Maíz/Soja/Trigo-Soja
  - b) Maíz/Soja
3. Sistema de producción agronómica

a) SIM: Modelo intensificado sustentable (Sustainable Intensified Model)

b) AFM: Modelo Promedio del Productor (Average Farmer Model)

Resultando en un total de 8 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones:

- Sin CC, M/S, AFM. A partir de ahora Tratamiento 1
- Con CC, M/S, AFM. A partir de ahora Tratamiento 2
- Sin CC, M/S/T-S, AFM. A partir de ahora Tratamiento 3
- Con CC, M/S/T-S, AFM. A partir de ahora Tratamiento 4
- Sin CC, M/S, SIM. A partir de ahora Tratamiento 5
- Con CC, M/S, SIM. A partir de ahora Tratamiento 6
- Sin CC, M/S/T-S, SIM. A partir de ahora Tratamiento 7
- Con CC, M/S/T-S, SIM. A partir de ahora Tratamiento 8

Todos los ensayos fueron sembrados en fechas tempranas, óptimas para la zona (entre el 28/9 y el 22/10), con una distancia entre surcos de 52 cm.

### Fertilización:

Para las parcelas que fueron fertilizadas, también se obtuvieron los datos de fertilizaciones realizadas, con su correspondiente producto comercial y dosis (Tabla 3).

*Tabla 3: Fertilización de maíz para los sistemas AFM y SIM desde la campaña 2014-15 hasta la campaña 2021-22.*

| Campaña | Modelo | Producto comercial y dosis  |
|---------|--------|-----------------------------|
| 2014-15 | AFM    | 150 kg/ha urea a la siembra |
|         |        | 100 kg/ha SPT a la siembra  |
|         | SIM    | 300 kg/ha urea a la siembra |
|         |        | 115 kg/ha SPS a la siembra  |
|         |        | 63 kg/ha MAP en barbecho    |
| 2015-16 | AFM    | 150 kg/ha urea a la siembra |
|         |        | 80 kg/ha urea en V6         |
|         |        | 80 kg/ha SPT a la siembra   |
|         | SIM    | 150 kg/ha urea a la siembra |

|         |     |                                                                                                                                              |
|---------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |     | 80 kg/ha urea en V6<br>40 kg/ha SPT a la siembra<br>170 kg/ha SPT en barbecho<br>92 kg SCa en barbecho                                       |
| 2016-17 | AFM | 150 kg/ha urea a la siembra<br>100 kg/ha urea en V6<br>90 kg/ha SPS en V6                                                                    |
|         | SIM | 250 kg/ha urea a la siembra<br>100 kg/ha urea en V6<br>170 kg/ha SPS en barbecho<br>92 kg SCa en barbecho                                    |
|         | AFM | 150 kg/ha urea a la siembra<br>80 kg/ha urea en V6<br>80 kg/ha SPS a la siembra                                                              |
|         | SIM | 100 kg/ha Nitrocomplex a la siembra<br>150 kg/ha Nitrodoble a la siembra<br>250 kg/ha Nitrodoble en V6<br>200 kg/ha Sausor en barbecho       |
| 2018-19 | AFM | 100 kg/ha urea a la siembra<br>80 kg/ha urea en V6<br>80 kg/ha SPT a la siembra                                                              |
|         | SIM | 100 kg/ha Nitrocomplex a la siembra<br>150 kg/ha Nitrodoble a la siembra<br>250 kg/ha Nitrodoble en V6<br>170 kg/ha Sausor en barbecho       |
|         | AFM | 100 kg/ha urea a la siembra<br>80 kg/ha urea en V6<br>60 kg/ha SPT a la siembra                                                              |
|         | SIM | 100 kg/ha Nitrocomplex a la siembra<br>120 kg/ha Nitrodoble a la siembra<br>200 kg/ha Nitrodoble en V6<br>150 kg/ha Sausor en barbecho       |
| 2019-20 | AFM | 100 kg/ha urea a la siembra<br>200 kg/ha urea en V6<br>60 kg/ha SPT a la siembra                                                             |
|         | SIM | 115 kg/ha Nitrocomplex Plus Zar a la siembra<br>130 kg/ha Nitrodoble a la siembra<br>210 kg/ha Nitrodoble en V6<br>120 kg/ha SPT en barbecho |
|         | AFM | 100 kg/ha urea a la siembra<br>200 kg/ha urea en V6<br>60 kg/ha SPT a la siembra                                                             |
|         | SIM | 115 kg/ha Nitrocomplex Plus Zar a la siembra<br>130 kg/ha Nitrodoble a la siembra<br>210 kg/ha Nitrodoble en V6<br>120 kg/ha SPT en barbecho |

### Datos climáticos:

Los datos climáticos fueron obtenidos de la estación meteorológica TD03A2PergaminoLearningcenter, ubicado en el establecimiento del experimento.

Los datos relevados fueron precipitación, viento, temperatura del aire y radiación solar durante el ciclo del cultivo (octubre a febrero) y durante el mes crítico para la definición del rendimiento, siendo diciembre dicho mes para las fechas de siembra tempranas de maíz llevadas a cabo en este ensayo, ya que será cuando ocurre la floración.

*Tabla 4: Datos climáticos promedio por campaña y en el mes crítico para la definición de rendimiento en grano del cultivo (diciembre)*

| <b>Campaña</b>                                | <b>14-15</b> | <b>15-16</b> | <b>16-17</b> | <b>17-18</b> | <b>18-19</b> | <b>19-20</b> | <b>20-21</b> | <b>21-22</b> |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Precipitaciones de Oct a Feb (mm)</b>      | 665,6        | 722,2        | 707          | 409          | 543,8        | 443,4        | 289,8        | 512,9        |
| <b>Temperatura promedio de Oct a Feb (°C)</b> | 21,11        | 22,02        | 21,09        | 21,08        | 20,51        | 20,96        | 20,92        | 21,36        |
| <b>Radiación solar de Oct a Feb (MJ/m2)</b>   | 3651,85      | 3638,86      | 3418,87      | 3777,24      | 3546,11      | 3644,52      | 3741,86      | -            |
| <b>Precipitaciones en Diciembre (mm)</b>      | 156          | 89           | 213,8        | 219,2        | 136,4        | 195,2        | 26           | 41,2         |
| <b>Temperatura promedio en Diciembre (°C)</b> | 21,99        | 25,01        | 23,08        | 22,96        | 21,56        | 22,14        | 22,28        | 24,19        |
| <b>Radiación solar en Diciembre (MJ/m2)</b>   | 854,84       | 862,85       | 794,42       | 811,85       | 837,39       | 788,96       | 894,36       | -            |

### Análisis económico:

Los ingresos fueron obtenidos del rendimiento del tratamiento\*precio pizarra del maíz BCR a la fecha de cosecha, menos 30% de gastos de cosecha y comercialización.

#### Datos:

Para cada repetición, se obtuvieron datos de rendimiento (kg/ha) y, a través de análisis de laboratorio (Methods of Soil Analysis, SSSA, 1996), la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) expresados en gramos de nutriente por kilogramo de grano (gr/kg).

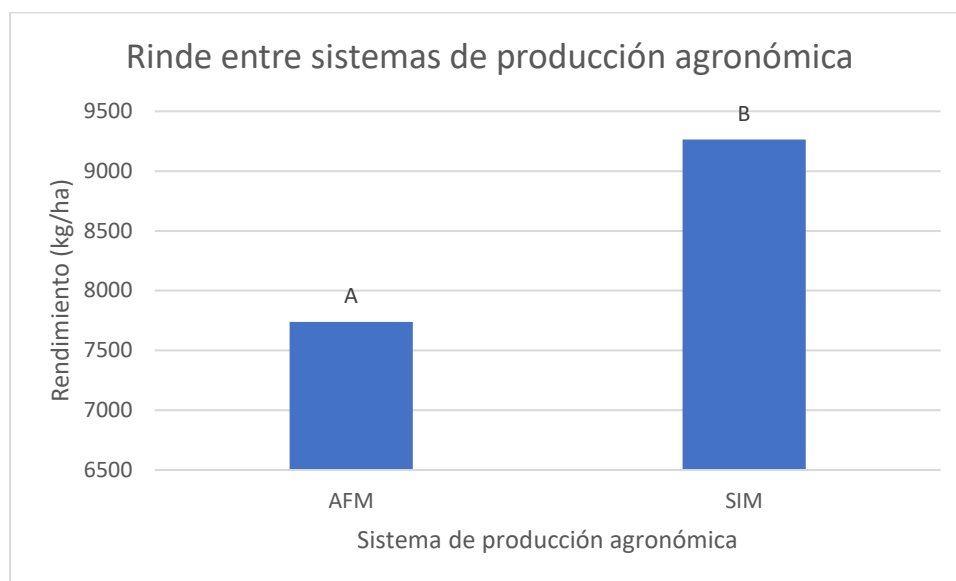
#### Análisis estadístico de los datos

La diferencia entre tratamientos para los diferentes parámetros analizados se realizó por medio de ANOVA usando el programa InfoStat (Di Rienzo y otros, 2020). Las diferencias entre medias se determinaron mediante el test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Para los análisis de correlación se utilizó el Coeficiente de correlación de Pearson, también con el programa Infostat.

### **Resultados y discusión**

El rendimiento de granos entre los dos sistemas de producción agronómica analizados como promedio de todas las campañas mostró diferencias significativas, siendo el de mayor rendimiento el sistema intensificado ( $p < 0,05$ ; Figura 3). Se acepta la primera hipótesis planteada (“A) El sistema intensificado sustentable aumenta el rendimiento del maíz”). Esto indicaría que, incluyendo un sistema intensificado sostenible, es posible mejorar los rendimientos y reducir la brecha con el potencial productivo.



*Figura 3: Rendimiento (kg/ha) de cada sistema de producción agronómica (AFM y SIM) como promedio de las 8 campañas, medias con la misma letra no difieren estadísticamente ( $p>0,05$ ).*

En el análisis de los ingresos menos los costos, se obtuvo con el promedio de las 6 campañas que el SIM aumentó el margen bruto (MB) para todas las rotaciones (Tabla 5).

Estos resultados muestran que con el sistema de producción agronómica SIM se puede aumentar el rendimiento de manera sustentable, tanto productivamente cómo económicamente.

Analizando por separado cada campaña, se obtuvo que las campañas en las que las precipitaciones en el mes en el que ocurre el período crítico para el cultivo (diciembre) no fueron restrictivas para el crecimiento del cultivo (16-17, 18-19 y 19-20), el aumento en el rendimiento de los sistemas SIM generó un ingreso superior a los costos adicionales que tuvieron estos tratamientos en comparación con los AFM, aumentando la rentabilidad (Tabla 5).

*Tabla 5: Análisis económico de los sistemas de producción agronómica (AFM y SIM) por campaña.*

| Campaña | Ingresos – Costos AFM (US\$/ha) | Ingresos – Costos SIM (US\$/ha) | Diferencia margen bruto (US\$/ha) |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 15-16   | 561.85                          | 548.48                          | 13.37 en favor del AFM            |
| 16-17   | 1017.90                         | 1154.46                         | 136.56 en favor del SIM           |
| 18-19   | 721.19                          | 896.39                          | 175.2 en favor del SIM            |
| 19-20   | 649.07                          | 724.26                          | 75.19 en favor del SIM            |
| 20-21   | 588.54                          | 278.03                          | 310.51 en favor del AFM           |
| 21-22   | 918.32                          | 858.07                          | 60.25 en favor del AFM            |

Estos resultados concuerdan con un análisis económico realizado con estos mismos datos por Fillat et al., 2022.

Analizando por separado cada campaña, en 4 de ellas se obtuvieron diferencias significativas de rendimiento entre sistemas de producción agronómica (SIM y AFM): 14-15, 18-19, 19-20 y 20-21 (Figura 4).

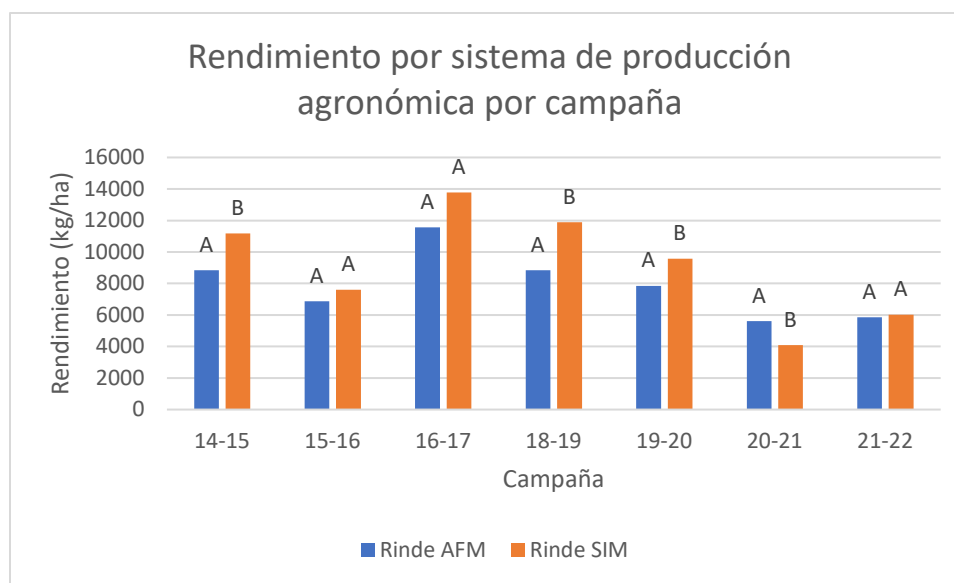


Figura 4: Rendimiento (kg/ha) de cada sistema de producción agronómica (AFM y SIM) por campaña. Medias con la misma letra no difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

Por otro lado, también hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de rendimiento entre campañas, analizando los dos sistemas juntos (Figura 5), por lo que se avanzó en analizar por separado cada campaña.

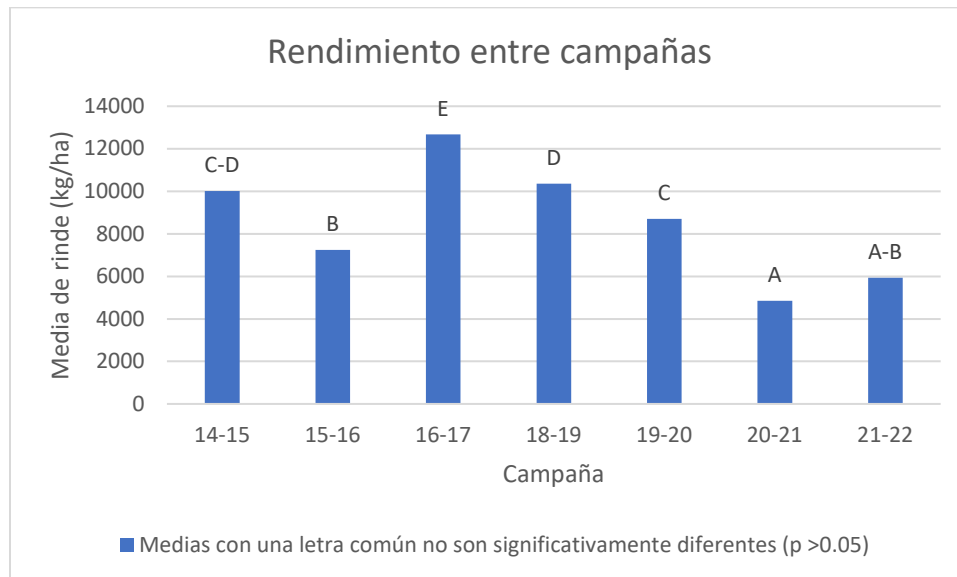


Figura 5: Rendimiento (kg/ha) promedio de todos los tratamientos analizados en conjunto por campaña, medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

Dentro de cada campaña, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de rendimiento entre tratamientos para todas las campañas (Tabla 6).

Tabla 6: Rendimiento de cada tratamiento por campaña, medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p > 0,05$ ).

| Campaña | Análisis      | Tratamiento |             |              |             |              |              |              |              |
|---------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|         |               | 1           | 2           | 3            | 4           | 5            | 6            | 7            | 8            |
| 14-15   | Media         | 8519.6<br>7 | 8597.4<br>3 | 8899.47      | 9329.2      | 11221.7<br>7 | 11466.2      | 10929.6<br>7 | 11131.3      |
|         | Test de Tukey | A           | A           | A-B          | A-B-C       | B-C          | C            | A-B-C        | B-C          |
| 15-16   | Media         | 8149.0<br>3 | 5556.8<br>3 | 8181.1       | 5581.7<br>7 | 8285.83      | 6608.07      | 8897.37      | 6659.3       |
|         | Test de Tukey | B-C         | A           | B-C          | A           | C            | A-B          | C            | A-B          |
| 16-17   | Media         | 12452.1     | 8912.4<br>7 | 14979.6<br>3 | 9910.3<br>7 | 16208.0<br>3 | 11393.4<br>3 | 15262.9      | 12254.0<br>7 |
|         | Test de Tukey | A-B         | A           | A-B          | A-B         | B            | A-B          | A-B          | A-B          |
| 18-19   | Media         | 8695.8<br>7 | 8804.5      | 8637.93      | 9221.6<br>3 | 11584.5      | 12215.9<br>7 | 11494.6<br>3 | 12266.3<br>7 |
|         | Test de Tukey | A           | A           | A            | A-B         | B-C          | C            | B-C          | C            |
| 19-20   | Media         | 8298.8<br>3 | 7481.1<br>3 | 8474.83      | 7146.0<br>3 | 9374.6       | 9435.77      | 9779.93      | 9663         |
|         | Test de Tukey | A-B         | A           | A-B          | A           | B            | B            | B            | B            |
| 20-21   | Media         | 6151.1      | 5254.8<br>7 | 6210.03      | 4814.3      | 5465.17      | 2714.17      | 6106         | 2046.53      |
|         | Test de Tukey | C           | B-C         | C            | B           | B-C          | A            | C            | A            |
| 21-22   | Media         | 5431.5<br>7 | 5818.6<br>7 | 6218.3       | 5959.0<br>3 | 5417.17      | 6320.1       | 6522.6       | 5811.5       |
|         | Test de Tukey | A-B         | A-B-C       | C-D          | B-C         | A            | C-D          | D            | A-B-C        |

Los tratamientos con cultivos de cobertura mostraron una disminución en el rendimiento estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) en comparación con aquellos sin cultivo de cobertura en promedio de todos los tratamientos, siendo la media general para cada grupo 7941 kg/ha y 9137 kg/ha, respectivamente. Este efecto negativo de los cultivos de cobertura sobre el rendimiento fue más notorio en los años más secos, siendo las campañas 15-16, 20-21 y 21-22 las que más lo evidenciaron.

Dentro de los tratamientos AFM, hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de rendimiento entre aquellos con y sin cultivo de cobertura, siendo la media 8521 kg/ha y 7313 kg/ha, respectivamente.

Dentro de los tratamientos SIM, no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos con o sin cultivo de cobertura tomando todas las campañas. Analizando por separada cada campaña, se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) solamente en las campañas 15-16, 16-17 y 20-21, pudiendo adjudicarse ese efecto a que las campañas 15-16 y la 20-21 son dos de las tres que tuvieron menos precipitaciones en el mes crítico para el cultivo (89 mm y 26 mm, respectivamente). Estos resultados sugieren que, en un año de valores de precipitaciones cercanos a la media histórica, el uso de cultivo de cobertura en un modelo intensificado sustentable no afectaría negativamente el rendimiento y sí brindaría todos los efectos positivos que resultan de esta práctica.

#### Correlación entre el rendimiento y los componentes numéricos principales

Se encontró correlación muy alta (Coeficiente de correlación de Pearson=0,97) entre rendimiento y número de granos, y no se encontró correlación entre rendimiento y peso de los granos. Este aumento de rendimiento del SIM con respecto al AFM, y de los tratamientos sin cultivo de cobertura con respecto a los con CC, podría deberse a un aumento en el número de granos y no al peso de estos.

#### Correlación entre el rendimiento y datos climáticos:

*Tabla 7: Coeficiente de correlación entre rendimiento y datos climáticos como promedio de todas las campañas y tratamientos.*

|                                                       | Rendimiento<br>(kg/ha) | Precipitación<br>acumulada<br>Oct a Feb<br>(mm) | Temperatura<br>promedio<br>Oct a Feb<br>(°C) | Radiación<br>acumulada<br>a Oct a<br>Feb<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) | Precipitación<br>acumulada<br>a mes<br>crítico<br>para el<br>cultivo<br>(mm) | Temperatura<br>promedio<br>mes<br>crítico<br>para el<br>cultivo<br>(°C) | Radiación<br>acumulada<br>a mes<br>crítico<br>para el<br>cultivo<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rendimiento<br/>(kg/ha)</b>                        | 1                      | 0,002                                           | 0,05                                         | 0,00                                                             | 0,00                                                                         | 0,012                                                                   | 0,0001                                                                                   |
| <b>Precipitación<br/>acumulada Oct a<br/>Feb (mm)</b> | 0,52                   | 1                                               | 0,005                                        | 0,00005                                                          | 0,011                                                                        | 0,007                                                                   | 0,01                                                                                     |

|                                                                 |       |       |       |       |       |      |        |
|-----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| <b>Temperatura promedio Oct a Feb (°C)</b>                      | -0,20 | 0,52  | 1     | 0,25  | 0,12  | 0,00 | 0,09   |
| <b>Radiación acumulada Oct a Feb (MJ/m2)</b>                    | -0,73 | -0,61 | 0,14  | 1     | 0,00  | 0,65 | 0,0003 |
| <b>Precipitación acumulada mes crítico para el cultivo (mm)</b> | 0,71  | 0,48  | -0,19 | -0,72 | 1     | 0,12 | 0,00   |
| <b>Temperatura promedio mes crítico para el cultivo (°C)</b>    | -0,15 | 0,52  | 0,94  | -0,05 | -0,19 | 1    | 0,27   |
| <b>Radiación acumulada mes crítico para el cultivo (MJ/m2)</b>  | -0,59 | -0,29 | 0,20  | 0,68  | -0,93 | 0,13 | 1      |

Se encontró correlación alta y positiva entre rendimiento y precipitaciones, especialmente precipitaciones centradas en la antesis del cultivo. También se encontró correlación alta y negativa entre precipitaciones y radiación (-0,93 en diciembre, el mes crítico para el cultivo, y -0,61 de octubre a febrero), lo que explica la correlación alta y negativa entre radiación y rendimiento. En cuanto a temperatura y rinde, la correlación fue baja y negativa (Tabla 7).

#### Correlación rinde y concentración de nutrientes en grano:

*Tabla 8: Coeficiente de correlación entre rendimiento y concentración de nutrientes en grano como promedio de todas las campañas y tratamientos.*

|                    | <b>Rendimiento</b> | <b>N<br/>(gr/kg)</b> | <b>P<br/>(gr/kg)</b> | <b>S<br/>(gr/kg)</b> | <b>Mg<br/>(gr/kg)</b> | <b>Ca<br/>(gr/kg)</b> | <b>K<br/>(gr/kg)</b> |
|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Rendimiento</b> | 1                  | 0,05                 | 0,67                 | 4,6e <sup>-4</sup>   | 0,19                  | 0,01                  | 0,01                 |
| <b>N (gr/kg)</b>   | -0,15              | 1                    | 2,6e <sup>-3</sup>   | 1,2e <sup>-3</sup>   | 2,0e <sup>-3</sup>    | 4,9e <sup>-3</sup>    | 0,01                 |
| <b>P (gr/kg)</b>   | 0,03               | 0,49                 | 1                    | 0,49                 | 0,06                  | 0,05                  | 0,61                 |
| <b>S (gr/kg)</b>   | -0,27              | 0,25                 | -0,05                | 1                    | 2,0e <sup>-9</sup>    | 0,15                  | 0,53                 |
| <b>Mg (gr/kg)</b>  | -0,10              | 0,24                 | 0,15                 | 0,44                 | 1                     | 0,59                  | 8,1e <sup>-5</sup>   |
| <b>Ca (gr/kg)</b>  | 0,21               | -0,22                | -0,15                | -0,11                | 0,04                  | 1                     | 3,6e <sup>-4</sup>   |
| <b>K (gr/kg)</b>   | 0,21               | -0,20                | -0,04                | 0,05                 | 0,30                  | 0,27                  | 1                    |

No hubo correlación significativa entre las concentraciones de los distintos nutrientes en grano. Tampoco entre rinde y concentración de nutrientes (Tabla 8), sin tener en cuenta las variables climáticas.

#### Análisis de Nutrientes en grano:

En cuanto a extracción de nutrientes en el grano, se compararon los valores obtenidos en este estudio con los valores de referencia obtenidos en los ensayos del IPNI:

*Tabla 9: Extracción media y desviación estándar de nutrientes en grano (kg de nutriente/tn de grano) medidos en los ensayos y valores de referencia utilizados habitualmente (Ciampitti y García, 2008).*

| <b>Nutriente</b> | <b>Valor IPNI (kg/tn de grano)</b> | <b>Valor Ensayos (kg/tn de grano) <math>\pm</math> Desvío estándar</b> |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nitrógeno</b> | 12,76                              | 12,88 $\pm$ 1,99                                                       |
| <b>Fósforo</b>   | 2,58                               | 2,86 $\pm$ 0,42                                                        |
| <b>Azufre</b>    | 1,17                               | 0,82 $\pm$ 0,28                                                        |
| <b>Potasio</b>   | 3,40                               | 3,96 $\pm$ 1,13                                                        |
| <b>Magnesio</b>  | 1,40                               | 1,23 $\pm$ 0,20                                                        |
| <b>Calcio</b>    | 0,18                               | 0,42 $\pm$ 0,49                                                        |

Nitrógeno (N): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de N en grano, entre sistemas de producción agronómica ni entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre campañas (Figura 6).

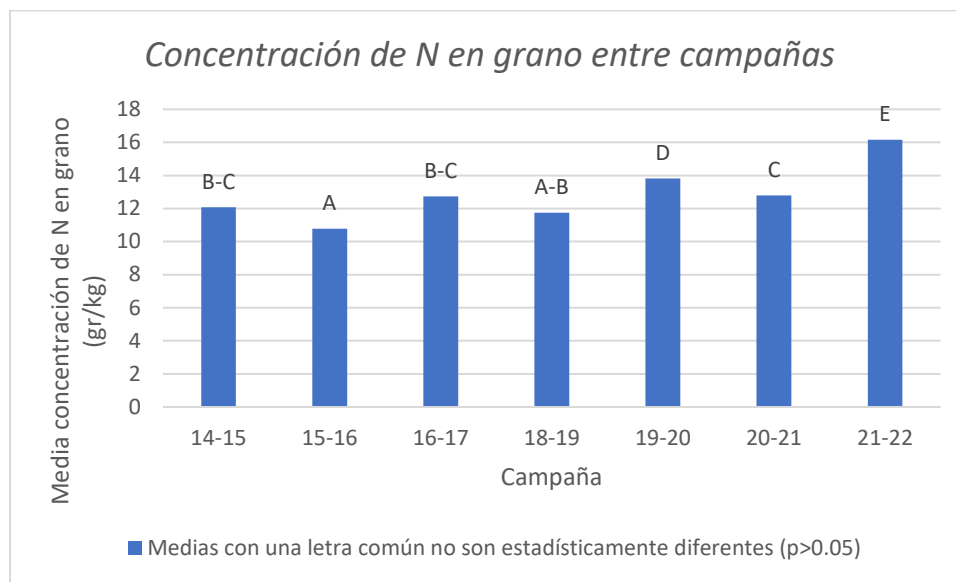


Figura 6: Concentración de N en grano (gr/kg) como promedio de todos los tratamientos por campaña. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ).

El promedio de concentración de N en la cosecha en todos los ensayos fue de 12,88 kg N/tn de grano, es decir 110,62 kg N/ha exportados en la cosecha para el rendimiento promedio (8539,7 kg/ha), con un desvío estándar de 1,99 kg N/tn de grano. Este valor es similar al estimado por las tablas del IPNI, que para dicho rendimiento el valor estimado es de 12,76 kg N/tn de grano.

Se encontró una correlación, aunque baja (0,23), entre concentración de N en grano y precipitaciones en diciembre, y una correlación negativa también baja (-0,36) entre N y precipitaciones de octubre a febrero. (Anexo 1).

Con respecto a la radiación solar, hubo correlación negativa baja (-0,31) entre dicho factor en el mes crítico para el cultivo y N en grano, a diferencia de la radiación en todo el ciclo, que no hubo correlación significativa (Anexo 2).

En cuanto a temperatura, hubo correlación negativa baja de la misma con N en grano, tanto para el mes crítico para el cultivo como para todo el ciclo del cultivo (-0,35 y -0,33, respectivamente) (Anexo 3). Esto indicaría que no hubo

un efecto consistente entre precipitación, radiación solar ni temperatura con la concentración de N en grano.

Fósforo (P): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de P en grano, entre sistemas de producción agronómica ni entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre campañas (Figura 7).

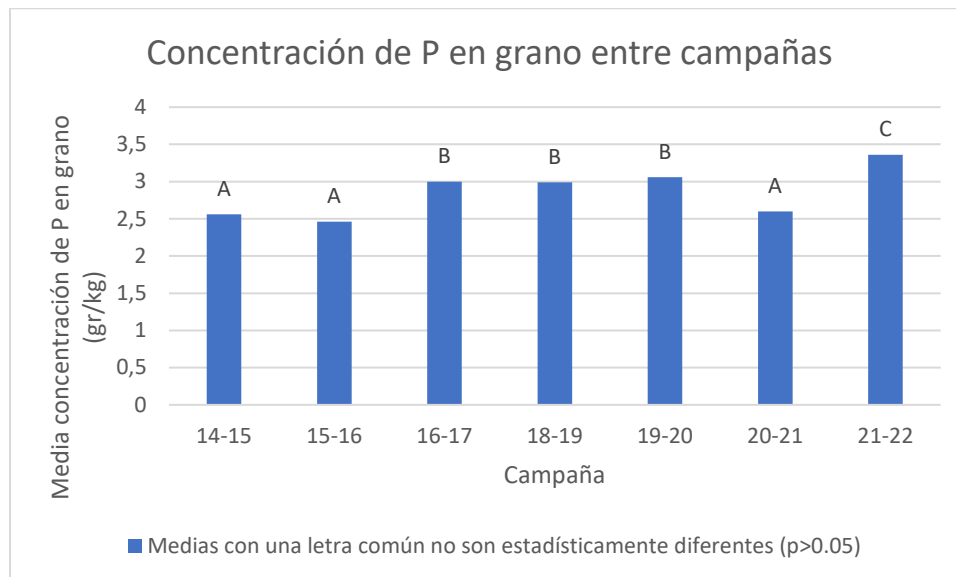


Figura 7: Concentración de P en grano (gr/kg) como promedio de todos los tratamientos por campaña. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ).

El promedio de concentración de P en la cosecha en todos los ensayos fue de 2,86 kg P/tn de grano, es decir 24,48 kg P/ha exportados en la cosecha para el rendimiento promedio (8539,7 kg/ha), con un desvío estándar de 0,42 kg P/tn de grano. Este valor es similar al estimado por las tablas del IPNI, que para dicho rendimiento el valor estimado es de 2,58 kg P/tn de grano.

Azufre (S): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de S en grano, entre sistemas de producción agronómica ni entre tratamientos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre campañas (Figura 8).

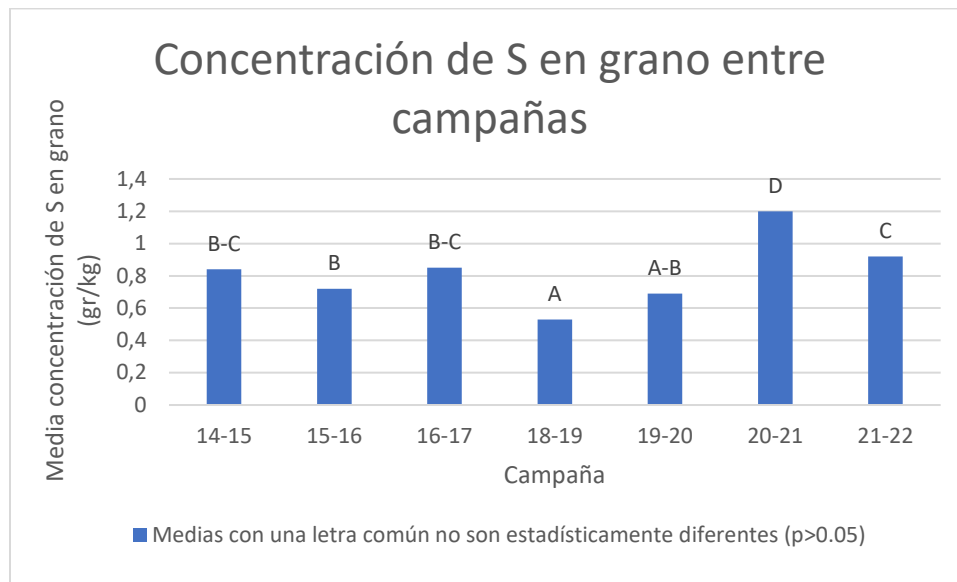


Figura 8: Concentración de S en grano (gr/kg) como promedio de todos los tratamientos por campaña. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ).

El promedio de concentración de S en la cosecha en todos los ensayos fue de 0,82 kg S/tn de grano, es decir 6,8 kg S/ha exportados en la cosecha para el rendimiento promedio (8539,7 kg/ha), con un desvío estándar de 0,28 kg S/tn de grano. Este valor tiene una diferencia considerable con respecto al estimado por las tablas del IPNI, que para dicho rendimiento el valor estimado es de 1,17 kg S/tn de grano, aunque el desvío estándar es elevado.

Potasio (K): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de K en grano, entre sistemas de producción agronómica ni entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre campañas (Figura 9).

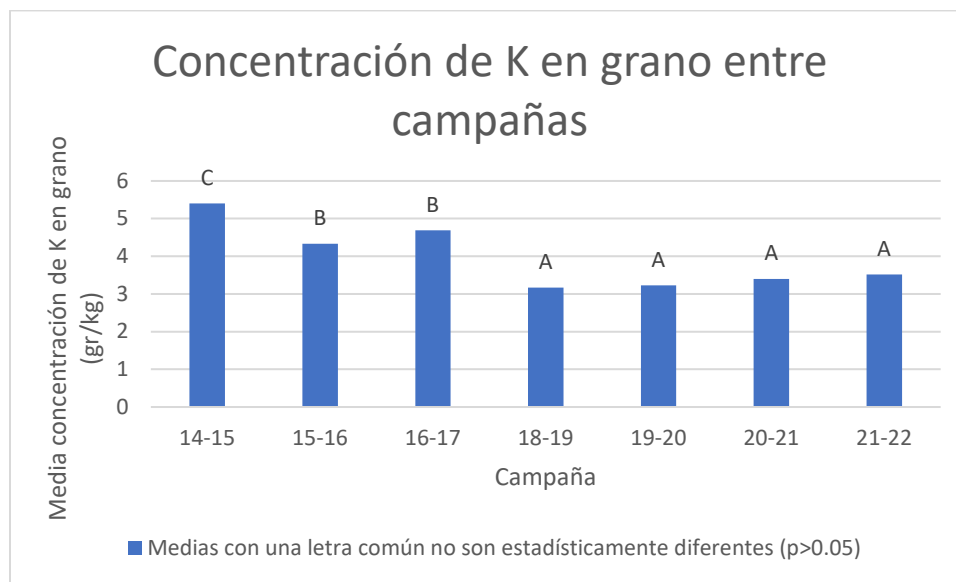


Figura 9: Concentración de K en grano (gr/kg) como promedio de todos los tratamientos por campaña. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ).

El promedio de concentración de K en la cosecha en todos los ensayos fue de 3,96 kg K/tn de grano, es decir 34,54 kg K/ha exportados en la cosecha para el rendimiento promedio (8539,7 kg/ha), con un desvío estándar de 1,13 kg K/tn de grano. Este valor tiene una diferencia considerable con respecto al estimado por las tablas del IPNI, que para dicho rendimiento el valor estimado es de 3,40 kg K/tn de grano, aunque el desvío estándar es elevado.

No se encontró correlación significativa entre contenido de K y temperatura o radiación solar, pero sí (Coeficiente de correlación de Pearson=0,52) con precipitaciones en el ciclo del cultivo. Esto podría deberse a la mayor absorción de K por parte de las plantas en condiciones de buena humedad del suelo.

Magnesio (Mg): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de Mg en grano, entre sistemas de producción agronómica ni entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre campañas (Figura 10).

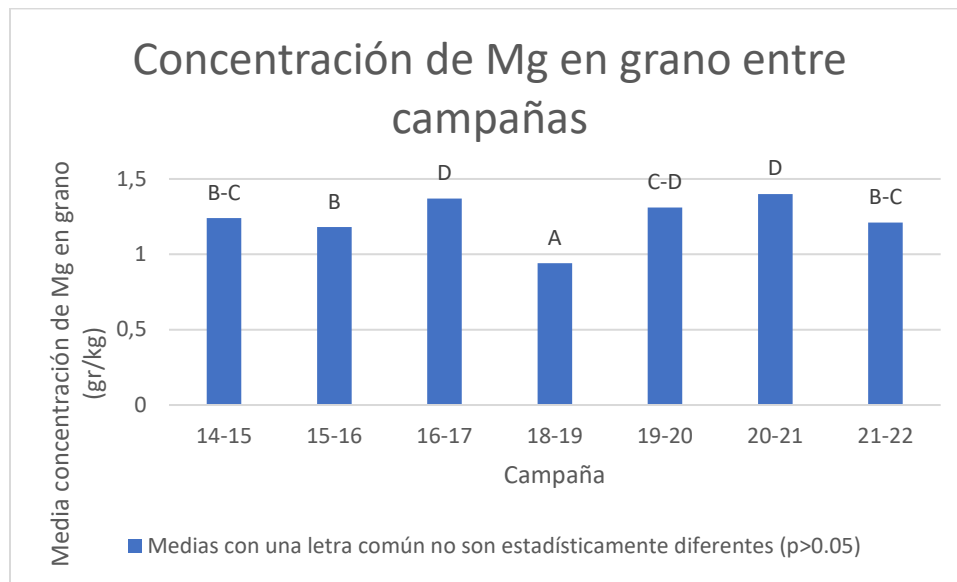


Figura 10: Concentración de Mg en grano (gr/kg) como promedio de todos los tratamientos por campaña. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ).

El promedio de concentración de Mg en la cosecha en todos los ensayos fue de 1,23 kg Mg/tn de grano, es decir 10,48 kg Mg/ha exportados en la cosecha para el rendimiento promedio (8539,7 kg/ha), con un desvío estándar de 0,20 kg Mg/tn de grano. Este valor es similar al estimado por las tablas del IPNI, que para dicho rendimiento el valor estimado es de 1,40 kg Mg/tn de grano.

Calcio (Ca): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de Ca en grano, entre sistemas de producción agronómica ni entre tratamientos ( $p > 0,05$ ). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre campañas (Figura 11).

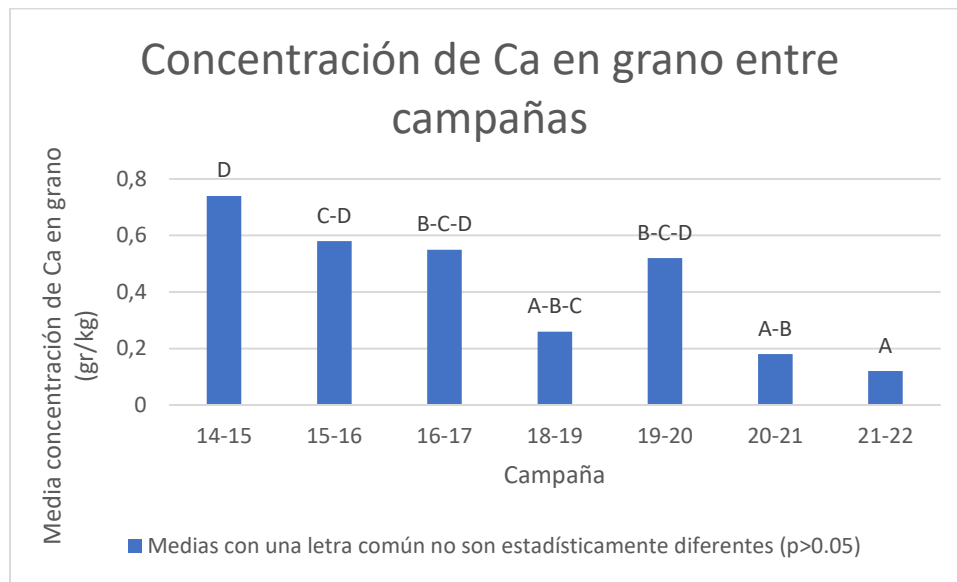


Figura 11: Concentración de Ca en grano (gr/kg) como promedio de todos los tratamientos por campaña. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ).

El promedio de concentración de Ca en la cosecha en todos los ensayos fue de 0,42 kg Ca/tn de grano, es decir 3,90 kg Ca/ha exportados en la cosecha para el rendimiento promedio (8539,7 kg/ha), con un desvío estándar de 0,49 kg Ca/tn de grano. Este valor tiene una diferencia considerable con respecto al estimado por las tablas del IPNI, que para dicho rendimiento el valor estimado es de 0,18 kg Ca/tn de grano. Sin embargo, la gran variabilidad encontrada en el ensayo resta significación a esa diferencia.

Los resultados obtenidos rechazan parte de la segunda hipótesis planteada en este trabajo, ya que el sistema intensificado sustentable no aumentó en forma consistente la concentración en grano de los nutrientes aplicados en mayor dosis con los fertilizantes (N, P y S). En contrapartida y tal cómo se planteó, el SIM no modificó la concentración de K, Mg y Ca.

#### Rendimiento y extracción de nutrientes:

Dado que hubo diferencia en el rendimiento, pero no la hubo en la concentración de nutrientes entre tratamientos, se encontró relación entre

extracción de nutrientes (kg/ha) y rendimiento del cultivo (Gráfico 9). A mayor rendimiento con igual concentración de nutrientes en grano, la extracción de nutrientes es mayor. Los nutrientes que más ajustaron a una relación lineal fueron N, P y Mg. En cambio, K, S y Ca mostraron mayor dispersión, lo que coincide con las diferencias en los valores de extracción de estos tres nutrientes en los ensayos en comparación con las tablas del IPNI.

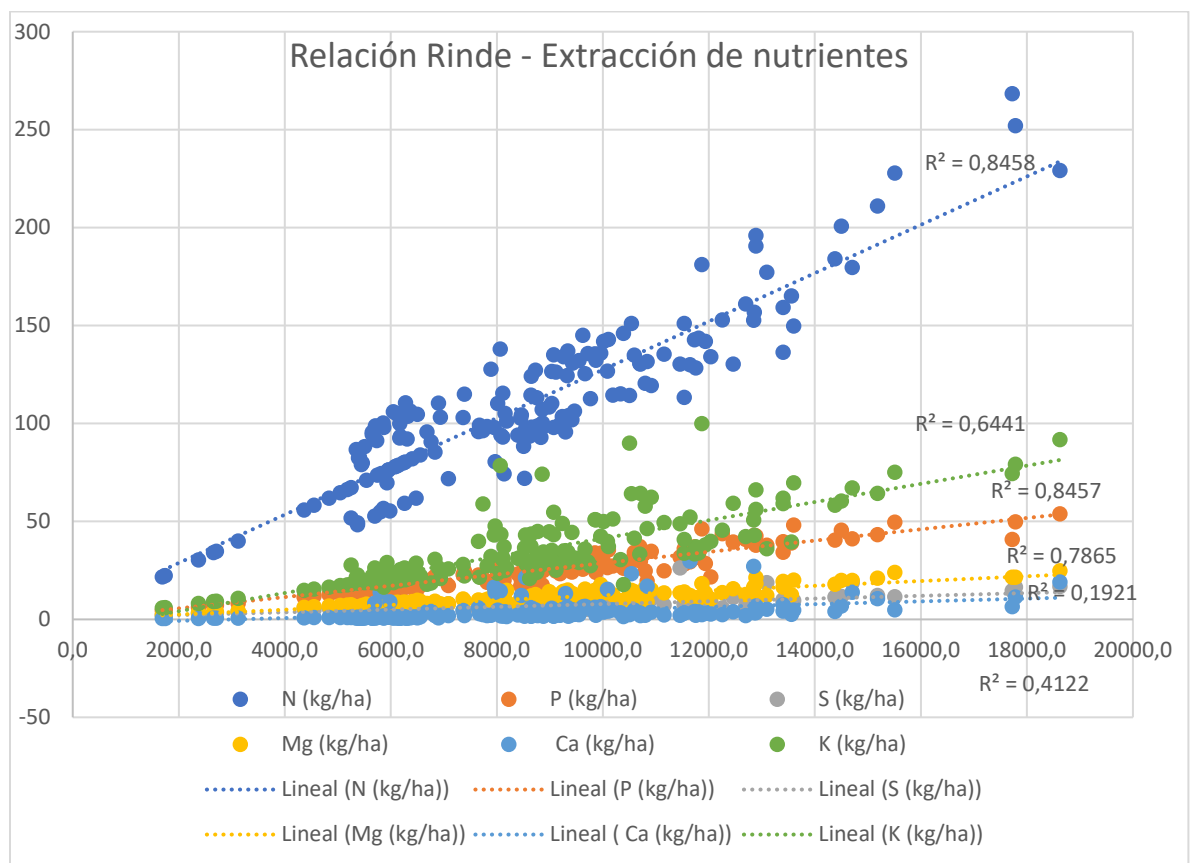


Gráfico 9: Análisis de correlación entre rendimiento y extracción de nutrientes como promedio de todos los tratamientos y campañas.

## **Conclusiones:**

El sistema intensificado aumentó en forma consistente el rendimiento de maíz como promedio de todas las campañas, pese a que este comportamiento no es igual para todas las campañas analizadas por separado, principalmente por influencia de factores climáticos. Este aumento en los rendimientos se vio reflejado en un mayor margen bruto para el sistema SIM como promedio de todas las campañas, lo que sugiere que el sistema intensificado sustentable es una alternativa económicamente viable y productivamente superadora al sistema actual del productor.

El sistema intensificado no modificó la concentración de nutrientes en grano, comparado con el sistema tradicional. Al aumentar el rendimiento, pero no la concentración, se encontró relación entre rendimiento y extracción de nutrientes por parte del cultivo.

Los resultados aquí obtenidos en cuanto a exportación de nutrientes en grano son coincidentes o difieren levemente con los valores obtenidos de las tablas genéricas de IPNI. Los valores fueron similares para N, P y Mg, mientras que S, Ca y K mostraron algunas diferencias. La gran variabilidad de concentración encontrada entre campañas sugiere que, al evaluar la exportación de nutrientes del sistema productivo, sea conveniente usar un rango de concentraciones más que un valor fijo.

Efecto de diferentes sistemas de producción agronómica sobre el rendimiento y la composición química de granos de maíz

Santiago Bunge

## Anexos:

### Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

|                              | Precipitaciones de Oct a F.. | Precipitaciones en Diciemb.. | N (gr/kg) | P (gr/kg) | S (gr/kg) | Mg (gr/Kg) | Ca (gr/kg) | K (gr/kg) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Precipitaciones de Oct a F.. | 1.00                         | 8.8E-10                      | 1.2E-05   | 0.30      | 6.1E-05   | 0.03       | 5.5E-04    | 8.8E-11   |
| Precipitaciones en Diciemb.. | 0.48                         | 1.00                         | 0.01      | 4.6E-08   | 6.2E-06   | 0.89       | 0.01       | 0.02      |
| N (gr/kg)                    | -0.36                        | 0.23                         | 1.00      | 1.3E-03   | 0.01      | 2.6E-06    | 0.37       | 0.15      |
| P (gr/kg)                    | -0.09                        | 0.44                         | 0.26      | 1.00      | 0.08      | 0.02       | 0.64       | 0.65      |
| S (gr/kg)                    | -0.33                        | -0.37                        | 0.21      | -0.14     | 1.00      | 3.6E-09    | 0.35       | 0.43      |
| Mg (gr/Kg)                   | -0.18                        | -0.01                        | 0.38      | 0.19      | 0.47      | 1.00       | 0.74       | 3.2E-04   |
| Ca (gr/kg)                   | 0.28                         | 0.22                         | -0.07     | -0.04     | -0.08     | 0.03       | 1.00       | 3.1E-03   |
| K (gr/kg)                    | 0.51                         | 0.19                         | -0.12     | 0.04      | 0.07      | 0.29       | 0.24       | 1.00      |

*Anexo 1: Análisis de correlación entre precipitaciones y contenido de nutrientes en grano.*

### Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

|                              | Radiación solar de Oct a F.. | Radiación solar en Diciemb.. | N (gr/kg) | P (gr/kg) | S (gr/kg) | Mg (gr/Kg) | Ca (gr/kg) | K (gr/kg) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Radiación solar de Oct a F.. | 1.00                         | 0.00                         | 0.81      | 4.6E-06   | 2.0E-04   | 0.14       | 0.34       | 0.06      |
| Radiación solar en Diciemb.. | 0.68                         | 1.00                         | 1.6E-04   | 1.9E-11   | 7.5E-06   | 0.78       | 0.11       | 0.78      |
| N (gr/kg)                    | 0.02                         | -0.31                        | 1.00      | 1.3E-03   | 0.01      | 2.6E-06    | 0.37       | 0.15      |
| P (gr/kg)                    | -0.37                        | -0.52                        | 0.26      | 1.00      | 0.08      | 0.02       | 0.64       | 0.65      |
| S (gr/kg)                    | 0.31                         | 0.36                         | 0.21      | -0.14     | 1.00      | 3.6E-09    | 0.35       | 0.43      |
| Mg (gr/Kg)                   | 0.12                         | -0.02                        | 0.38      | 0.19      | 0.47      | 1.00       | 0.74       | 3.2E-04   |
| Ca (gr/kg)                   | -0.08                        | -0.13                        | -0.07     | -0.04     | -0.08     | 0.03       | 1.00       | 3.1E-03   |
| K (gr/kg)                    | -0.16                        | 0.02                         | -0.12     | 0.04      | 0.07      | 0.29       | 0.24       | 1.00      |

*Anexo 2: Análisis de correlación entre radiación solar y contenido de nutrientes en grano.*

### Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

|                              | Temperatura promedio de Oc.. | Temperatura promedio en Di.. | N (gr/kg) | P (gr/kg) | S (gr/kg) | Mg (gr/Kg) | Ca (gr/kg) | K (gr/kg) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Temperatura promedio de Oc.. | 1.00                         | 0.00                         | 5.6E-05   | 3.3E-07   | 0.67      | 0.09       | 0.02       | 1.6E-04   |
| Temperatura promedio en Di.. | 0.94                         | 1.00                         | 2.3E-05   | 1.1E-04   | 0.96      | 0.23       | 0.14       | 0.02      |
| N (gr/kg)                    | -0.33                        | -0.35                        | 1.00      | 1.3E-03   | 0.01      | 2.6E-06    | 0.37       | 0.15      |
| P (gr/kg)                    | -0.41                        | -0.32                        | 0.26      | 1.00      | 0.08      | 0.02       | 0.64       | 0.65      |
| S (gr/kg)                    | 0.04                         | 4.7E-03                      | 0.21      | -0.14     | 1.00      | 3.6E-09    | 0.35       | 0.43      |
| Mg (gr/Kg)                   | 0.14                         | 0.10                         | 0.38      | 0.19      | 0.47      | 1.00       | 0.74       | 3.2E-04   |
| Ca (gr/kg)                   | 0.20                         | 0.12                         | -0.07     | -0.04     | -0.08     | 0.03       | 1.00       | 3.1E-03   |
| K (gr/kg)                    | 0.31                         | 0.20                         | -0.12     | 0.04      | 0.07      | 0.29       | 0.24       | 1.00      |

*Anexo 3: Análisis de correlación entre temperatura media y contenido de nutrientes en grano.*

## **Bibliografía:**

Barrios M. y Basso C. (2018). *Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz*. Bioagro vol.30 no.1 Barquisimeto abr. 2018. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100004&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100004&script=sci_arttext)

Caviglia, O.P. y Andrade F.H. (2010). *Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources*. The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Octavio-Caviglia-2/publication/228489685\\_Sustainable\\_intensification\\_of\\_agriculture\\_in\\_the\\_Argentinean\\_pampas\\_Capture\\_and\\_use\\_efficiency\\_of\\_environmental\\_resources/links/563b44e008ae337ef2999f6d/Sustainable-intensification-of-agriculture-in-the-Argentinean-pampas-Capture-and-use-efficiency-of-environmental-resources.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Octavio-Caviglia-2/publication/228489685_Sustainable_intensification_of_agriculture_in_the_Argentinean_pampas_Capture_and_use_efficiency_of_environmental_resources/links/563b44e008ae337ef2999f6d/Sustainable-intensification-of-agriculture-in-the-Argentinean-pampas-Capture-and-use-efficiency-of-environmental-resources.pdf)

Ciampitti, I.A. y García, F.O. (2008). *Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios*. I. Cereales, oleaginosos e industriales. Archivo Agronómico # 11. International Plant Nutrition Institute (IPNI).

Cruzate G.A. y Casas R.R. (2012). *Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina*. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. Recuperado de: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2012/06/7.pdf>

Cruzate G.A. y Casas R.R. (2017). *Balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina en la campaña 2015/16*. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/58CB2D937A72EAC60325821900448FF9/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/58CB2D937A72EAC60325821900448FF9/$FILE/14.pdf)

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: <http://www.infostat.com.ar>

FAO (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible 2: Hambre cero*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Asamblea General de las Naciones Unidas, Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de <http://www.fao.org/>  
Fernandez, E.O., Gavotti R.E. , Marengo E. (2017). *Diversidad y manejo de malezas mediante cultivos de cobertura y barbecho químico invernal en la región centro de Córdoba*. Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Agropecuarias. Recuperado de: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6000/Fernandez%2C%20O.%20E.%3B%20Gavotti%2C%20R.%20E.%3B%20Marengo%2C%20E.%20-%20Diversidad%20y%20manejo%20de%20malezas%20mediante%20cultivos%20de....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Fillat F.A., Cano P., Cabrini S. M. (2022). *Análisis económico de alternativas de rotaciones agrícolas*. INTA Pergamino.

Francis, C.A. , Flora C.B. y King L.D. (1990). *Legumes and crop rotations*. Sustainable agriculture in temperate zones. Pp 178-204. Wiley, NY.

García G.J. (2020). *Consideraciones básicas sobre la agricultura sostenible*. Acta Académica, 44(Mayo), 115-135. Recuperado a partir de <http://revista.uaca.ac.cr/index.php/actas/article/view/291>

Grasso A. (2021). *La nutrición deficiente genera grandes brechas en maíz*. Fertilizar AC. Recuperado de: <https://fertilizar.org.ar/la-nutricion-deficiente-genera-grandes-brechas-en-maiz/>

INTA(2022). Agroclimatological network database, INTA. Recuperado de <http://siga.inta.gob.ar/#/data>

ONU (2017). *La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030*. Perspectivas de la Población Mundial 2017, Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de la ONU. Recuperado de: <https://www.un.org/es/desa/world-population-prospects-2017#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20actual%20de,dado%20a%20conocer%20este%20mi%C3%A9rcoles>.

Paolilli, M.C., Cabrini, S.M., Fillat, F.A. y Pagliaricci, L.O. (2021). *Evolución de la cadena de maíz en Argentina*. Indicadores económicos e informes técnicos. Informes técnicos / EEA Pergamino. Recuperado de: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/10167>

Schlegel, A. J., y Havlin, J. L. (2013). *Corn Response to Long-Term Nitrogen and Phosphorus Fertilization*. Jpa, 8(2), 181. Recuperado de: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.2134/jpa1995.0181>

Smith, R.G. , Gross, K.L. y Robertson, G.P. (2008). *Effects of crop diversity on agroecosystem function: Crop yield response*. Ecosystems 11: 355-366. Recuperado de: <https://bases.biblioteca.uca.edu.ar:2452/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=56dd06ad-3beb-4017-ac50-38a443d542f1%40redis>

Valdettaro M. (2020). *Uso de nutrientes en secuencias de cultivos con niveles de intensificación contrastantes*. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.