

INFORME FINAL DE RESULTADOS

Nombre del proyecto: MÉTODOS BASADOS EN IMÁGENES COMO ALTERNATIVA PARA LA EVALUACIÓN DE MALEZA EN CULTIVOS DE TRIGO

Fecha del inicio del proyecto: 1 de enero de 2024

Fecha de terminación del proyecto: 31 de octubre de 2024

Responsable del Proyecto: Dr. Helio Adán García Mendivil

1. Colaboradores del Proyecto

(Hacer una lista en el cuadro de las personas que participaron en el proyecto y las actividades que realizaron)

Nombre / Correo electrónico // Institución	Actividades realizadas por cada participante
Dr. Alberto Borbón Gracia / borbon.alberto@inifap.gob.mx / INIFAP	Apoyo en manejo agronómico.
Mtro. Isidoro Padilla Valenzuela / padilla.isidoro@inifap.gob.mx / INIFAP	Acompañamiento técnico.
Dr. Luis Miguel Tamayo / tamayo.luismiguel@inifa.gob.mx / INIFAP	Acompañamiento técnico.
Dr. Marco Antonio Gutiérrez Coronado / mgutierrez@itson.edu.mx / ITSON	Acompañamiento técnico.

2. Introducción

La evaluación precisa y eficiente de la presencia y distribución de maleza en los cultivos es fundamental para una gestión agrícola efectiva. Los métodos tradicionales de evaluación de maleza, como el muestreo manual y la estimación visual de cobertura, presentan desafíos que limitan su efectividad y eficiencia (Figura 1A). En primer lugar, estos métodos requieren un considerable tiempo de trabajo bajo el sol y esfuerzo físico, lo que puede ser agotador y poco práctico, especialmente en grandes áreas de cultivo. Este aspecto puede limitar la capacidad de los agricultores y agrónomos para llevar a cabo evaluaciones frecuentes y oportunas, lo que resulta en un monitoreo insuficiente de la maleza y una toma de decisiones poco informada. Además, estos métodos a menudo implican la estimación subjetiva de parámetros, como el porcentaje de cobertura, lo que puede llevar a discrepancias y falta de precisión en los resultados. La evaluación visual puede variar según la experiencia y percepción del evaluador, lo que dificulta la obtención de datos objetivos y consistentes. Estas limitaciones pueden generar una gestión ineficiente de la maleza, lo que a su vez puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos y aumentar los costos de producción.

ATO

Helio García

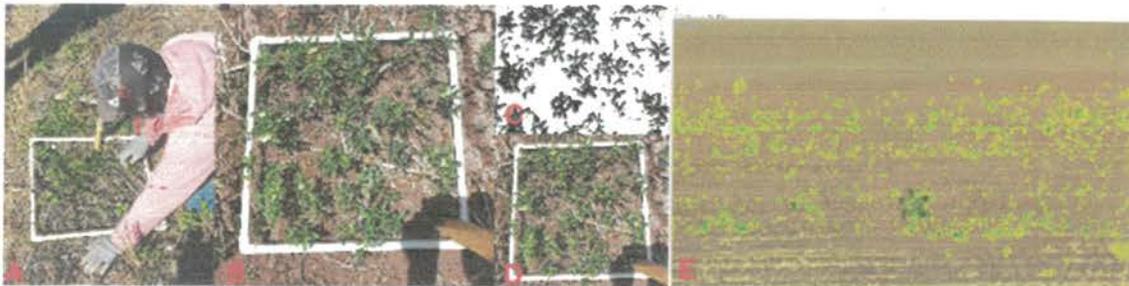


Figura 1. A: Método tradicional de conteo de maleza en campo. B: Fotografía de maleza a nivel de suelo. C: Fotografía de maleza a nivel de suelo procesada para la determinación de porcentaje de cobertura. D: Fotografía de maleza a nivel de suelo utilizada para conteo de maleza mediante software. E: Ortofoto resultado del procesamiento de imágenes adquiridas por vehículos aéreos no tripulados; se aprecia cobertura foliar detectada automáticamente mediante software.

El uso de métodos basados en imágenes representa una alternativa prometedora para la evaluación de maleza en los cultivos (Figura 1B-1E). Estos métodos ofrecen varias ventajas significativas en comparación con los enfoques tradicionales. En primer lugar, el uso de imágenes permite un ahorro considerable de tiempo y esfuerzo físico, ya que no se requiere una recolección manual intensiva de datos. Esto resulta en una mayor eficiencia y la posibilidad de realizar evaluaciones más frecuentes y sistemáticas en grandes áreas de cultivo. Además, estos métodos ofrecen la posibilidad de obtener datos objetivos y cuantitativos sobre la presencia y distribución de la maleza. Mediante el procesamiento de imágenes y el uso de algoritmos y técnicas de análisis, es posible cuantificar con precisión parámetros como la cobertura de maleza y la identificación de especies específicas. Esto proporciona información más precisa y confiable para la toma de decisiones agrícolas, permitiendo una gestión más efectiva de la maleza y una optimización de los recursos disponibles.

La sustitución de los métodos tradicionales de evaluación de maleza por métodos basados en imágenes ofrece una oportunidad para mejorar la eficiencia y precisión de la evaluación de maleza en los cultivos. Al reducir el tiempo y esfuerzo requeridos, así como proporcionar datos objetivos y cuantitativos, estos métodos tienen el potencial de optimizar la gestión agrícola, minimizar los costos de producción y mejorar la productividad de los cultivos. Por lo tanto, es fundamental investigar la viabilidad de la aplicación de estos métodos en el contexto específico de nuestra región. El objetivo de la presente investigación es comparar la eficacia de los métodos tradicionales de evaluación de maleza con métodos basados en imágenes.

3. Objetivos

Objetivo Planteado	Comentarios
Comparar la eficacia de los métodos tradicionales de evaluación de maleza con métodos basados en imágenes, como fotografías a nivel de suelo y desde vehículos aéreos no tripulados	Se pretende comparar el tiempo, costo y precisión de los métodos tradicionales de evaluación de maleza con los métodos basados en imágenes.

Auto

HG

4. Avances de Productos-Entregables (alimentar con fotografías)

Producto /Entregable	Comentarios
Informe de resultados	

5. Descripción de las actividades o avances del proyecto (alimentar con fotografías)

La comparación entre los dos métodos de evaluación se realizó un experimento de control de maleza. El experimento consistió en cinco tratamientos herbicidas y un testigo sin aplicación. Los tratamientos consistieron en herbicidas comerciales recomendados para maleza de hoja ancha en mezcla con un herbicida recomendado para maleza de hoja angosta.

El experimento se estableció en el Sitio Experimental Valle del Mayo (INIFAP; 27° 0'48.93"N 109°30'4.94"O) durante la temporada 2023-2024 en un cultivo de trigo variedad Noroeste sembrado en seco el 6 de diciembre de 2023, con una densidad de siembra de 80 kg/ha, y un área de 0.69 ha (76 surcos con una separación de 0.8 m y 115 metros de largo). Se fertilizó según la fórmula 241-52-00, aplicando en pre-siembra 103-52-00 y 138-00-00 antes del primer riego de auxilio. Se regó según las recomendaciones de Figueroa-López *et al.* 2011, el 10 de diciembre de 2023, el 26 de enero y 27 de febrero de 2024.

Para la comparación entre los distintos tratamientos herbicidas se utilizó un diseño en bloques completamente al azar de 6 tratamientos con 12 repeticiones. La parcela experimental consistió en 76 surcos con una separación de 0.8 m y 115 metros de largo (0.69 ha), la cual se dividió en 72 subparcelas de 10 surcos de 7.25 metros de largo (58 m²). Las subparcelas se organizaron en una cuadrícula de 12 subparcelas a lo largo del surco y 6 subparcelas a lo ancho. La parcela se dividió en 12 bloques, cada uno con 6 subparcelas (3 a lo largo del surco y 2 a lo ancho). Se utilizaron seis tratamientos diferentes (T1, T2, T3, T4, TS, TR). Cada tratamiento se asignó aleatoriamente dentro de cada uno de los 12 bloques, asegurando que cada tratamiento estuviera representado en cada bloque (Figura 2).

Auto

HG

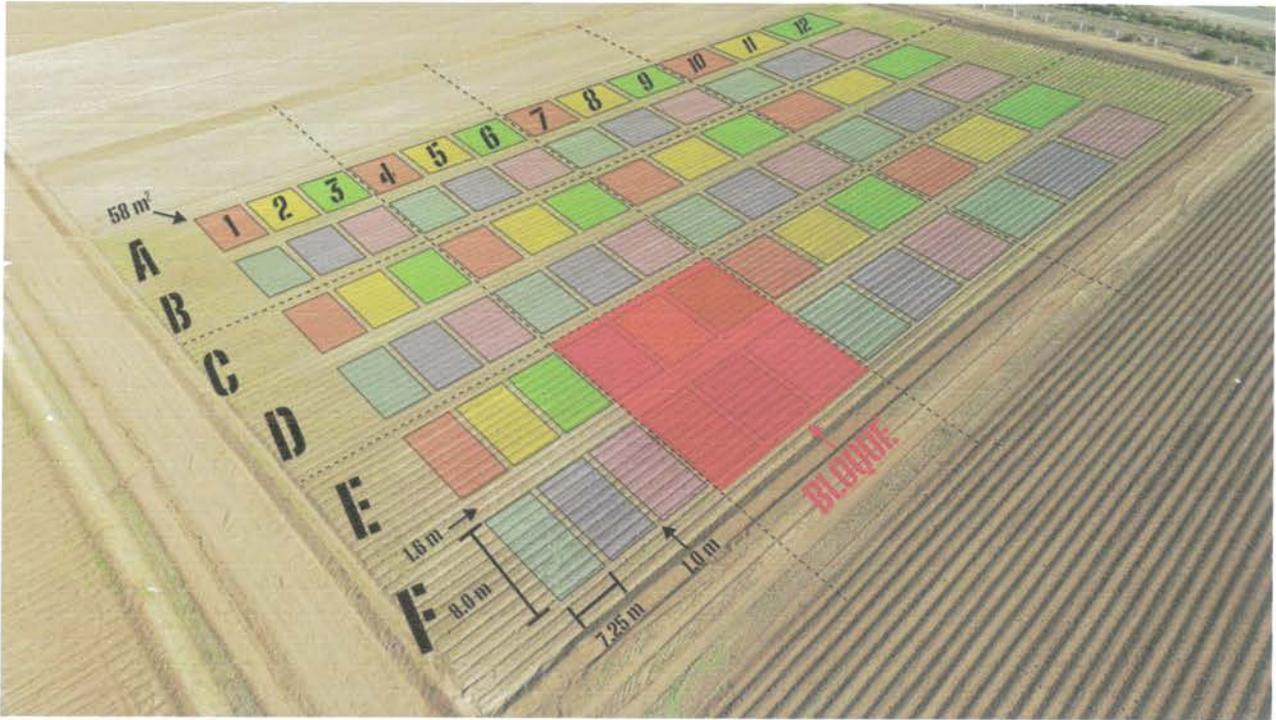


Figura 2. Distribución experimental para evaluación de herbicidas en trigo variedad Noroeste en el Sitio Experimental Valle del Mayo en el ciclo 2023-2024.

Los tratamientos y dosis utilizadas se describen en el Cuadro 1. La aplicación se realizó el 24 y 25 de enero de 2024 y con una mochila de aspersion con un volumen de agua de aproximadamente 200 L/ha. Para la evaluación del nivel de infestación de maleza colocó un cuadrante de 0.25 m² en el centro de cada subparcela, dentro de la cual se realizaron las evaluaciones del efecto de los tratamientos sobre la maleza presente y se registró el tiempo necesario para dichas evaluaciones. Además, se tomaron fotografías a nivel de suelo y aéreas utilizando un vehículo aéreo no tripulado (VANT) DJI Mini 3 Pro. Para el cálculo del rendimiento de grano de trigo se cosecharon 2.5 m lineales del surco central de cada subparcela (2 m²).

Cuadro 1. Tratamientos y dosis de herbicidas evaluados en trigo variedad Noroeste en el Sitio Experimental Valle del Mayo en el ciclo 2023-2024.

Tratamiento	Dosis
Testigo sin aplicación (TS)	-
Across + Dicamvel + Full-Mina (TR)	0.5 l/ha + 0.5 l/ha + 1.0 l/ha
Across + Pixxaro (T1)	0.5 l/ha + 0.5 l/ha
Across + Peak turbo (T2)	0.5 l/ha + 300 g/ha
Across + Condraz (T3)	0.5 l/ha + 150 g/ha
Across + Accurate (T4)	0.5 l/ha + 30 g/ha

Auto

HG

Se realizó una evaluación previa a la aplicación herbicida y a los 15, 21 y 29 días después de la aplicación (DDA). Se evaluaron las variables de número de plantas por metro cuadrado, porcentaje de cobertura, altura mínima y altura máxima. Para dicha evaluación se utilizaron parcelas permanentes en las que se evaluó un área definida con ayuda un cuadrante de 50x50 cm (Figura 3).



Figura 3. Estudiante realizando conteo de plantas de maleza.

Para medir la altura máxima se utilizó una regla y se tomó como dato la distancia entre el suelo y el punto de mayor elevación de la planta más alta de cada especie encontrada dentro del área de muestreo (Figura 4).



Figura 4. Estudiantes recolectando datos de altura máxima de plantas de maleza.

Para evaluar la fitotoxicidad, durante los muestreos de los 15 y 21 DDA, se utilizó el medidor de clorofila SPAD 502 Plus® modelo 2900P de Minolta, para determinar si la aplicación de los distintos tratamientos tuvo un efecto sobre las Unidades de Clorofila (UC) del cultivo de trigo (Figura 5).

Anto

H4



Figura 5. Medidor de clorofila SPAD 502 Plus® modelo 2900P de Minolta.

Se tomaron fotografías a nivel de suelo y desde un VANT de las parcelas en cada una de las fechas de evaluación. Las imágenes fueron utilizadas para contar el número de plantas por medio de métodos informáticos utilizando la aplicación DotDotGoose versión 1.6.0 (Ersts, P.J. [Internet]; Figura 6) y se registró el tiempo utilizado para dichos conteos.

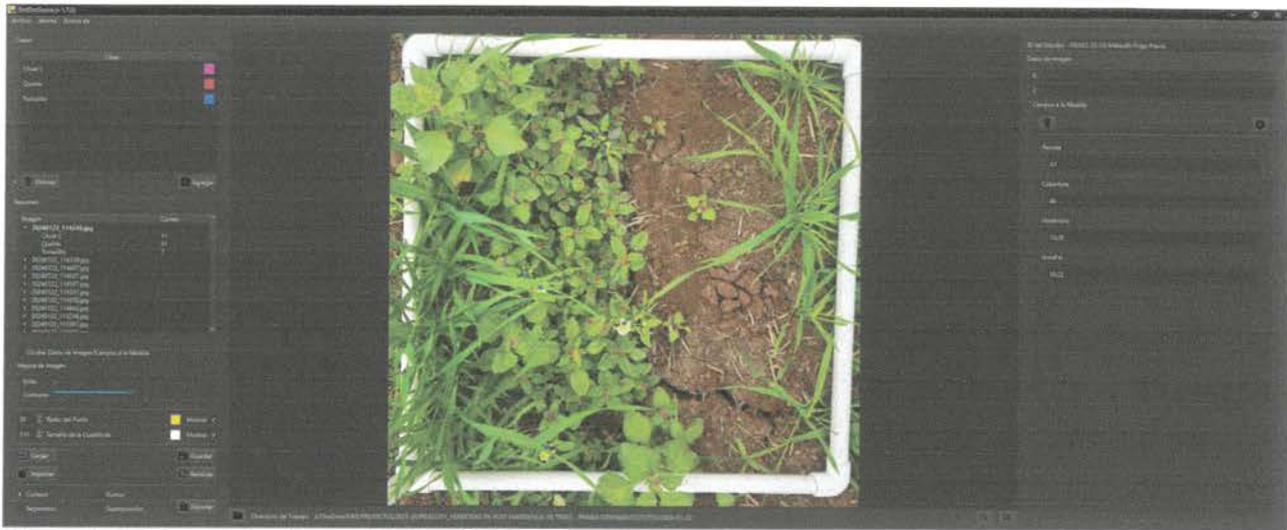


Figura 6. Captura del software DotDotGoose.

El análisis estadístico se realizó utilizando R versión 4.3.1 (R Foundation for Statistical Computing). Para determinar la eficacia del método basado en imágenes, los datos de número de plantas fueron sometidos a un análisis de varianza y a un análisis de correlación ($P < 0.05$), y el tiempo requerido para el conteo a una prueba de T de Student ($P < 0.05$). Para la comparación entre los tratamientos herbicidas se analizaron los datos de número de plantas, altura máxima, contenido de clorofila y rendimiento. Los datos que presentaron normalidad fueron sometidos a un análisis de varianza y, en caso donde se encontró diferencia significativa, la separación de medias mediante la prueba de Tukey. En los casos que no se presentó normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk, se realizó una transformación de potencia de Box-Cox; en los casos en que la transformación no consiguió la normalidad, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Donde hubo diferencia significativa, las medianas se separaron utilizando la prueba de Dunn ($P < 0.05$).

ATO

HG



Se adjunta evidencia fotográfica de las actividades realizadas (Figura 7 a Figura 59).



Figura 7. Siembra en seco; 6 de diciembre de 2023.



Figura 8. Primer riego; 10 de diciembre de 2023.

HC4

ATO
7



Figura 9. Vista aérea de la parcela experimental; 27 de diciembre de 2023.



Figura 10. Marcado de calles; 3 de enero de 2024.

H4

ATO
8



Figura 11. Vista aérea de la parcela experimental; 5 de enero de 2024.



Figura 12. Marcado de subparcelas experimentales y de muestreo; 5 de enero de 2024.

HE

ATO



Figura 13. Vista aérea de la parcela experimental; 10 de enero de 2023.



Figura 14. Vista aérea de la parcela experimental; 15 de enero de 2024.

HG

Auto



Figura 15. Vista aérea de la parcela experimental; 20 de enero de 2024.

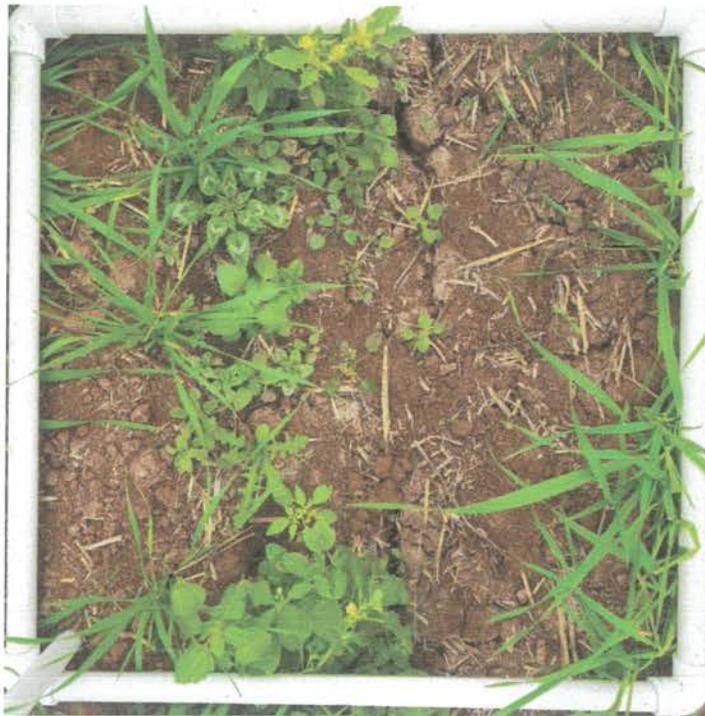


Figura 16. Muestreo inicial; 22 de enero de 2024 (33 días después de emergencia del cultivo; dde).

H4

Auto



Figura 17. Calibración de aplicación, 23 de enero de 2024.



Figura 18. Aplicación de tratamientos, 24 de enero de 2024 (35 dde).

HC

Anto

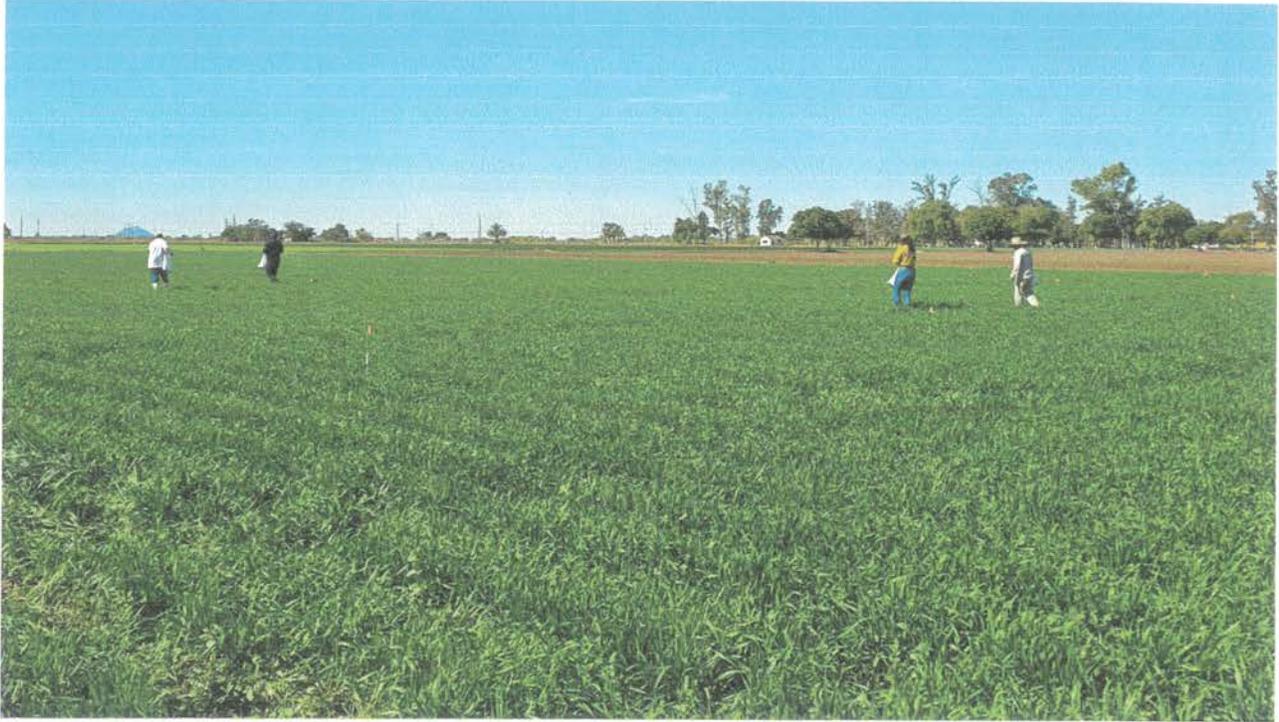


Figura 19. Fertilización manual, 25 de enero de 2024.



Figura 20. Primer riego de auxilio; 26 de enero de 2024 (35 dde).

HC

A-10



Figura 21. Vista aérea de la parcela experimental; 7 de febrero de 2024.



Figura 22. Ejemplo de cuadrante utilizado el primer conteo después de la aplicación; 8 de febrero de 2024 (14 dda; 50 dde).

ATO

HG



Figura 23. Segundo conteo; 14 de febrero de 2024 (21 dda; 56 dde).



Figura 24. Ejemplo de cuadrante utilizado el segundo conteo después de la aplicación; 14 de febrero de 2024 (21 dda; 56 dde).

HG

ATO

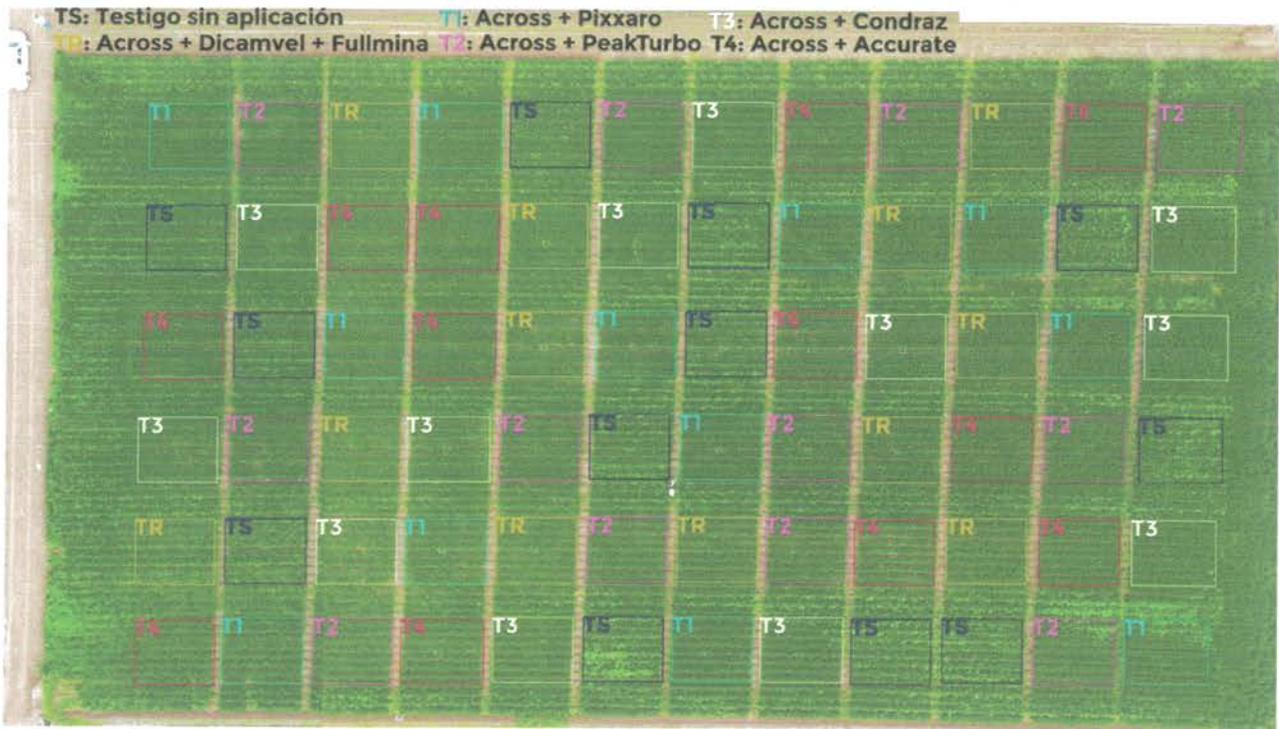


Figura 25. Vista aérea de la parcela experimental; 15 de febrero de 2024.



Figura 26. Vista aérea de la parcela experimental; 21 de febrero de 2024.

Auto

fc4

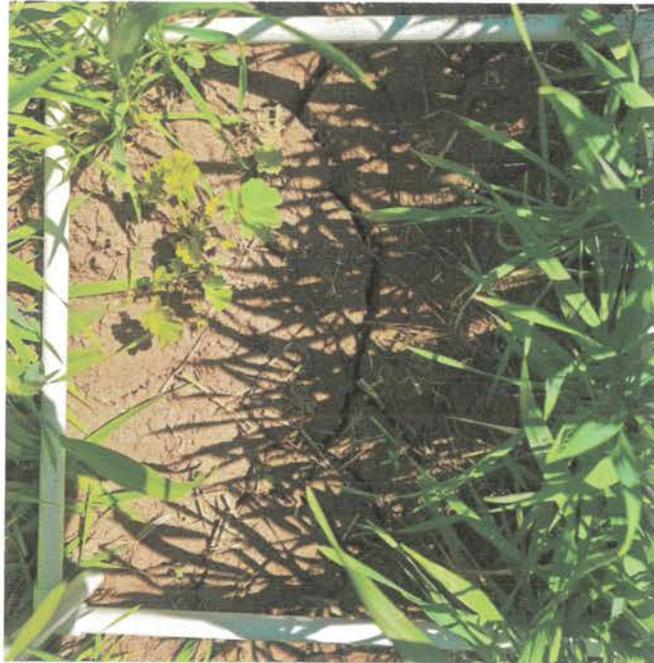


Figura 27. Ejemplo de cuadrante utilizado el tercer conteo después de la aplicación; 22 de febrero de 2024 (29 dda; 64 dde).

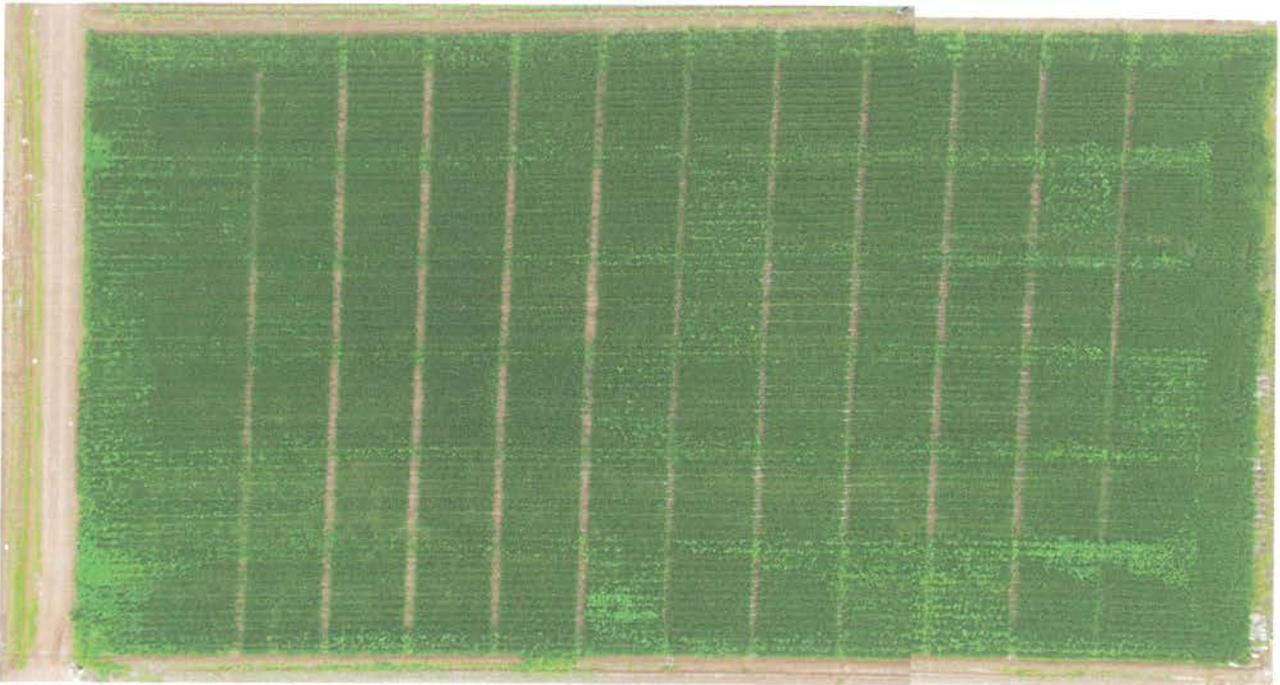


Figura 28. Vista aérea de la parcela experimental; 27 de febrero de 2024.

HC

Auto

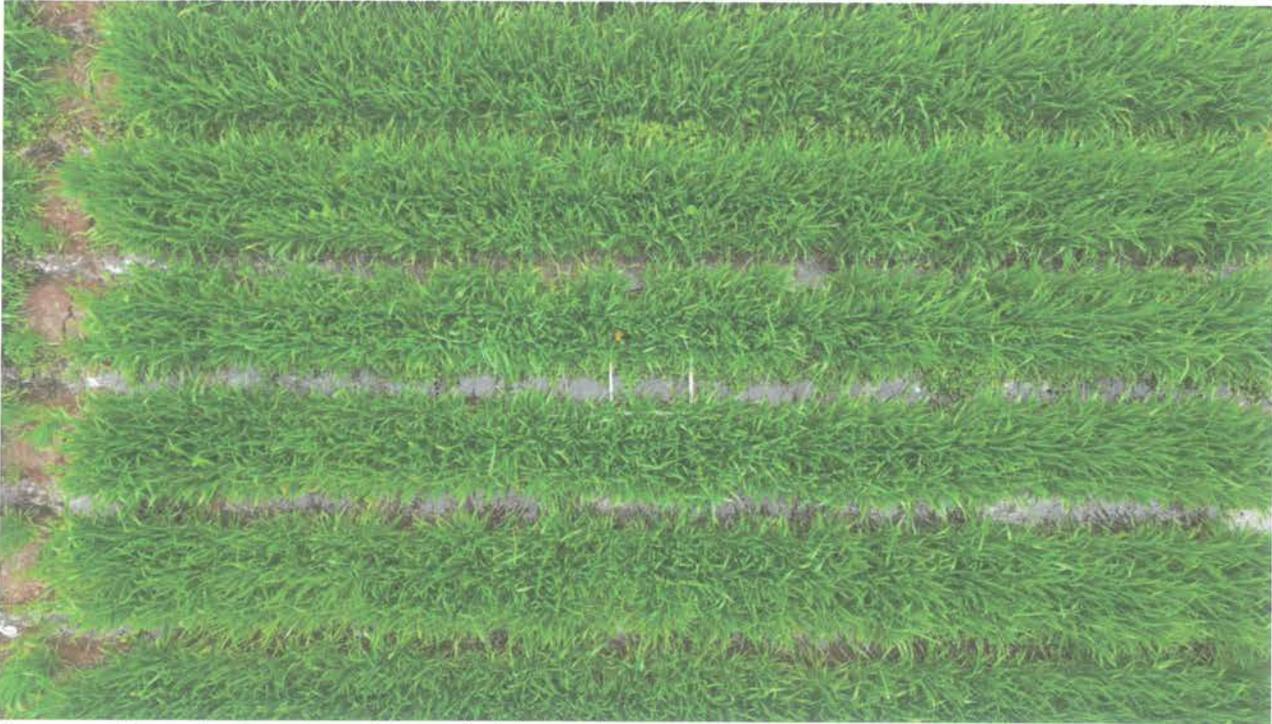


Figura 29. Segundo riego de auxilio; 27 de febrero de 2024.



Figura 30. Altura de maleza; 4 de marzo de 2024.

HG

Auto

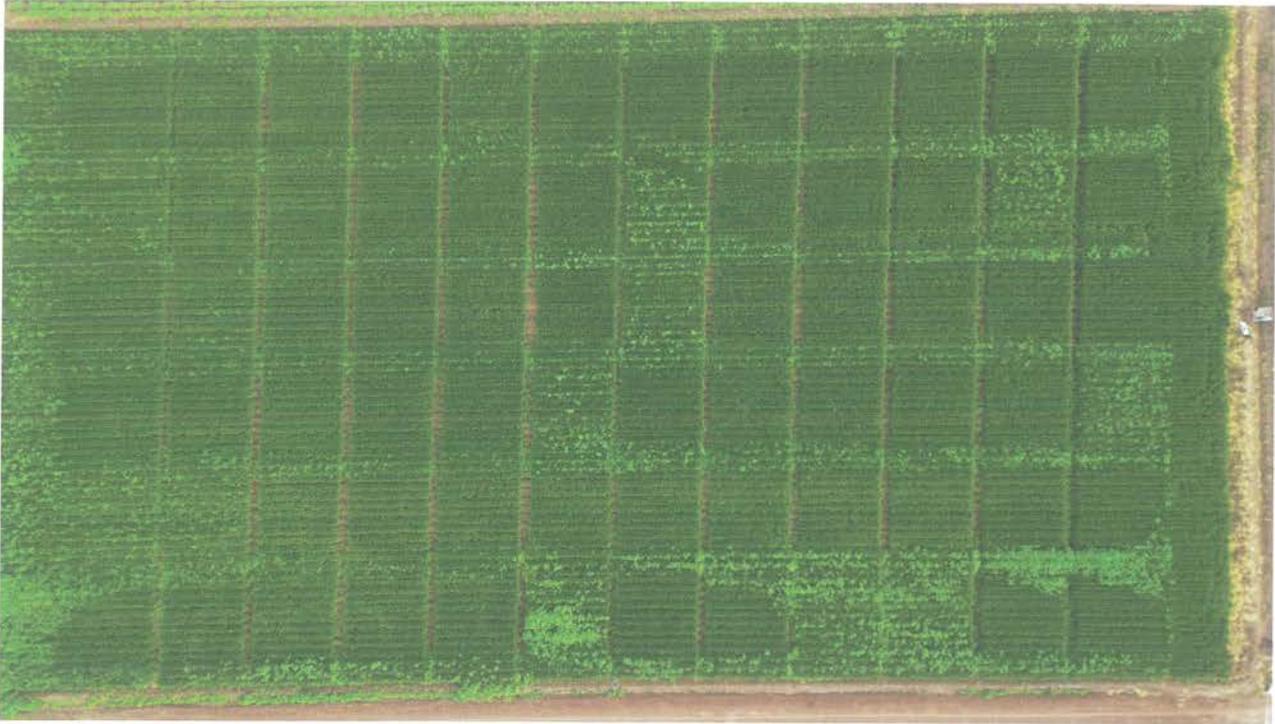


Figura 31. Vista aérea de la parcela experimental; 7 de marzo de 2024.



Figura 32. Altura de maleza; 13 de marzo de 2024.

HG

Auto

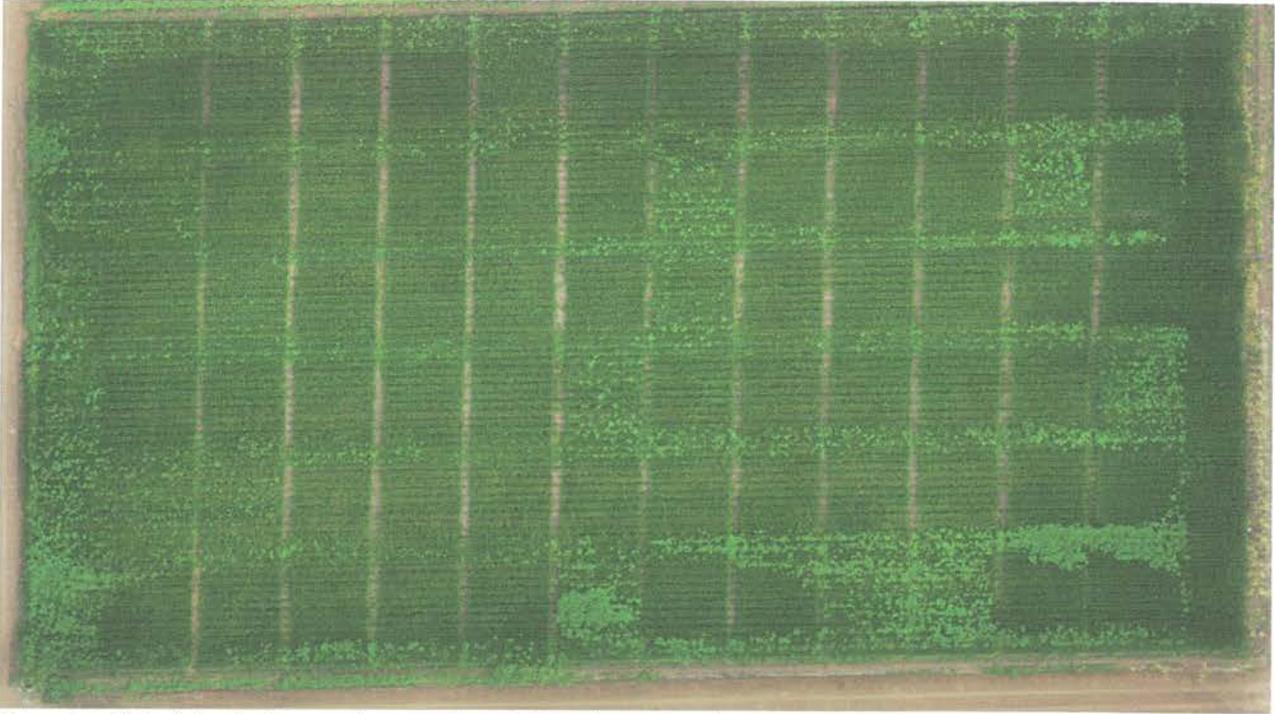


Figura 33. Ortofoto de la parcela experimental; 15 de marzo de 2024.



Figura 34. Altura de maleza; 19 de marzo de 2024.

HG

Auto

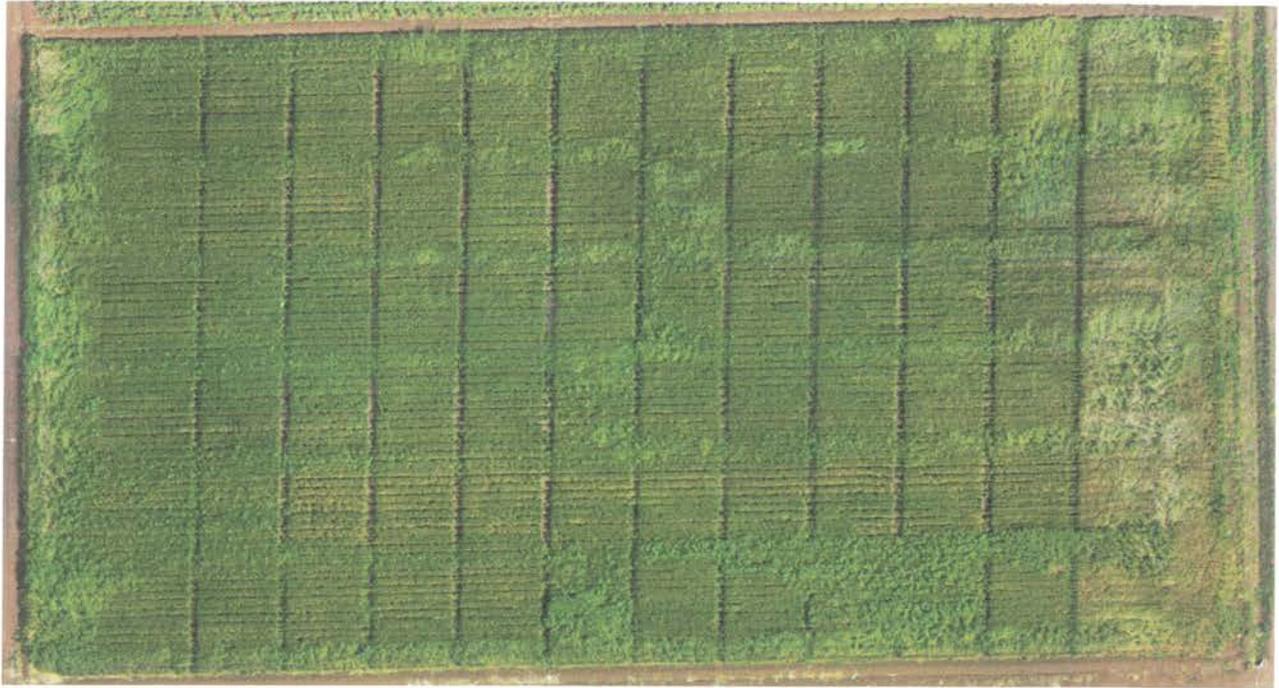


Figura 35. Ortofoto de la parcela experimental; 1 de abril de 2024.



Figura 36. Presencia de acame en parcelas cercanas a cabecera con mayor infestación de maleza; 1 de abril de 2024.

HG

Auto



Figura 37. Ortofoto de la parcela experimental; 8 de abril de 2024.



Figura 38. Vista aérea de la parcela experimental; 8 de abril de 2024.

Anto

HG



Figura 39. Altura de maleza; 9 de abril de 2024.



Figura 40. Ortofoto de la parcela experimental; 11 de abril de 2024.

HG

Auto



Figura 41. Vista aérea de parcela experimental; 11 de abril de 2024.



Auto

HG



Figura 42. Evidencia de control en parcelas con aplicación de herbicida; 15 de abril de 2024.



Figura 43. Ejemplo de infestación de maleza en parcela sin aplicación de herbicida; 15 de abril de 2024.



Figura 44. Ejemplo de infestación de maleza en parcela sin aplicación de herbicida; 15 de abril de 2024.

HG

Anto



Figura 45. Vista aérea de parcela experimental; 15 de abril de 2024.



Figura 46. Ortofoto de la parcela experimental; 15 de abril de 2024.

Auto

HG



Figura 47. Evidencia de control en parcelas con aplicación de herbicida; 15 de abril de 2024.



Figura 48. Evidencia de control en parcelas con aplicación de herbicida; 15 de abril de 2024.

AG

ATO



Figura 49. Dron utilizado para la captura de imágenes; 15 de abril de 2024.



Figura 50. Altura de maleza; 24 de abril de 2024.

AG

Auto



Figura 51. Vista aérea de parcela experimental; 24 de abril de 2024.



Figura 52. Ortofoto de parcela experimental; 24 de abril de 2024.

Auto

H4



Figura 53. Vista aérea de parcela experimental; 26 de abril de 2024.

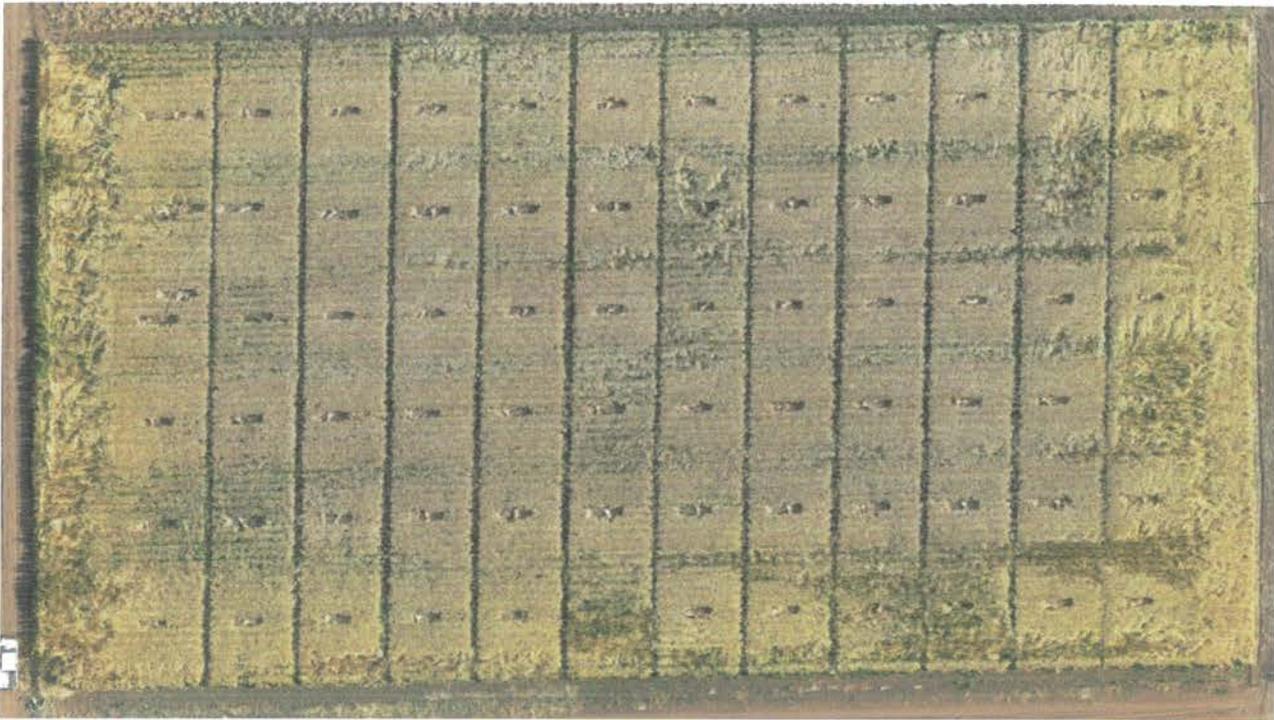


Figura 54. Ortofoto de parcela experimental; 26 de abril de 2024.

HG

Auto



Figura 55. Personal de campo durante el muestreo para la determinación de rendimiento; 26 de abril de 2024.



Figura 56. Estudiante durante el muestreo para la determinación de rendimiento; 26 de abril de 2024.

AG

Auto



Figura 57. Estudiante durante el muestreo para la determinación de rendimiento; 26 de abril de 2024.



Figura 58. Vista aérea de la parcela durante la trilla; 21 de mayo de 2024.

HG

Anto



Figura 59. Ortofoto de la parcela experimental; 22 de mayo de 2024.

Métodos basados en imágenes como alternativa para la evaluación de maleza en cultivo de trigo en el Sur de Sonora
Informe de Ensayo

AUTORES:
Hélio Adán Carcio-Mendivil, PhD. DSc.
Roberto García-Albarrán, PhD. DSc.
Fernando Magaña, Luis Miguel, PhD. DSc.
Rafaela Hernández-Ledezma, MSc. BSc.
Guillermo Castañeda, MSc. BSc. MSc. PhD. Sc.

INSTITUCIONES:
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Patronato Agrícola del Estado de Sonora A.C.

TÍTULO DE FUNDACIÓN:
6 de septiembre de 2024

Métodos basados en imágenes como alternativa para la evaluación de maleza en cultivo de trigo en el Sur de Sonora

- Prefacio**
- 1. Introducción
 - 2. Objetivos
 - 3. Metodología
 - 4. Resultados
 - 5. Discusión
 - 6. Conclusiones
 - 7. Referencias
 - 8. Anexos
 - 9. Datos experimentales

SONORA WEED SCIENCE

Prefacio



Este informe es el resultado del esfuerzo colaborativo del grupo de investigación en maleza y tiene como objetivo brindar una visión integral de nuestra labor en el campo del estudio de la maleza. Nos complace presentar esta obra como un recurso informativo, todos aquellos interesados en comprender y abordar los desafíos relacionados con la investigación de maleza en la agricultura.

La investigación en maleza desempeña un papel fundamental en la preservación de los cultivos y la productividad agrícola. En este informe, compartiremos nuestras investigaciones, métodos y descubrimientos clave en el estudio de la maleza.

Agradecemos a todos los miembros del grupo de investigación por su dedicación y contribuciones a este informe. Esperamos que este documento sirva como recurso útil y como punto de partida para futuras investigaciones y colaboraciones en el campo de la sanidad vegetal.

Hélio Adán Carcio-Mendivil
Investigador
Doctor en Tecnología Agroalimentaria y Biotecnología
Instituto Nacional de Investigaciones, Agrícolas y Pecuarias
6 de septiembre de 2024.



Figura 60. Versión web del presente informe (<https://basados.sonoraweedsceince.org>).

Auto

HG



6. Resultados

6.1 Objetivo principal: Evaluación de métodos de muestreo.

Durante el experimento, se compararon tres métodos para el conteo de maleza en un campo de trigo: el método tradicional, el conteo a partir de fotografías tomadas a nivel de suelo, y las imágenes capturadas desde un VANT. En las pruebas preliminares, realizadas cuando el trigo aún era pequeño, las imágenes obtenidas tanto a nivel de suelo como desde el VANT mostraban una definición adecuada, permitiendo una comparación efectiva entre los métodos (Figura 61).

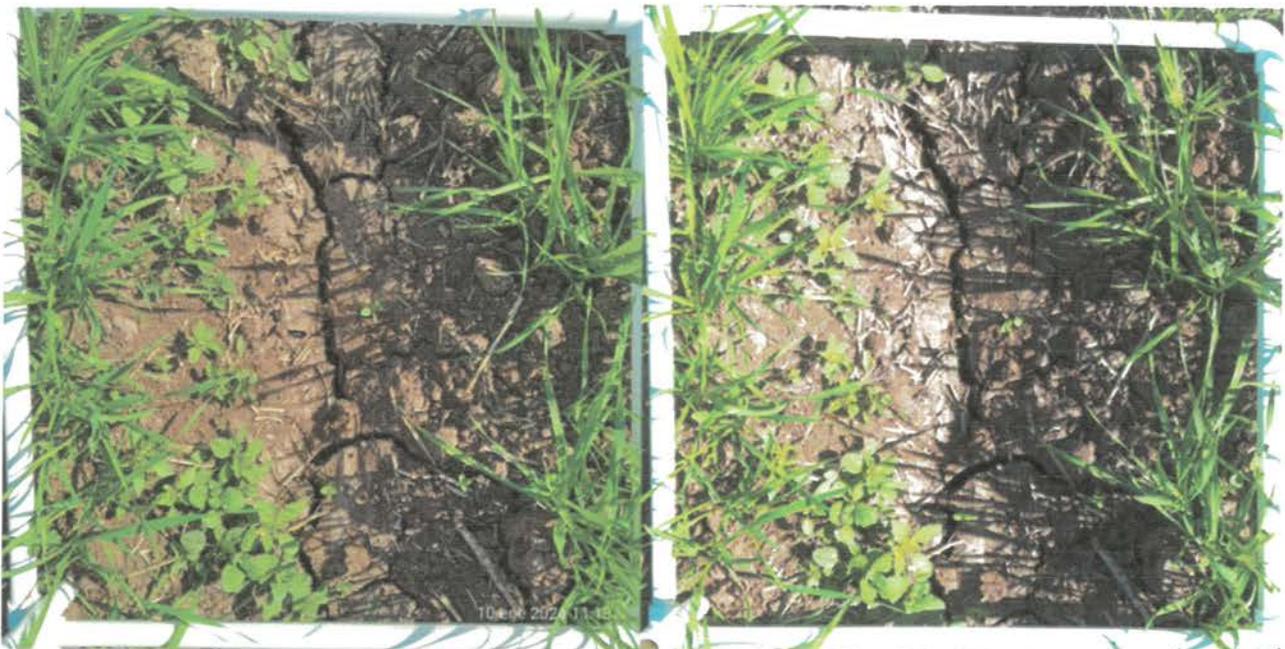


Figura 61. Fotografía del área de muestreo tomadas en las pruebas preliminares a nivel de suelo (izquierda) y desde un vehículo aéreo no tripulado (derecha); 21 dde.

Sin embargo, durante el conteo previo a la aplicación de herbicidas, las imágenes tomadas desde el dron resultaron desenfocadas, posiblemente debido al mayor tamaño de las hojas de trigo y su movimiento, o la falta de optimización de los parámetros necesarios en el VANT, lo cual imposibilitó el uso de estas imágenes para el conteo de plantas de maleza (Figura 62). Por esta razón, se decidió continuar con el análisis utilizando únicamente las imágenes capturadas a nivel de suelo. Por otro lado, para asegurar que las condiciones de toma de imágenes fueran comparables, tanto las fotografías a nivel de suelo como las capturadas por el dron se realizaron sin apartar las hojas de trigo para exponer el suelo y la maleza dentro del cuadro de muestreo. Es decir, no se manipuló el trigo para apartar las hojas, lo que resultó en una visibilidad limitada de la maleza a medida que el trigo crecía y cubría más el suelo (Figura 63). Esta metodología limitó la utilidad del método basado en imágenes a nivel de suelo, ya que solo fue efectivo mientras las plantas de trigo tuvieron una altura moderada. Si se desea emplear este método en etapas más avanzadas del crecimiento del



trigo, será necesario ajustar la técnica, despejando las hojas de trigo lo suficiente para que no obstaculicen la captura de imágenes.



Figura 62. Fotografía del área de muestreo tomadas durante el conteo previo a la aplicación herbicida a nivel de suelo (izquierda) y desde un vehículo aéreo no tripulado (derecha); 33 dde.



Figura 63. Fotografía del área de muestreo tomadas durante el conteo a los 14 dda a nivel de suelo (izquierda) y desde un vehículo aéreo no tripulado (derecha); 50 dde.

Auto

Hcy



Dado que las distintas especies de maleza que se pueden encontrar en una parcela de cultivo no se distribuyen de manera aleatoria, e incluso existe una fuerte evidencia de agrupamiento (Riepmann y Weng, 1963), antes de someter los resultados a un análisis estadístico convencional, se realizó un análisis exploratorio de datos para determinar la frecuencia de cada una de las especies y su distribución dentro de la parcela experimental (ver Anexo 8.2.1). De dicho análisis se concluyó que la distribución de maleza en el presente experimento nos permite analizar estadísticamente los datos de *C. murale*, *A. palmeri*, *P. acutifolia* y el complejo de maleza.

En el Cuadro 2 se presentan la media \pm error estándar, la mediana, así como los valores mínimos y máximos del número de plantas contadas mediante ambos métodos para cada una de las especies evaluadas y el complejo de maleza. Aunque solo los datos correspondientes al complejo de maleza se ajustaron a una distribución normal, tanto la prueba t de Student como la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, aplicada a las especies individuales, no detectaron diferencias significativas al comparar los dos métodos de conteo.

Cuadro 2. Número de plantas de maleza contadas por el método tradicional y el método basado en imágenes (n=72) evaluados en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Especie	Método	Número de plantas			
		media \pm error estándar	mediana	min	max
<i>C. murale</i>	Tradicional	11 \pm 0.8	9	0	34
	BI	12 \pm 0.7	12	2	29
<i>A. palmeri</i>	Tradicional	19 \pm 1.8	15	0	59
	BI	18 \pm 1.7	16	0	61
<i>P. acutifolia</i>	Tradicional	5 \pm 0.4	4	0	13
	BI	5 \pm 0.4	5	0	13
Complejo de maleza	Tradicional	35 \pm 2	32	3	74
	BI	36 \pm 1.8	34	8	80

Aunque los análisis de varianza son fundamentales para detectar diferencias en las medias entre grupos, es igualmente importante evaluar la relación entre los métodos de conteo. Por ello, se realizó un análisis de correlación para examinar la fuerza y la dirección de la relación entre los conteos realizados por el método tradicional y el método BI. El análisis de correlación permite entender mejor la consistencia y concordancia entre ambos métodos. Una alta correlación indicaría que los métodos podrían ser intercambiables para el monitoreo de maleza.

Auto

H4



Los datos los conteos por el método tradicional y basado en imágenes de *C. murale* mostraron una correlación significativa ($P < 0.001$), con coeficiente de correlación de Pearson de 0.703, que se considera una correlación positiva fuerte; y un coeficiente de determinación de 0.86 (Figura 64).

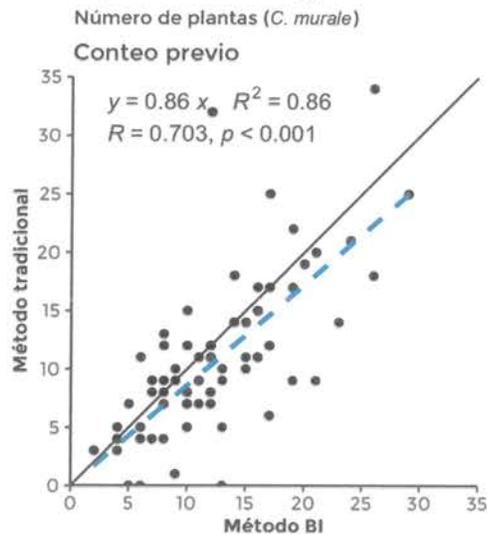


Figura 64. Correlación entre el número de plantas de *C. murale* contadas mediante el método tradicional y el método basado en imágenes.

En el caso de *A. palmeri*, los datos también mostraron una correlación significativa ($P < 0.001$), con coeficiente de correlación de Pearson de 0.833, que se considera una correlación positiva fuerte; y un coeficiente de determinación de 0.88 (Figura 65).

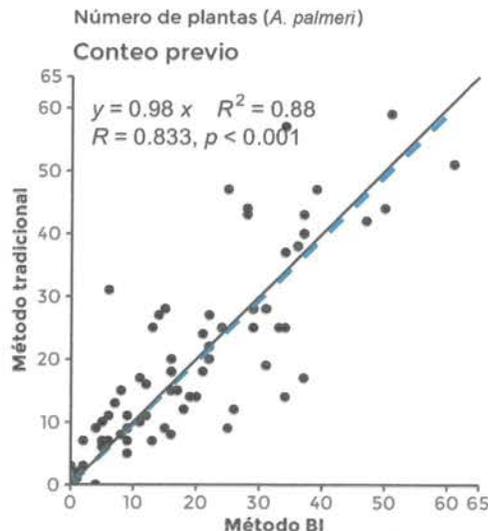


Figura 65. Correlación entre el número de plantas de *A. palmeri* contadas mediante el método tradicional y el método basado en imágenes.

Los datos los conteos por el método tradicional y basado en imágenes de *P. acutifolia* mostraron una correlación significativa ($P < 0.001$), con coeficiente de correlación de Pearson de 0.774, que se considera una correlación positiva fuerte; y un coeficiente de determinación de 0.85 (Figura 66).

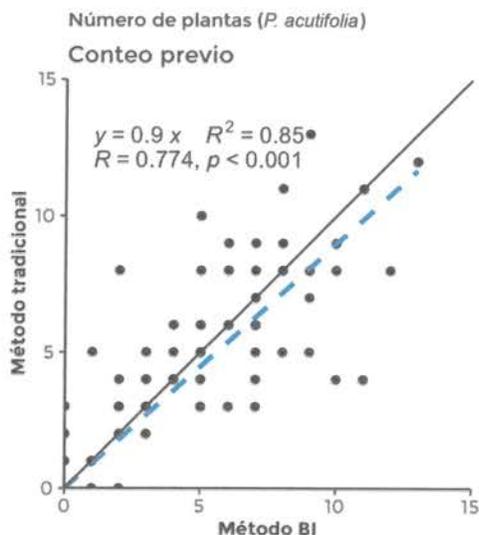


Figura 66. Correlación entre el número de plantas de *P. acutifolia* contadas mediante el método tradicional y el método basado en imágenes.

Los datos los conteos por el método tradicional y basado en imágenes del complejo de maleza mostraron una correlación significativa ($P < 0.001$), con coeficiente de correlación de Pearson de 0.823, que se considera una correlación positiva fuerte; y un coeficiente de determinación de 0.94 (Figura 67).

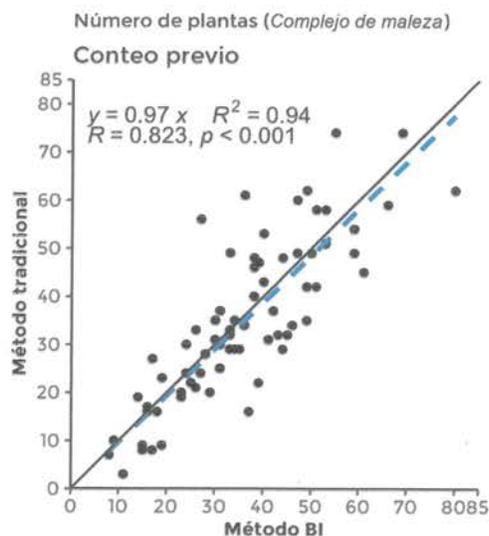


Figura 67. Correlación entre el número de plantas del complejo de maleza contadas mediante el método tradicional y el método basado en imágenes.

El costo de un empleado de campo durante el ciclo 2023-2024 fue de \$11,512.13 mensuales, lo que equivale aproximadamente a \$60.00 por hora. Para el muestreo mediante el método tradicional, se requieren dos personas (Figura 4). Esto implica que el conteo de 72 subparcelas, como se realizó en el presente experimento, tendría un costo estimado de \$548.64 (3.81 minutos x 72 subparcelas x 2 personas). En contraste, el método BI solo requiere una persona, lo que reduce el costo a



aproximadamente \$130.32, representando una disminución del 77% en comparación con el método tradicional (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de tiempos y costos entre métodos de muestreo de maleza evaluados en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

	Tiempo (minutos/subparcela)	Subparcelas	Tiempo por ensayo	Personas	Costo (\$/muestreo)	Porcentaje
Método tradicional	3.81	72	4 h 34 min	2	\$548.00	100%
Método BI	1.81	72	2 h 10 min	1	\$130.00	23%

En términos de eficiencia en la detección y conteo de maleza, aunque no se observaron diferencias significativas entre el método BI y el método tradicional, el método BI mostró una eficiencia ligeramente superior en todos los casos evaluados: 1.16 para *C. murale*, 1.02 para *A. palmeri*, 1.11 para *P. acutifolia* y 1.03 para el complejo de maleza.

Durante el presente experimento, el tiempo de traslado entre las 72 subparcelas fue el mismo para ambos métodos, aproximadamente 30 minutos. Si utilizamos la media de 3.81 minutos que nos toma muestrear una subparcela por el método tradicional para calcular el tiempo total necesario para muestrear un ensayo de 72 subparcelas, y tomamos en cuenta el tiempo de traslado, una pareja de personas de apoyo necesitaría pasar 5 horas y 4 minutos **bajo el sol**. Esto representa diez veces más tiempo que el necesario para una sola persona utilizando el método BI (30 minutos) o 20 veces más de lo que le llevaría a la misma pareja (15 minutos). Dadas las condiciones climatológicas de la región, el muestreo de un ensayo de evaluación de herbicidas por el método tradicional expone al personal de apoyo a condiciones extremas durante periodos prolongados. Reducir el tiempo que el personal pasa bajo el sol mediante la sustitución del método tradicional por el método BI podría influir positivamente en la salud y el bienestar del personal de apoyo.

Otro beneficio del método BI es la generación de evidencia visual que resulta de gran utilidad durante el proceso de análisis de datos. En cualquier experimento, existe un proceso que comienza con la observación en campo y culmina en la presentación de resultados finales. A lo largo de este proceso, pueden ocurrir errores humanos en múltiples etapas: al tomar datos en el campo, el personal podría cometer un error al registrar la información en el libro de campo; posteriormente, al transcribir esos datos a un formato electrónico, podrían introducirse errores de digitación; durante el análisis y selección de los datos a evaluar, también pueden surgir equivocaciones. Aunque es una práctica común en el análisis de datos revisar los procesos varias veces para asegurarse de que no se han cometido errores, incluso con múltiples revisiones, siempre existe la posibilidad de que algunos errores pasen desapercibidos. Contar con varios puntos de referencia a los que se puede regresar durante el análisis es crucial para verificar la precisión de los resultados. En este contexto, tener una fotografía de las parcelas sirve como un valioso punto de referencia cercano a

HY

Auto



la observación original en campo. Estas imágenes permiten corroborar la exactitud de los datos, asegurándose de que reflejan fielmente lo observado durante el experimento.

Un ejemplo de la utilidad de estas imágenes se puede observar en la Figura 64, Figura 65, y Figura 66. En estas figuras, se demuestra cómo el personal de apoyo reportó cero plantas de una especie en ciertas subparcelas, mientras que el método BI detectó la presencia de estas plantas. Las fotografías de las parcelas correspondientes a esos puntos en la gráfica confirmaron que, efectivamente, el personal de apoyo pasó por alto o no identificó correctamente el número de plantas de tal especie. Este tipo de evidencia visual permite corregir errores y asegurar que los resultados finales representen de manera precisa lo que realmente sucedió en el campo.

Otro beneficio del método BI es que, al realizar el conteo mediante el programa DotDotGoose, cada punto colocado sobre las plantas detectadas puede servir como un punto de referencia para convertirse en el centro de un recorte de imagen. Esto permite generar recortes específicos de cada planta contada, los cuales ya están categorizados por especie, gracias a las etiquetas que se asignan durante el conteo. Aunque en nuestro experimento no hemos avanzado aún a la etapa de etiquetado por objetos ni semántico, el uso del método BI ha proporcionado materia prima clasificada que podría ser usada para realizar trabajos de este tipo en el futuro. La creación de conjuntos de datos etiquetados, como lo discute Madec *et al.* (2023), es fundamental para mejorar los algoritmos de segmentación y facilitar investigaciones a gran escala sobre la detección de vegetación. En nuestro caso, las imágenes recortadas y categorizadas podrían utilizarse para entrenar y perfeccionar modelos que mejoren la precisión y eficiencia en la detección de maleza en el futuro. De la Figura 68 a la Figura 73 se muestran ejemplos de composiciones de segmentos imágenes de *C. murale*, *A. palmeri* y *P. acutifolia*, y su etiquetado mediante la plataforma Roboflow (<https://roboflow.com>). En este sentido, el presente estudio permitió obtener 885 imágenes de *C. murale*, 1326 imágenes de *A. palmeri* y 347 imágenes de *P. acutifolia* en condiciones de campo.

Hg

Auto



Figura 68. Composición de segmentos de *C. murale* obtenidos con DotDotGoose.



Figura 69. Ejemplo de imágenes de *C. murale* etiquetadas utilizando la plataforma Roboflow.

Auto

HG



Figura 70. Composición de segmentos de *A. palmeri* obtenidos con DotDotGoose.

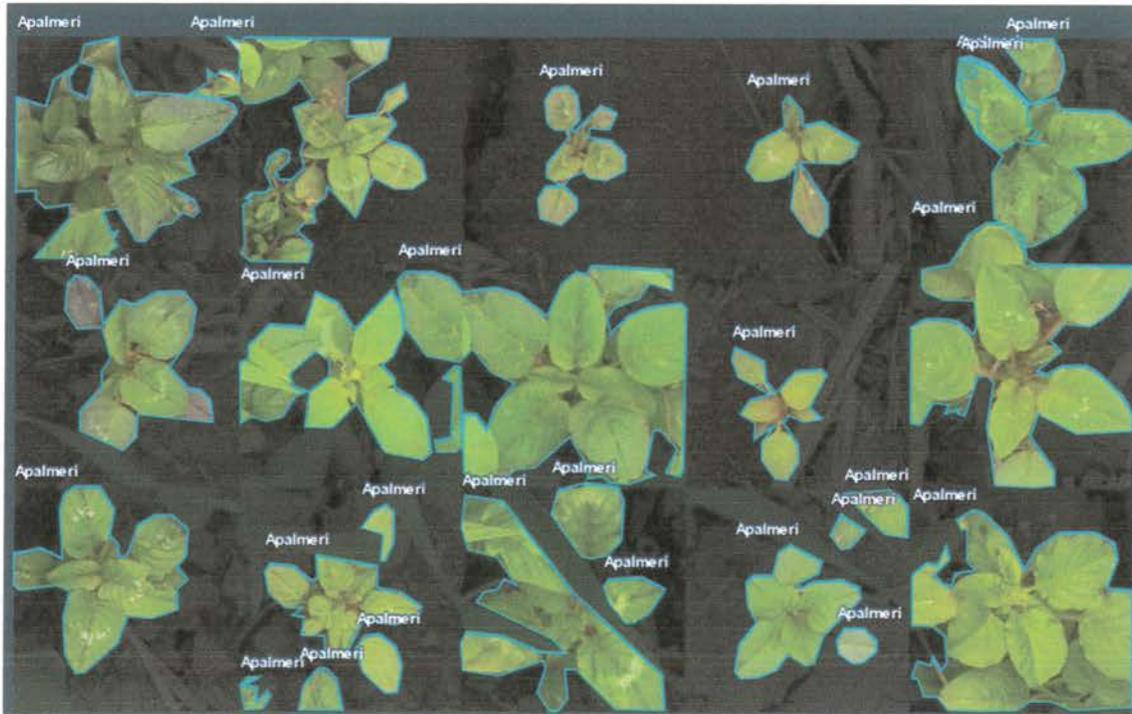


Figura 71. Ejemplo de imágenes de *A. palmeri* etiquetadas utilizando la plataforma Roboflow.

Auto

HG



Figura 72. Composición de segmentos de *P. acutifolia* obtenidos con DotDotGoose.

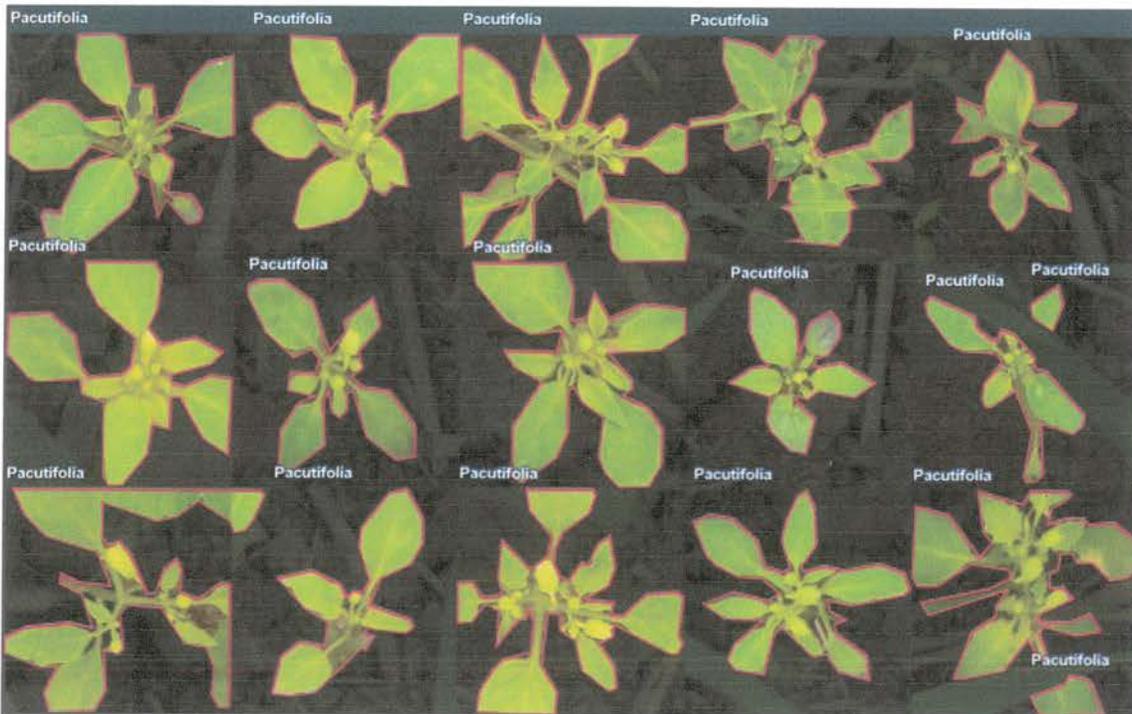


Figura 73. Ejemplo de imágenes de *P. acutifolia* etiquetadas utilizando la plataforma Roboflow.

HG

Auto



6.2 Objetivo secundario: Evaluación de mezclas de herbicidas para el control de maleza en trigo

Durante el muestreo previo a la aplicación herbicida la frecuencia de aparición de especies de maleza fue la siguiente: *Chenopodium murale* (69 de 72 subparcelas; 96%), *Physalis acutifolia* (90%), *Amaranthus palmeri* (90%), *Malva parviflora* (40%), *Chenopodium album* (26%), *Sonchus oleraceus* (19%), *Polygonum aviculare* (13%), *Portulaca oleracea* (10%), *Melilotus albus* (8%), *Sida hederácea* (4%). Dado que solamente las especies *C. murale*, *A. palmeri* y *P. acutifolia* se distribuyeron de manera suficientemente uniforme en toda la parcela experimental, se seleccionaron solamente estos datos para el análisis de control de maleza y su relación con el rendimiento. Un análisis detallado de la estadística descriptiva de las distintas variables evaluadas y fechas de muestreo se encuentran en la sección de anexos 8.3.

La Figura 74 y Figura 75 muestran la media de número de plantas y la altura máxima en cada una de las evaluaciones realizadas.

Número de plantas por tiempo y tratamiento

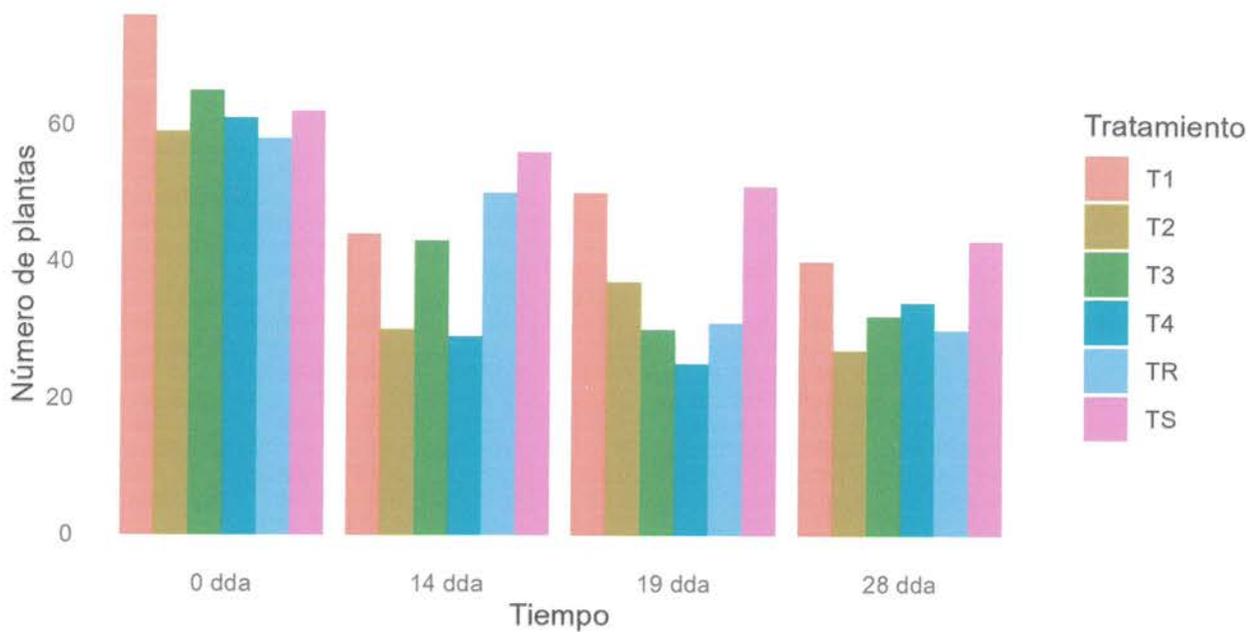


Figura 74. Número de plantas por tratamiento y fecha de evaluación como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

HC

Auto



Altura máxima por tiempo y tratamiento

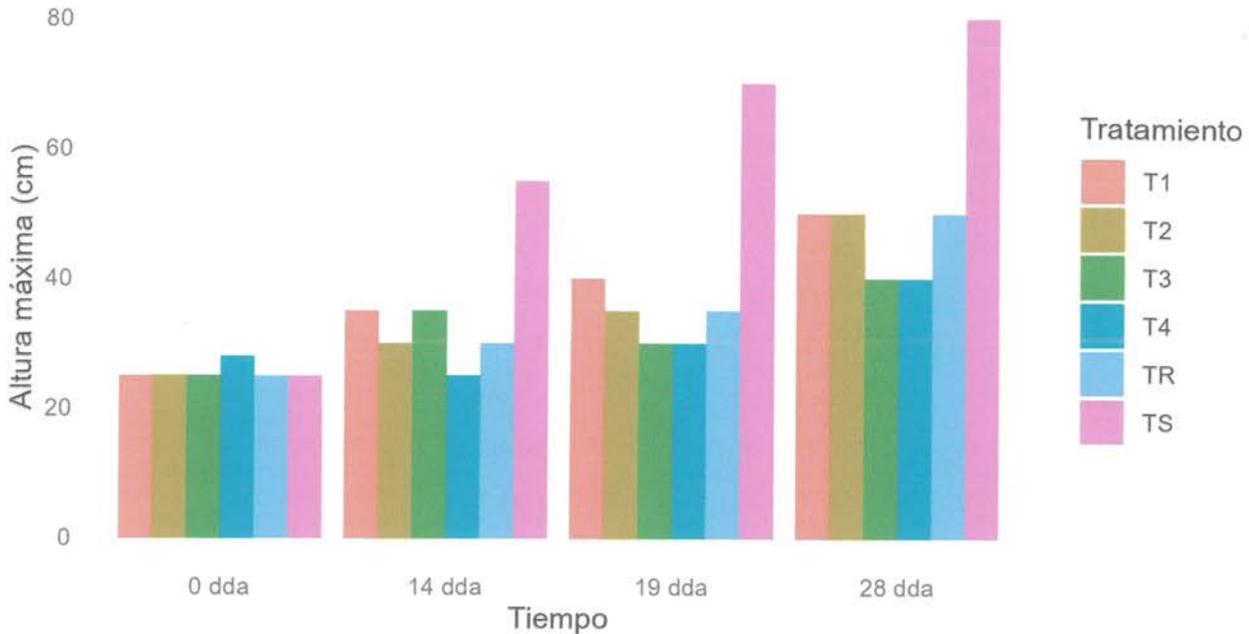


Figura 75. Altura máxima por tratamiento y fecha de evaluación como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Como se menciona en la sección 8.2.3, en el presente estudio se analizó la relación entre las variables de control de maleza y el rendimiento de trigo. El cambio en el número de plantas de maleza desde el conteo previo hasta los 29 días después de la aplicación (dda) mostró una correlación negativa débil, explicando aproximadamente el 9% de la variabilidad en el rendimiento. Por otro lado, el cambio en la altura máxima de las plantas de maleza presentó una correlación positiva moderada, explicando el 18% de la variabilidad del rendimiento. Además, la ecuación de regresión basada en el cambio en altura máxima permitió estimar el rendimiento con un error promedio inferior al 4% en comparación con el rendimiento real obtenido. Esto indica que, bajo las condiciones del presente experimento, la variable del cambio en altura máxima tuvo un mayor impacto en el rendimiento del trigo.

El Cuadro 4 muestra que, en cuanto al cambio en el número de plantas, el testigo sin aplicación no solo no experimentó un aumento, sino que, inesperadamente, mostró una disminución en el número de plantas. Aunque esta reducción fue menor en comparación con la de los tratamientos herbicidas, no se observaron diferencias marcadamente grandes entre ellos. Esto resultó en diferencias significativas únicamente con los tratamientos T1 y T3, y porcentajes de control entre el 38% y el 55%, ajustado mediante la fórmula de Abbott (1961).

Por otro lado, los datos relativos al cambio en la altura máxima de las plantas de maleza desde la evaluación previa a la aplicación hasta los 29 dda mostraron diferencias significativas entre los tratamientos herbicidas y el testigo sin aplicación, con porcentajes de control que oscilaron entre el 77% y el 100%.

En lo que respecta al contenido de clorofila, ninguno de los tratamientos herbicidas tuvo un efecto significativo durante las primeras dos evaluaciones, donde se encontraron valores en un rango de 49.3 a 50

Auto

AG



unidades de clorofila (UC) a los 15 dda, y entre 49.5 y 51 UC a los 21 dda. A los 29 dda, se observó una diferencia significativa entre T1 y T2, aunque ninguno de los tratamientos presentó diferencias significativas con el testigo regional ni con el testigo sin aplicación.

Por otra parte, los tratamientos herbicidas incrementaron significativamente el rendimiento de grano de trigo en comparación con el testigo sin aplicación, con aumentos del 36% en el caso del testigo regional, 35% en T4, 31% en T1 y T2, y, aunque no significativo, 25% en T3. En cuanto al índice de productividad relativa (IPR), entendido como la proporción del rendimiento relativo de los tratamientos herbicidas, con respecto al testigo regional, y el costo relativo de los mismos, T4 demostró una mayor eficiencia que el testigo regional.

Cuadro 4. Efecto de diferentes tratamientos sobre el cambio en número y altura de plantas de maleza, contenido de clorofila y rendimiento de grano de trigo, e índice de productividad relativa como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

	Cambio en número de plantas	% control	Cambio en altura de planta	% control	Clorofila (28 dda)	Rend. (kg/ha)	Costo rel.	Rend. rel.	IPR
TS	-7.67 b	-	42.08 a	-	53.3 ab	3737.5 b	-	-	-
TR	-22.08 ab	54	2.92 b	93	52.6 ab	5116.67 a	1.00	1.00	1.00
T1	-23.67 a	43	9.33 b	77	54.3 a	4929.17 a	1.24	0.96	0.78
T2	-22.75 ab	55	4.33 b	90	51.3 b	4921.25 a	1.20	0.96	0.80
T3	-25.83 a	55	-0.67 b	100	52.4 ab	4671.67 ab	0.93	0.91	0.98
T4	-17 ab	38	7.33 b	82	52.4 ab	5058.33 a	0.89	0.99	1.10

El promedio de rendimiento de los últimos 20 años en la región de Navojoa, según datos de SIAP (2024), es de 6.2 t/ha. Según datos de Rafael Valdez Avilés (2024), gerente de operaciones del distrito de riego del Valle del Mayo, el rendimiento promedio durante el ciclo 2023-24 fue de 5.7 t/ha. Con estos datos podemos estimar que: Respecto al histórico regional, 8% de la pérdida de producción puede ser atribuida a las condiciones ambientales durante el ciclo de cultivo y la aplicación de un riego menos que los que se aplican tradicionalmente, 10 % se puede atribuir al manejo y las condiciones de la parcela experimental, y 22% se puede atribuir al efecto de la infestación de maleza. Estos datos coinciden con la revisión más exhaustiva que se ha realizado hasta la fecha con respecto a las pérdidas de producción ocasionadas por los distintos tipos de plagas en cultivos de interés comercial, en el cual, Oerke (2006) señala una pérdida de producción potencial de 23% como efecto de la infestación de maleza en cultivos de trigo (Figura 76).

HY

ATO



Factores de pérdida de producción

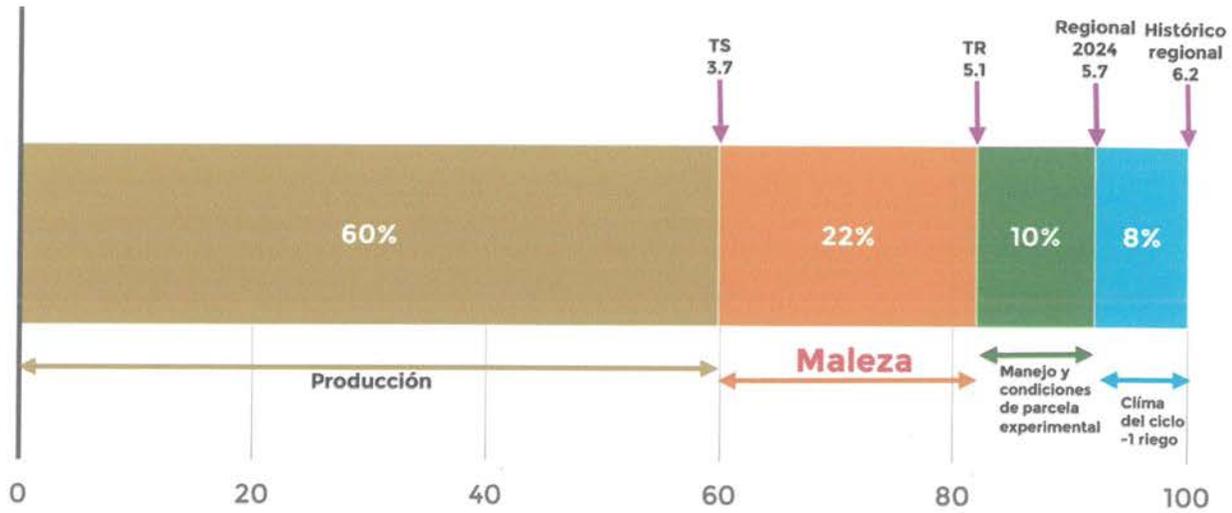


Figura 76. Factores de pérdida de producción como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

HG

Auto



7. Conclusiones

Ensayo principal: Métodos basados en imágenes como alternativa para la evaluación de maleza en cultivos de trigo.

1. Se observó una correlación significativa entre los métodos de muestreo evaluados, tanto en el complejo de maleza, como para tres de las especies encontradas en la parcela experimental.
2. El método basado en imágenes (BI) no registró un menor número de plantas que el método tradicional.
3. El método BI redujo el tiempo de conteo en 53%.
4. El método BI redujo el costo de muestreo en 77%.
5. El método BI es capaz de reducir el tiempo que requiere pasar bajo el sol el personal de apoyo de 10 a 20 veces.
6. El método BI no fue útil para la determinación de altura máxima de las plantas.
7. Bajo la metodología que se llevó a cabo el presente ensayo, el método BI no fue útil para realizar evaluaciones a partir de los 33 días de emergencia del trigo.
8. El método BI permitió para rectificar errores durante la etapa de captura y análisis de resultados.
9. El método BI permitió obtener gran cantidad de imágenes de *C. murale*, *A. palmeri* y *P. acutifolia* categorizadas por especie.
10. Las imágenes tomadas desde vehículos aéreos no tripulados (VANT) están propensas a sufrir desenfoques debido al movimiento de las hojas de trigo.
11. Antes de incluir las imágenes tomadas desde VANT en el método BI, es necesario determinar las condiciones óptimas que permitan estandarizar su captura.

Recomendaciones:

- Se recomienda modificar la metodología de captura de imágenes a nivel de suelo para extender su utilidad más allá de los 33 días después de la emergencia del trigo.
- Se recomienda evaluar las condiciones óptimas de captura de imágenes desde VANT que permitan obtener la misma precisión que aquellas obtenidas a nivel de suelo.

Ensayo secundario: Evaluación de mezclas de herbicidas en el control del complejo de maleza en trigo en el Sur de Sonora.

1. Los datos de rendimiento mostraron una correlación significativa con los datos de número de plantas y la altura máxima.
2. Los datos del cambio en altura máxima hasta los 29 dda mostraron un mayor poder de predicción del rendimiento respecto a los datos del cambio en el número de plantas.
3. El rendimiento del testigo sin aplicación fue significativamente menor que el testigo regional y los tratamientos T1, T2 y T4.
4. El cambio en número de plantas a los 29 dda fue menor en el testigo sin aplicación que en los tratamientos T1 y T3.
5. El cambio en la altura máxima a los 29 dda fue mayor en el testigo sin aplicación que en el resto de los tratamientos.



6. La pérdida de rendimiento registrada en el testigo sin aplicación coincide con la reportada previamente.

7. La aplicación de T4 es una alternativa 11% más económica tan efectiva como el testigo regional para el control del complejo de maleza de hoja ancha en trigo en el Sur de Sonora.

Recomendaciones:

- Se recomienda la evaluación de distintas mezclas que integren un mayor número de herbicidas dirigidos al control de maleza de hoja angosta para explorar su efectividad y la posibilidad de identificar alternativas aún más económicas. Esto podría resultar en ahorros significativos y un mejor uso de los recursos agrícolas disponibles, por ejemplo, para evitar la selección de genes de resistencia a herbicidas, aumentando la sostenibilidad del control de maleza en cultivos de trigo en el Sur de Sonora.

Nota: La versión web del presente informe, en la cual se incluyen los códigos utilizados para los análisis estadísticos y la creación de gráficos, así como la literatura consultada durante la realización del presente proyecto se puede encontrar en:

<https://basados.sonoraweedsceince.org/>

Firmas

Dr. Helio Adán García Mendivil
Investigador Responsable del Proyecto

Dr. Alberto Borbón Gracia
Jefe del Campo Experimental Norman E. Borlaug



8. Anexos

8.1 Condiciones meteorológicas

Durante el ensayo se presentaron 10.4 mm de lluvia y se tuvo una temperatura promedio de 18.3 °C, máxima de 40.6 °C y mínima de -0.3 °C (Figura 77). La velocidad del viento durante las aplicaciones se mantuvo dentro de la ventana de aplicación recomendada (Figura 78).

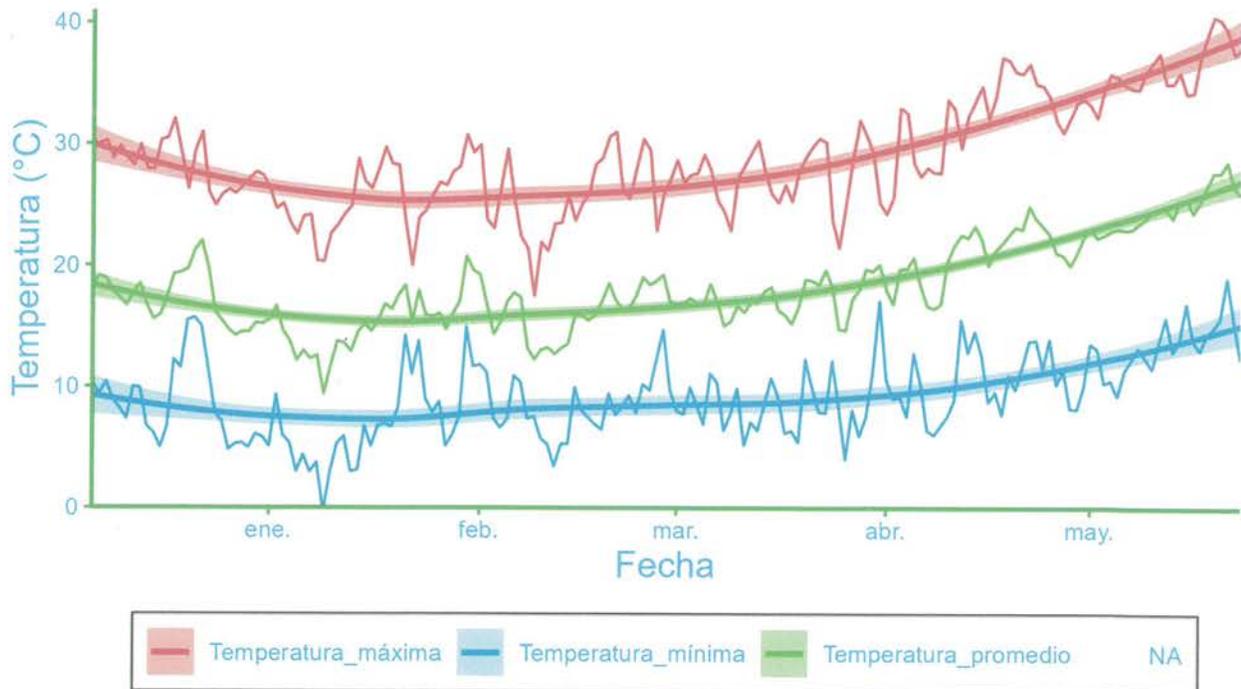


Figura 77. Temperatura durante el desarrollo del experimento de efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024 (CESAVE - SIAFESON, 2024).



Figura 78. Velocidad del viento durante la semana de aplicación de tratamientos herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

AYO

H4

8.2 Análisis exploratorio de datos

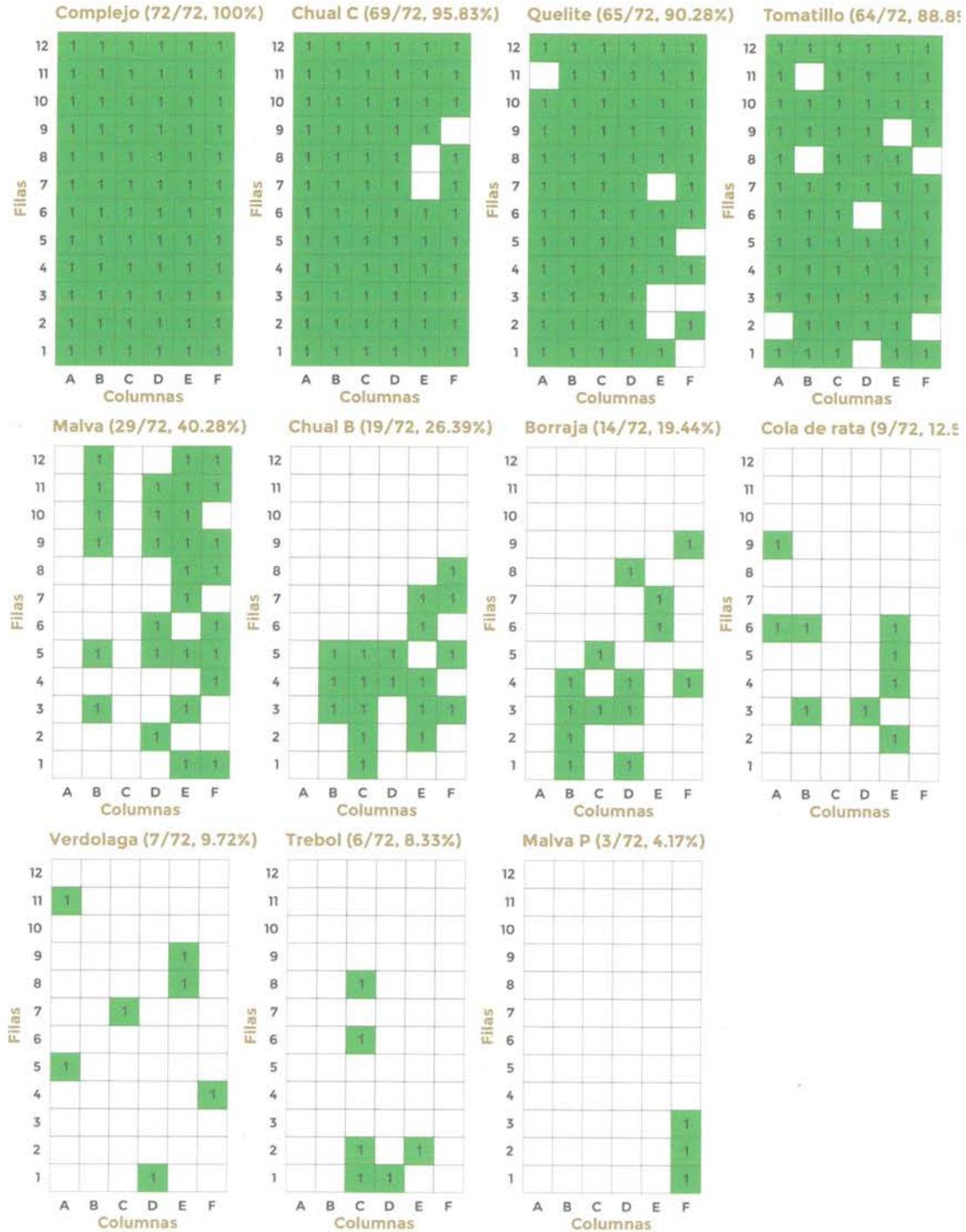
8.2.1 Distribución de maleza

Dado que las distintas especies de maleza que se pueden encontrar en una parcela de cultivo no se distribuyen de manera aleatoria, e incluso existe una fuerte evidencia de agrupamiento (Riepmann & Weng, 1963), antes de someter los resultados a un análisis estadístico convencional, se realizó el siguiente análisis para determinar la frecuencia de cada una de las especies y su distribución dentro de la parcela experimental. Este análisis proporciona un resumen visual de la frecuencia inicial de las distintas especies de maleza y ayuda a entender su distribución.

El siguiente gráfico muestra la frecuencia de aparición de las distintas especies de maleza encontradas en las 72 subparcelas en el conteo previo a la aplicación herbicida. De esta manera podemos determinar cuáles especies de maleza se presentan con la suficiente frecuencia en nuestra parcela experimental como para ser sujetas a un análisis estadístico que nos permita realizar una comparación entre tratamientos. Se puede observar que solamente las especies de *C. murale*, *A. palmeri*, *C. acutifolia* y el complejo de maleza se presentaron con suficiente frecuencia para ser analizados (Figura 79).

ATO

AG



Auto

Figura 79. Presencia de las distintas especies de maleza en el conteo previo a la aplicación de herbicida en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

H4



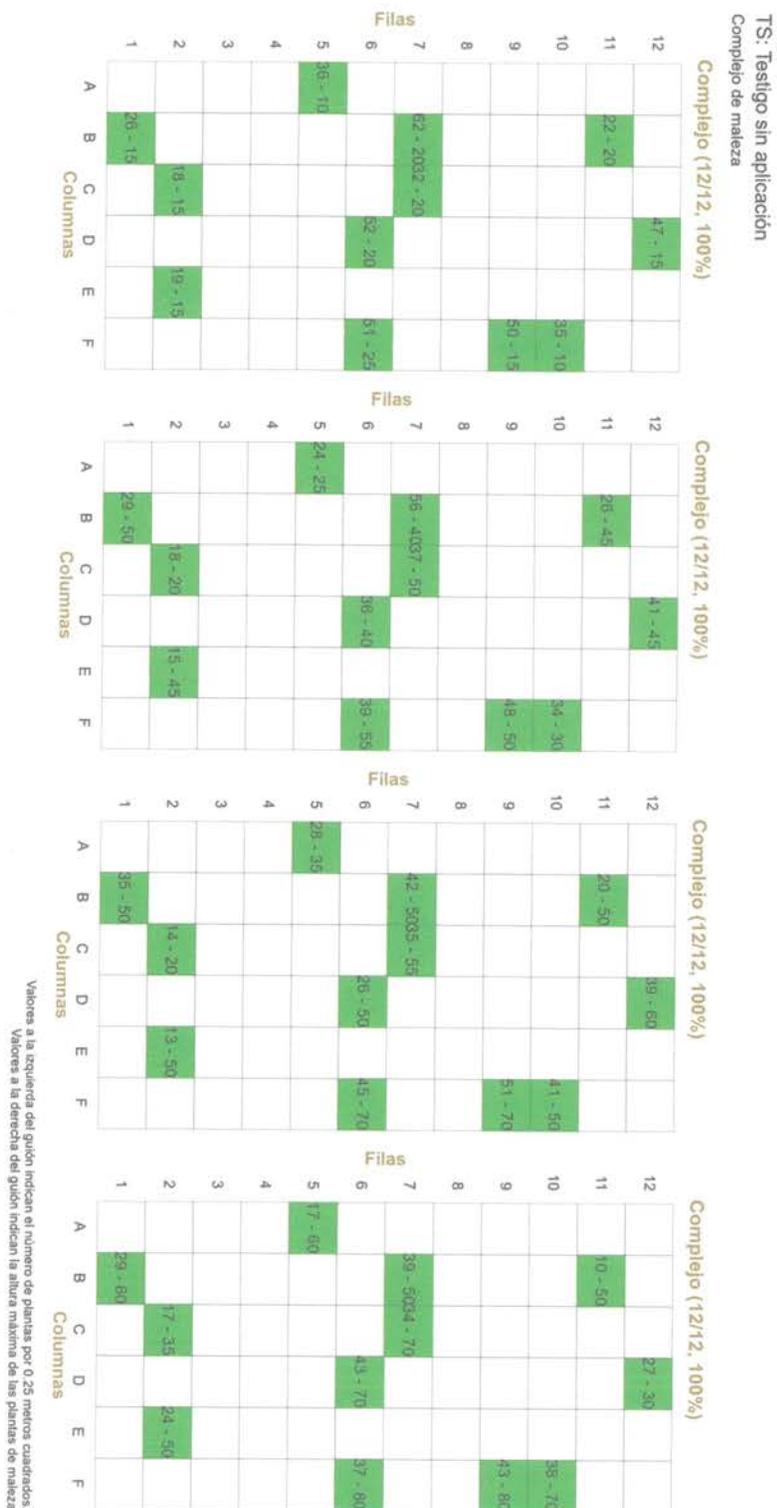
8.2.2 Desarrollo durante el experimento

Este análisis rastrea el progreso de la infestación de maleza a lo largo del tiempo en las parcelas experimentales. Incluye datos recolectados en diferentes momentos del experimento. Los cambios en la densidad y crecimiento de la maleza, representados en gráficos temporales, indican cómo los tratamientos afectan la infestación a lo largo del tiempo. Es útil para identificar tendencias y patrones de crecimiento.

La Figura 80 muestra el comportamiento del complejo de maleza en el testigo sin aplicación. Si observamos los valores del número de plantas (a la izquierda del guión en cada recuadro), podemos notar que la variación desde el conteo previo hasta los 29 dda se comportó de manera aleatoria, presentándose casos en los que el número de plantas de maleza fue mayor y en otros casos menor, con un promedio de 37 en el conteo previo y 30 en el conteo a los 29 dda, es decir, 19% menos. Por otra parte, el cambio en la altura máxima, durante el mismo periodo, presentó una tendencia mucho más coherente, aumentando desde 17 cm de promedio en el conteo previo, hasta 59 cm promedio en el conteo final; que representa un incremento del 253%. La Figura 81 y Figura 82 ejemplifican el comportamiento observado en las parcelas con aplicación herbicida. En este caso podemos observar que el número de plantas de maleza disminuyó moderadamente, y que la altura máxima se comportó de manera aleatoria. En las parcelas con aplicación del testigo regional, se contaron, en promedio, 35 plantas en el conteo previo y 13 plantas en el conteo a los 29 dda, una disminución del 62%. Si utilizamos la ecuación de Abbott (1925), y ajustamos de acuerdo con el 19% de disminución en el número de plantas en el testigo sin aplicación, esto representa solamente un 53% de control. Por otro lado, la altura máxima promedio de las plantas en el testigo regional incrementó 3 cm (16%). De lo anterior, se puede suponer que, bajo las condiciones del experimento, el efecto de la aplicación de los tratamientos herbicidas, respecto al testigo sin aplicación, se expresó de manera más evidente en el cambio en altura máxima que en el cambio en el número de plantas. Este supuesto se analizará en la próxima sección.

Auto

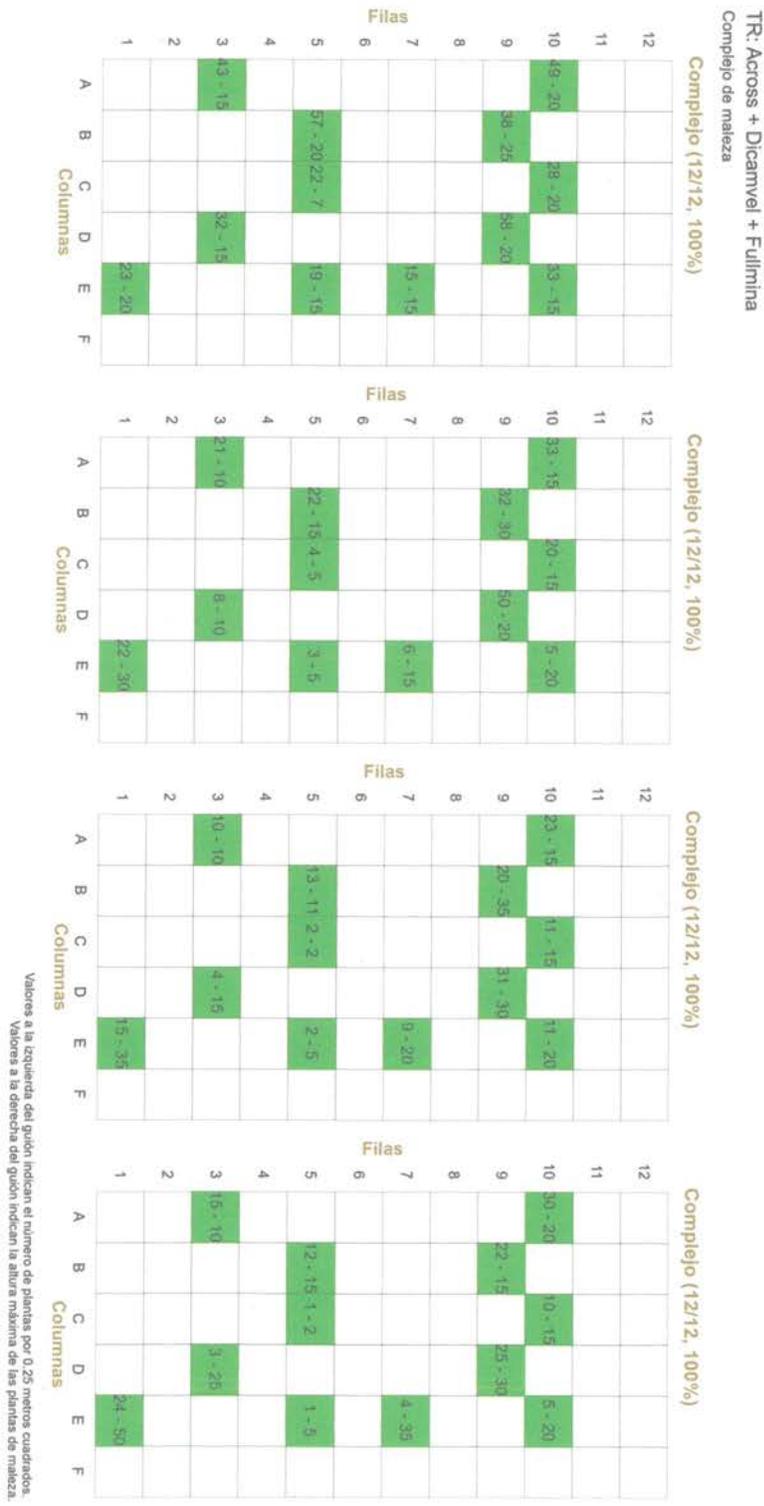
HG



Auto

HG

Figura 80. Desarrollo de la presencia del complejo de maleza durante el experimento en las parcelas del testigo sin aplicación en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.



Atto

AG

Figura 81. Desarrollo de la presencia del complejo de maleza durante el experimento en las parcelas del testigo regional en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

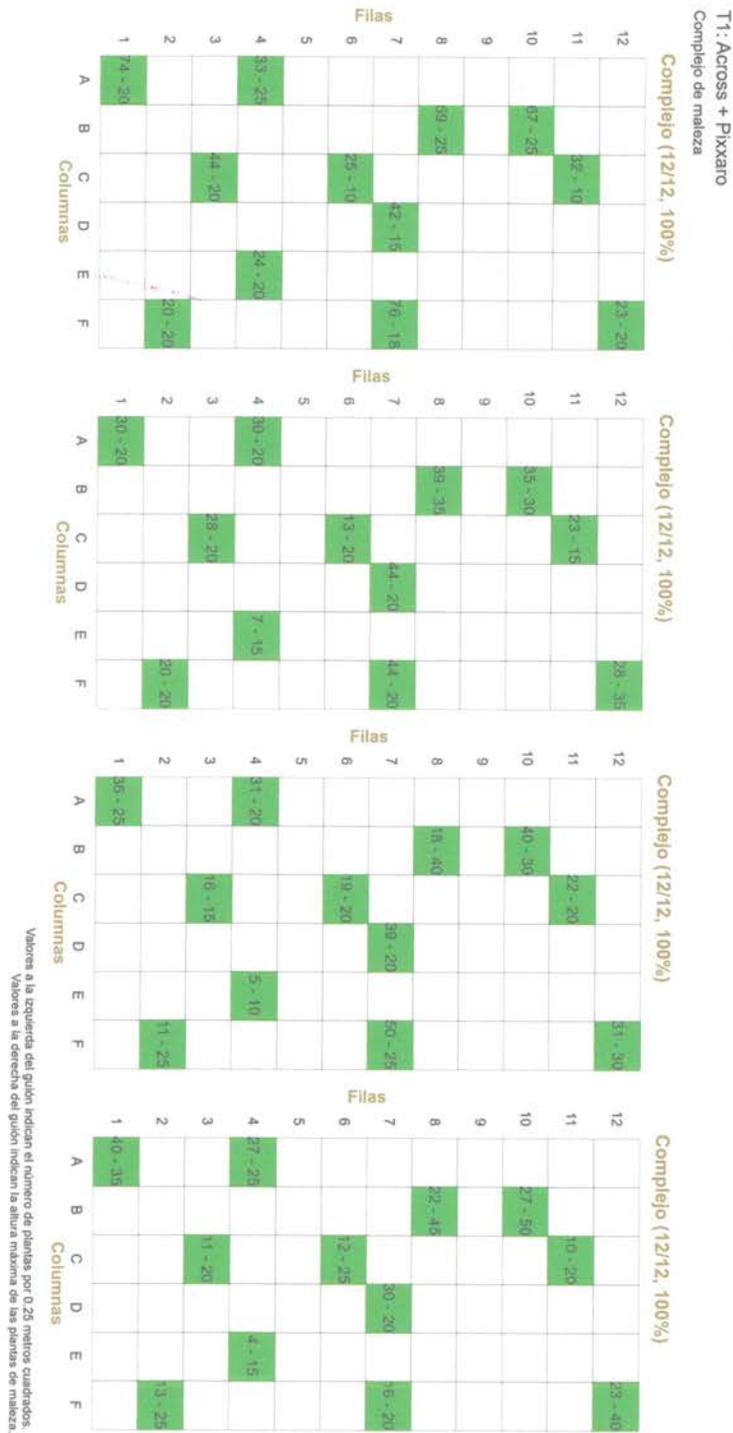


Figura 82. Desarrollo de la presencia del complejo de maleza durante el experimento en las parcelas del tratamiento 1 en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Auto

HG



8.2.3 Correlación de variables evaluadas y rendimiento.

Para determinar si las variables evaluadas tuvieron un efecto sobre el rendimiento de trigo, y en que magnitud lo hicieron, se realizaron los siguientes análisis de correlación. El objetivo de este análisis es validar que las variables medidas son las correctas para explicar la variabilidad en el rendimiento, y son suficientes para explicar las diferencias en el rendimiento observadas entre las subparcelas. Si estas variables explican una parte significativa de la variabilidad en el rendimiento, se puede proceder con confianza a los análisis comparativos entre tratamientos, sabiendo que se están utilizando las variables adecuadas.

Los datos del cambio en el número de plantas vs rendimiento (kg/ha) mostraron una correlación significativa ($P = 0.011$), con coeficiente de correlación de Pearson de -0.299 , que se considera una correlación negativa débil; y un coeficiente de determinación de 0.089 , lo cual indica que aproximadamente 9% de la variabilidad del rendimiento es explicada por el cambio en el número de plantas (Figura 83).

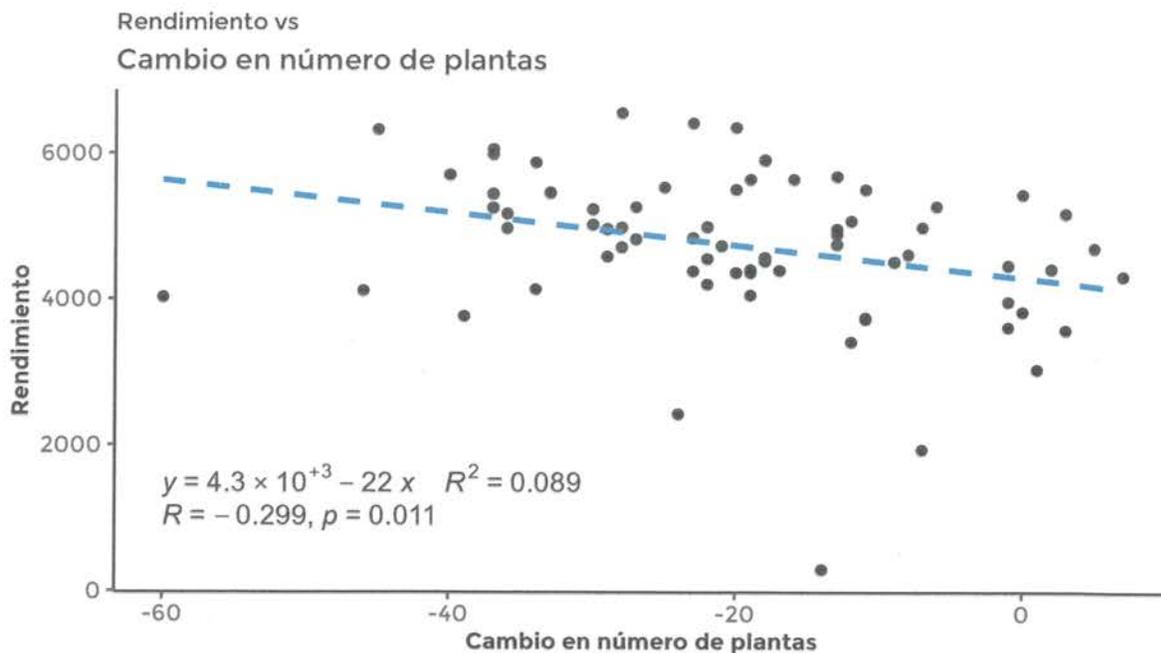


Figura 83. Correlación entre el cambio en el número de plantas a los 29 dda y el rendimiento (kg/ha) como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Los datos del cambio en la altura máxima vs rendimiento (kg/ha) mostraron una correlación significativa ($P < 0.001$), con coeficiente de correlación de Pearson de -0.424 , que se considera una correlación negativa moderada; y un coeficiente de determinación de 0.18 , lo cual indica que aproximadamente 18% de la variabilidad del rendimiento es explicada por el cambio en la altura máxima (Figura 84).

Auto

HY

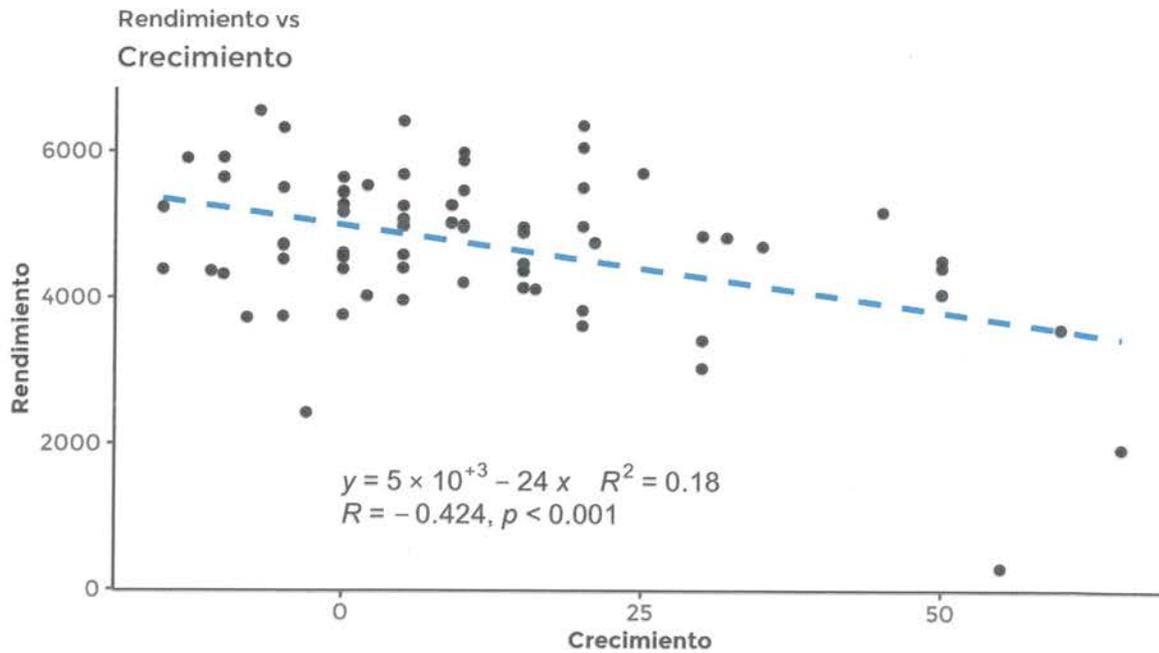


Figura 84. Correlación entre el cambio en altura máxima a los 29 dda y el rendimiento (kg/ha) como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

La ecuación de regresión del modelo anterior nos permite calcular el rendimiento (y) conociendo el cambio en la altura máxima de las plantas de maleza (x). En el Cuadro 5 se muestra la comparación entre el rendimiento estimado por el modelo y el rendimiento promedio real de las 72 subparcelas y de cada uno de los tratamientos, en donde se puede apreciar un error promedio menor al 4%.

Cuadro 5. Comparación entre el rendimiento estimado por el modelo de predicción y el rendimiento real (kg/ha) como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	Cambio en Altura	Rendimiento Estimado	Rendimiento Real	Error en Kg	Error en Porcentaje
TODOS	11	4739	4739	0	0.00
TS	42	3986	3738	248	6.64
TR	3	4931	5117	-186	-3.63
T4	7	4825	5058	-233	-4.61
T3	-1	5018	4672	346	7.41
T2	4	4897	4921	-24	-0.48
T1	9	4777	4929	-152	-3.09
Error promedio (%)					3.69

Auto

HG



8.2.4 Análisis de covarianza

En este apartado, se llevó a cabo un análisis de covarianza (ANCOVA) para investigar si la combinación de dos variables, el cambio en el número de plantas y el cambio en la altura máxima, proporciona un modelo que explique mejor la variabilidad en el rendimiento (kg/ha) en comparación con el uso exclusivo de la altura máxima.

Los datos de la combinación de las dos variables vs rendimiento (kg/ha) mostraron una correlación significativa ($P < 0.001$), con coeficiente de correlación de Pearson de -0.458, que se considera una correlación negativa moderada; y un coeficiente de determinación de 0.21, lo cual indica que aproximadamente 21% de la variabilidad del rendimiento es explicada por la combinación del cambio en el número de plantas y el cambio en la altura máxima (Figura 85).

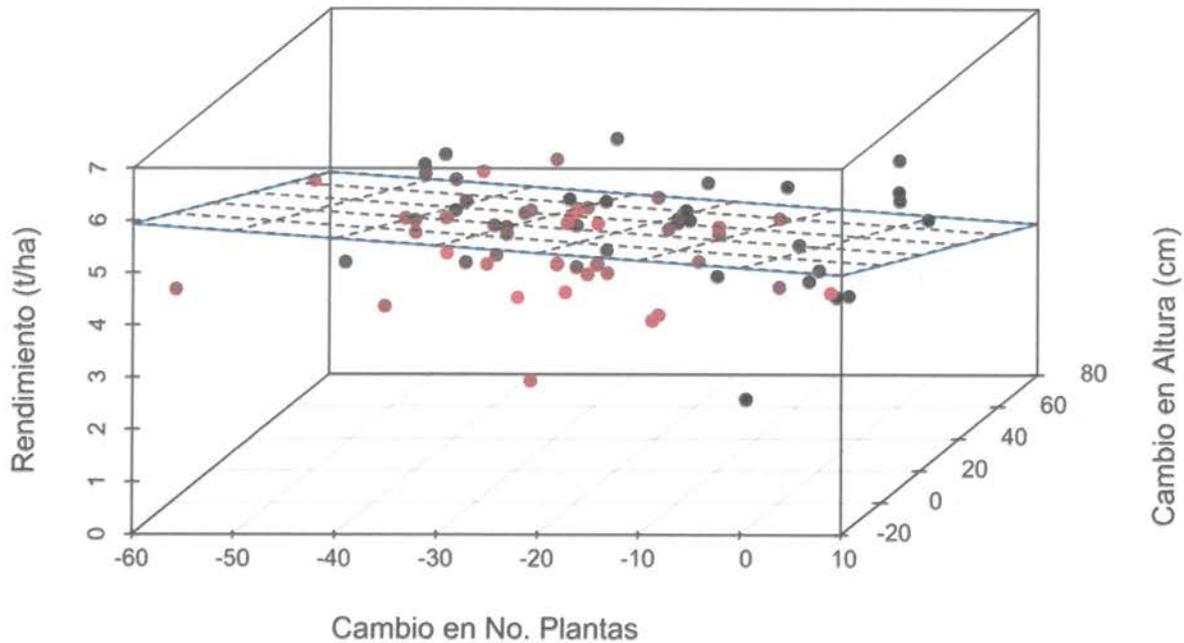


Figura 85. Plano de regresión de la relación entre el cambio en el número de plantas y la altura máxima de maleza con el rendimiento como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Auto

HG



En el Cuadro 6 se muestra la comparación entre el rendimiento estimado por el modelo combinado y el rendimiento promedio real de las 72 subparcelas. El error promedio fue de 3.55%, sin mucha diferencia respecto al 3.69% obtenido al utilizar solamente la altura máxima. Esto sugiere que ambos modelos son muy similares en términos de su capacidad para explicar la variabilidad del rendimiento.

Cuadro 6. Comparación entre el rendimiento estimado por el modelo de predicción y el rendimiento real (kg/ha) como efecto de la aplicación de mezclas de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	Cambio en Número de Plantas	Cambio en Altura máxima	Rendimiento Estimado	Rendimiento Real	Error en Kg	Error en Porcentaje
TODOS	-20	11	4739	4739	-0.28	-0.01
TS	-8	42	3927	3738	189.49	5.07
TR	-22	3	4934	5117	-182.74	-3.57
T4	-17	7	4773	5058	-285.18	-5.64
T3	-26	-1	5060	4672	388.05	8.31
T2	-23	4	4914	4921	-6.7	-0.14
T1	-24	9	4824	4929	-105.02	-2.13
Error promedio (%)						3.55

Dado que los modelos son comparables en su capacidad predictiva, y considerando que es un principio estadístico común optar por el modelo más sencillo cuando los modelos son similares en desempeño, se podría preferir el modelo que utiliza únicamente la altura máxima. Este enfoque no solo simplifica la interpretación y la aplicación práctica, sino que también reduce la posibilidad de sobreajuste.

HG

Auto



8.3 Control de maleza

En el Cuadro 7 y la Figura 86 se muestra la estadística descriptiva del número de plantas previo a la aplicación de herbicidas.

Cuadro 7. Estadística descriptiva del número de plantas del complejo de maleza en conteo previo a la aplicación de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	n	media	mediana	sd	varianza	min	max	grupos
T1	12	43.25	37.5	20.71	428.93	20	76	a
T2	12	35.58	32.5	14.02	196.81	16	59	a
T3	12	40.08	39.5	16.24	263.90	12	65	a
T4	12	33.75	35.0	15.31	234.38	10	61	a
TR	12	34.75	32.5	14.49	210.20	15	58	a
TS	12	37.50	35.5	14.68	215.72	18	62	a

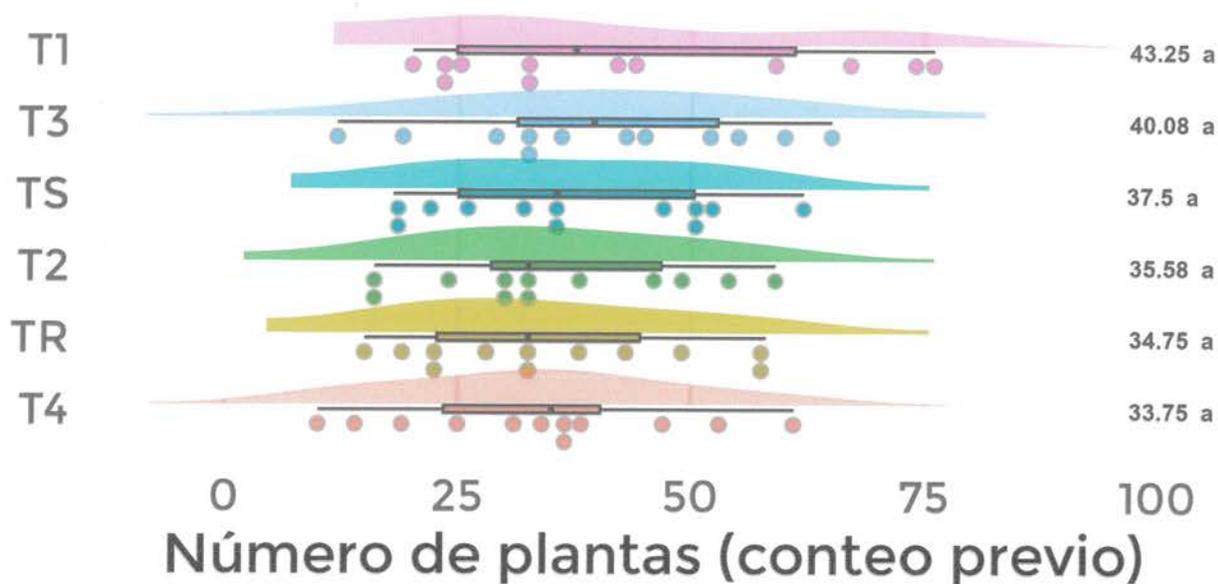


Figura 86. Gráfico de nubes de lluvia del número de plantas del complejo de maleza en conteo previo a la aplicación de herbicidas en trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

HG

Auto



En el Cuadro 8 y la Figura 87 se muestra la estadística descriptiva del número de plantas a los 29 dda.

Cuadro 8. Estadística descriptiva del número de plantas del complejo de maleza en el conteo a los 29 dda en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	n	media	mediana	sd	varianza	min	max	grupos
T1	12	19.6	19	10.3	107	4	40	ab
T2	12	12.8	12.8	9.67	93.4	0	27	b
T3	12	14.2	14	10.9	120	0	32	b
T4	12	16.8	16	9.53	90.8	2	34	ab
TR	12	12.7	11	10.4	107	1	30	b
TS	12	29.8	31.5	11.0	121	10	43	a

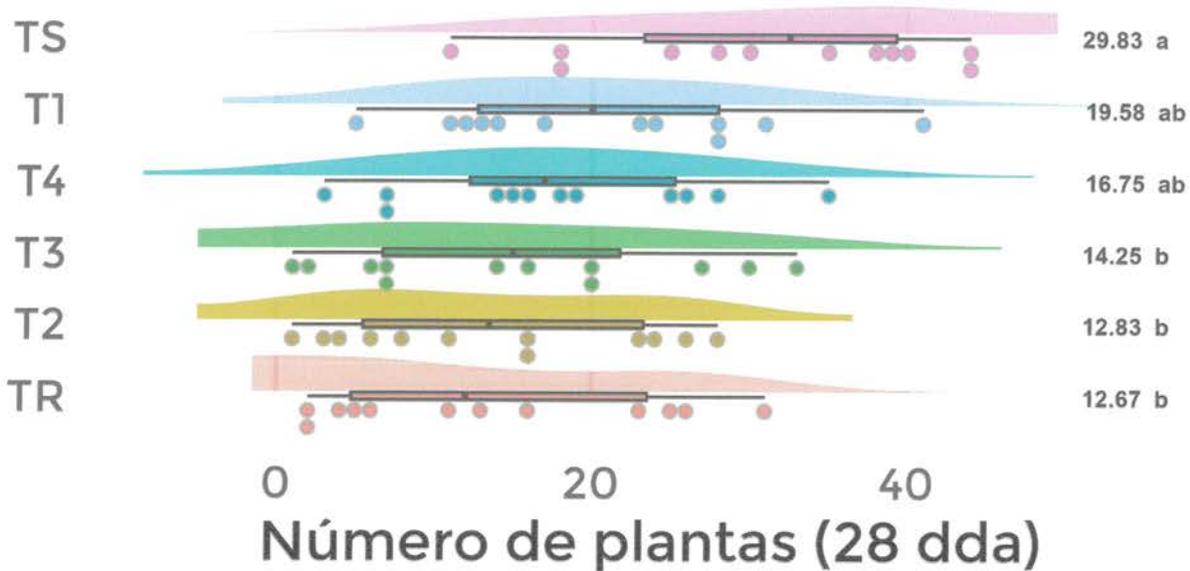


Figura 87. Gráfico de nubes de lluvia del número de plantas del complejo de maleza en el conteo a los 29 dda en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

HG

ATO



En el Cuadro 9 y la Figura 88 se muestra la estadística descriptiva de la altura máxima previo a la aplicación de herbicidas.

Cuadro 9. Estadística descriptiva de la altura máxima de las plantas del complejo de maleza en el conteo previo a la aplicación herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	n	media	mediana	sd	varianza	min	max	grupos
T1	12	19	20	5.15	26.5	10	25	a
T2	12	20.7	20.5	4.16	17.3	15	25	a
T3	12	18.8	19	4.63	21.5	11	25	a
T4	12	17.7	15	4.85	23.5	10	28	a
TR	12	17.2	17.5	4.56	20.8	7	25	a
TS	12	16.7	15	4.44	19.7	10	25	a

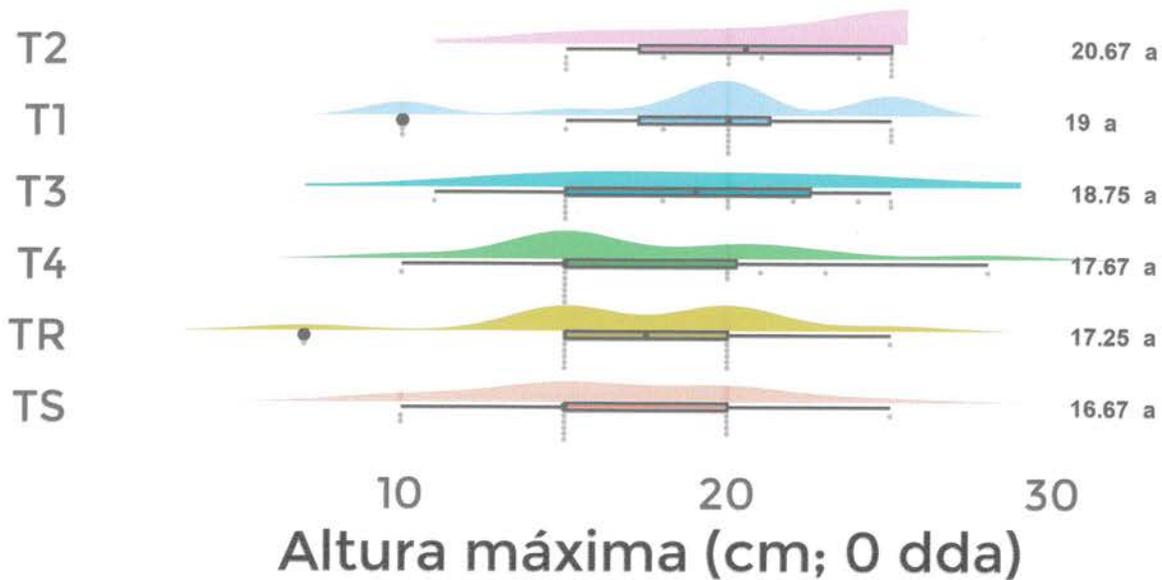


Figura 88. Gráfico de nubes de lluvia de la altura máxima de las plantas del complejo de maleza en el conteo previo a la aplicación de herbicidas en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

AG

AG



En el Cuadro 10 y la Figura 89 se muestra la estadística descriptiva de altura máxima 29 dda.

Cuadro 10. Estadística descriptiva de la altura máxima de las plantas del complejo de maleza en el conteo a los 29 dda en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	n	media	mediana	sd	varianza	min	max	grupos
T1	12	28.3	25	11.3	129	15	50	b
T2	12	25	25	15.1	227	0	50	b
T3	12	18.1	17.5	11.3	128	0	40	b
T4	12	25	25	8.53	72.7	10	40	b
TR	12	20.2	17.5	13.4	179	2	50	b
TS	12	58.8	60	16.3	264	30	80	a

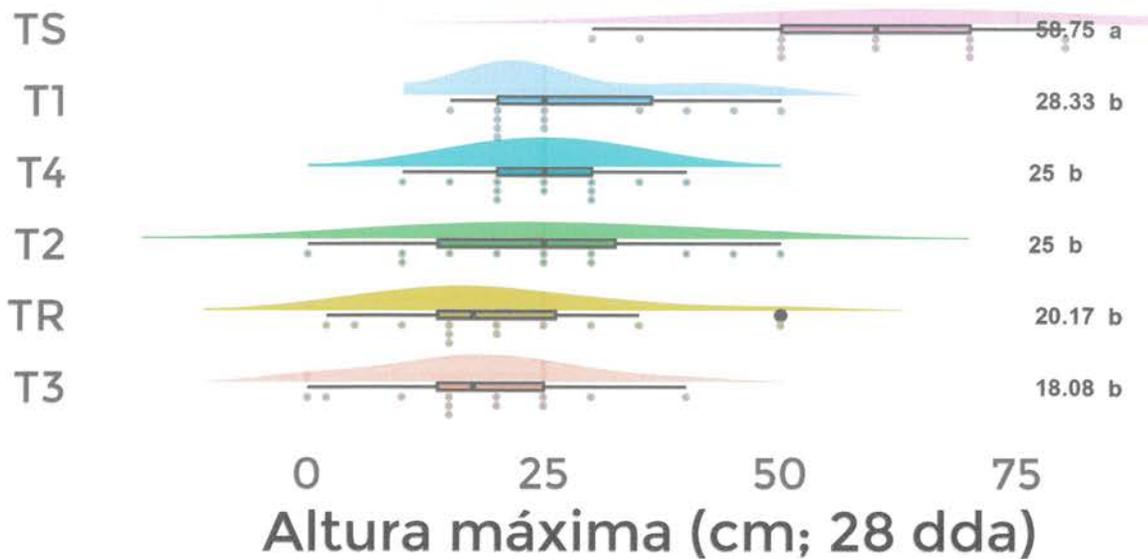


Figura 89. Gráfico de nubes de lluvia de la altura máxima de las plantas del complejo de maleza en el conteo a los 29 dda en cultivo de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

HG

Auto



8.4 Rendimiento

En el Cuadro 11 y la Figura 90 se muestra la estadística descriptiva del rendimiento de trigo en kg por hectárea.

Cuadro 11. Estadística descriptiva del efecto de los tratamientos herbicidas en el rendimiento de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

Tratamiento	n	media	mediana	sd	varianza	min	max	grupos
T1	12	4929	5025	727	528572	3820	6050	a
T2	12	4921	4855	452	203855	4315	5870	a
T3	12	4672	4395	1206	1453852	2420	6550	ab
T4	12	5058	5005	788	621397	3720	6350	a
TR	12	5117	5220	851	723479	3030	6320	a
TS	12	3738	4205	1383	1912002	290	5170	b

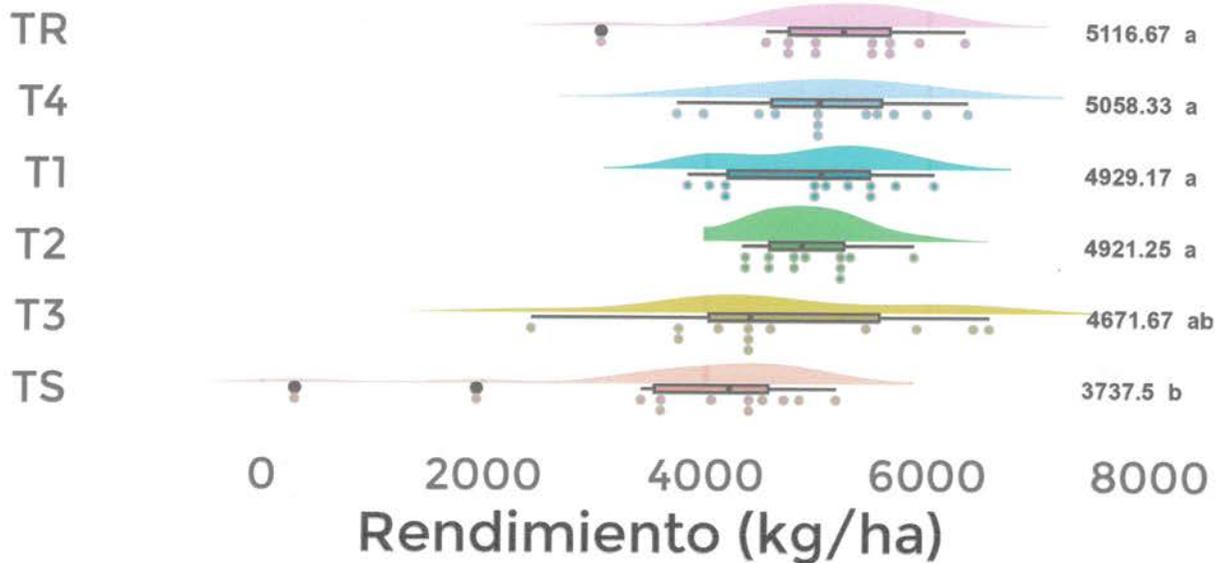


Figura 90. Gráfico de nubes de lluvia del efecto de los tratamientos herbicidas en el rendimiento de trigo en el Sur de Sonora en el Ciclo 2023-2024.

ALG

Anto



8.5 Contenido

1.	COLABORADORES DEL PROYECTO	1
2.	INTRODUCCIÓN	1
3.	OBJETIVOS.....	2
4.	AVANCES DE PRODUCTOS-ENTREGABLES (ALIMENTAR CON FOTOGRAFÍAS).....	3
5.	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES O AVANCES DEL PROYECTO (ALIMENTAR CON FOTOGRAFÍAS).....	3
6.	RESULTADOS.....	34
6.1	OBJETIVO PRINCIPAL: EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE MUESTREO.....	34
6.2	OBJETIVO SECUNDARIO: EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS PARA EL CONTROL DE MALEZA EN TRIGO.....	44
7.	CONCLUSIONES	48
8.	ANEXOS	50
8.1	CONDICIONES METEOROLÓGICAS	50
8.2	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	51
8.2.1	DISTRIBUCIÓN DE MALEZA	51
8.2.2	DESARROLLO DURANTE EL EXPERIMENTO	53
8.2.3	CORRELACIÓN DE VARIABLES EVALUADAS Y RENDIMIENTO.....	57
8.2.4	ANÁLISIS DE COVARIANZA	59
8.3	CONTROL DE MALEZA.....	61
8.4	RENDIMIENTO.....	65
8.5	CONTENIDO	66
8.6	LISTA DE FIGURAS.....	66
8.7	LISTA DE CUADROS	68
8.8	REFERENCIAS	69

8.6 Lista de figuras

FIGURA 1. A: MÉTODO TRADICIONAL DE CONTEO DE MALEZA EN CAMPO. B: FOTOGRAFÍA DE MALEZA A NIVEL DE SUELO. C: FOTOGRAFÍA DE MALEZA A NIVEL DE SUELO PROCESADA PARA LA DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE COBERTURA. D: FOTOGRAFÍA DE MALEZA A NIVEL DE SUELO UTILIZADA PARA CONTEO DE MALEZA MEDIANTE SOFTWARE. E: ORTOFOTO RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES ADQUIRIDAS POR VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS; SE APRECIA COBERTURA FOLIAR DETECTADA AUTOMÁTICAMENTE MEDIANTE SOFTWARE.	2
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN EXPERIMENTAL PARA EVALUACIÓN DE HERBICIDAS EN TRIGO VARIEDAD NOROESTE EN EL SITIO EXPERIMENTAL VALLE DEL MAYO EN EL CICLO 2023-2024.	4
FIGURA 3. ESTUDIANTE REALIZANDO CONTEO DE PLANTAS DE MALEZA.....	5
FIGURA 4. ESTUDIANTES RECOLECTANDO DATOS DE ALTURA MÁXIMA DE PLANTAS DE MALEZA.....	5
FIGURA 5. MEDIDOR DE CLOROFILA SPAD 502 PLUS® MODELO 2900P DE MINOLTA.	6
FIGURA 6. CAPTURA DEL SOFTWARE DOTDOTGOOSE.....	6
FIGURA 7. SIEMBRA EN SECO; 6 DE DICIEMBRE DE 2023.....	7
FIGURA 8. PRIMER RIEGO; 10 DE DICIEMBRE DE 2023.	7
FIGURA 9. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 27 DE DICIEMBRE DE 2023.....	8
FIGURA 10. MARCADO DE CALLES; 3 DE ENERO DE 2024.....	8
FIGURA 11. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 5 DE ENERO DE 2024.	9
FIGURA 12. MARCADO DE SUBPARCELAS EXPERIMENTALES Y DE MUESTREO; 5 DE ENERO DE 2024.	9
FIGURA 13. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 10 DE ENERO DE 2023.	10
FIGURA 14. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 15 DE ENERO DE 2024.	10
FIGURA 15. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 20 DE ENERO DE 2024.	11
FIGURA 16. MUESTREO INICIAL; 22 DE ENERO DE 2024 (33 DÍAS DESPUÉS DE EMERGENCIA DEL CULTIVO; DDE).	11
FIGURA 17. CALIBRACIÓN DE APLICACIÓN, 23 DE ENERO DE 2024.....	12
FIGURA 18. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS, 24 DE ENERO DE 2024 (35 DDE).	12
FIGURA 19. FERTILIZACIÓN MANUAL, 25 DE ENERO DE 2024.	13
FIGURA 20. PRIMER RIEGO DE AUXILIO; 26 DE ENERO DE 2024 (35 DDE).	13

HG

ATO



FIGURA 21. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 7 DE FEBRERO DE 2024.	14
FIGURA 22. EJEMPLO DE CUADRANTE UTILIZADO EL PRIMER CONTEO DESPUÉS DE LA APLICACIÓN; 8 DE FEBRERO DE 2024 (14 DDA; 50 DDE).....	14
FIGURA 23. SEGUNDO CONTEO; 14 DE FEBRERO DE 2024 (21 DDA; 56 DDE).....	15
FIGURA 24. EJEMPLO DE CUADRANTE UTILIZADO EL SEGUNDO CONTEO DESPUÉS DE LA APLICACIÓN; 14 DE FEBRERO DE 2024 (21 DDA; 56 DDE). 15	15
FIGURA 25. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 15 DE FEBRERO DE 2024.	16
FIGURA 26. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 21 DE FEBRERO DE 2024.	16
FIGURA 27. EJEMPLO DE CUADRANTE UTILIZADO EL TERCER CONTEO DESPUÉS DE LA APLICACIÓN; 22 DE FEBRERO DE 2024 (29 DDA; 64 DDE). ...	17
FIGURA 28. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 27 DE FEBRERO DE 2024.	17
FIGURA 29. SEGUNDO RIEGO DE AUXILIO; 27 DE FEBRERO DE 2024.....	18
FIGURA 30. ALTURA DE MALEZA; 4 DE MARZO DE 2024.	18
FIGURA 31. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 7 DE MARZO DE 2024.	19
FIGURA 32. ALTURA DE MALEZA; 13 DE MARZO DE 2024.	19
FIGURA 33. ORTOFOTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 15 DE MARZO DE 2024.	20
FIGURA 34. ALTURA DE MALEZA; 19 DE MARZO DE 2024.	20
FIGURA 35. ORTOFOTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 1 DE ABRIL DE 2024.....	21
FIGURA 36. PRESENCIA DE ACAME EN PARCELAS CERCANAS A CABECERA CON MAYOR INFESTACIÓN DE MALEZA; 1 DE ABRIL DE 2024.	21
FIGURA 37. ORTOFOTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 8 DE ABRIL DE 2024.....	22
FIGURA 38. VISTA AÉREA DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 8 DE ABRIL DE 2024.....	22
FIGURA 39. ALTURA DE MALEZA; 9 DE ABRIL DE 2024.	23
FIGURA 40. ORTOFOTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 11 DE ABRIL DE 2024.....	23
FIGURA 41. VISTA AÉREA DE PARCELA EXPERIMENTAL; 11 DE ABRIL DE 2024.....	24
FIGURA 42. EVIDENCIA DE CONTROL EN PARCELAS CON APLICACIÓN DE HERBICIDA; 15 DE ABRIL DE 2024.....	25
FIGURA 43. EJEMPLO DE INFESTACIÓN DE MALEZA EN PARCELA SIN APLICACIÓN DE HERBICIDA; 15 DE ABRIL DE 2024.	25
FIGURA 44. EJEMPLO DE INFESTACIÓN DE MALEZA EN PARCELA SIN APLICACIÓN DE HERBICIDA; 15 DE ABRIL DE 2024.	25
FIGURA 45. VISTA AÉREA DE PARCELA EXPERIMENTAL; 15 DE ABRIL DE 2024.....	26
FIGURA 46. ORTOFOTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 15 DE ABRIL DE 2024.....	26
FIGURA 47. EVIDENCIA DE CONTROL EN PARCELAS CON APLICACIÓN DE HERBICIDA; 15 DE ABRIL DE 2024.....	27
FIGURA 48. EVIDENCIA DE CONTROL EN PARCELAS CON APLICACIÓN DE HERBICIDA; 15 DE ABRIL DE 2024.....	27
FIGURA 49. DRON UTILIZADO PARA LA CAPTURA DE IMÁGENES; 15 DE ABRIL DE 2024.	28
FIGURA 50. ALTURA DE MALEZA; 24 DE ABRIL DE 2024.	28
FIGURA 51. VISTA AÉREA DE PARCELA EXPERIMENTAL; 24 DE ABRIL DE 2024.....	29
FIGURA 52. ORTOFOTO DE PARCELA EXPERIMENTAL; 24 DE ABRIL DE 2024.	29
FIGURA 53. VISTA AÉREA DE PARCELA EXPERIMENTAL; 26 DE ABRIL DE 2024.....	30
FIGURA 54. ORTOFOTO DE PARCELA EXPERIMENTAL; 26 DE ABRIL DE 2024.	30
FIGURA 55. PERSONAL DE CAMPO DURANTE EL MUESTREO PARA LA DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO; 26 DE ABRIL DE 2024.....	31
FIGURA 56. ESTUDIANTE DURANTE EL MUESTREO PARA LA DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO; 26 DE ABRIL DE 2024.	31
FIGURA 57. ESTUDIANTE DURANTE EL MUESTREO PARA LA DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO; 26 DE ABRIL DE 2024.	32
FIGURA 58. VISTA AÉREA DE LA PARCELA DURANTE LA TRILLA; 21 DE MAYO DE 2024.	32
FIGURA 59. ORTOFOTO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL; 22 DE MAYO DE 2024.....	33
FIGURA 60. VERSIÓN WEB DEL PRESENTE INFORME (HTTPS://BASADOS.SONORAWEEEDSCIENCE.ORG).	33
FIGURA 61. FOTOGRAFÍA DEL ÁREA DE MUESTREO TOMADAS EN LAS PRUEBAS PRELIMINARES A NIVEL DE SUELO (IZQUIERDA) Y DESDE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DERECHA); 21 DDE.....	34
FIGURA 62. FOTOGRAFÍA DEL ÁREA DE MUESTREO TOMADAS DURANTE EL CONTEO PREVIO A LA APLICACIÓN HERBICIDA A NIVEL DE SUELO (IZQUIERDA) Y DESDE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DERECHA); 33 DDE.	35
FIGURA 63. FOTOGRAFÍA DEL ÁREA DE MUESTREO TOMADAS DURANTE EL CONTEO A LOS 14 DDA A NIVEL DE SUELO (IZQUIERDA) Y DESDE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DERECHA); 50 DDE.....	35
FIGURA 64. CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE PLANTAS DE <i>C. MURALE</i> CONTADAS MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO BASADO EN IMÁGENES.	37
FIGURA 65. CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE PLANTAS DE <i>A. PALMERI</i> CONTADAS MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO BASADO EN IMÁGENES.	37

HG

Auto



FIGURA 66. CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE PLANTAS DE *P. ACUTIFOLIA* CONTADAS MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO BASADO EN IMÁGENES. 38

FIGURA 67. CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA CONTADAS MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO BASADO EN IMÁGENES. 38

FIGURA 68. COMPOSICIÓN DE SEGMENTOS DE *C. MURALE* OBTENIDOS CON DOTDOTGOOSE. 41

FIGURA 69. EJEMPLO DE IMÁGENES DE *C. MURALE* ETIQUETADAS UTILIZANDO LA PLATAFORMA ROBOFLOW. 41

FIGURA 70. COMPOSICIÓN DE SEGMENTOS DE *A. PALMERI* OBTENIDOS CON DOTDOTGOOSE. 42

FIGURA 71. EJEMPLO DE IMÁGENES DE *A. PALMERI* ETIQUETADAS UTILIZANDO LA PLATAFORMA ROBOFLOW. 42

FIGURA 72. COMPOSICIÓN DE SEGMENTOS DE *P. ACUTIFOLIA* OBTENIDOS CON DOTDOTGOOSE. 43

FIGURA 73. EJEMPLO DE IMÁGENES DE *P. ACUTIFOLIA* ETIQUETADAS UTILIZANDO LA PLATAFORMA ROBOFLOW. 43

FIGURA 74. NÚMERO DE PLANTAS POR TRATAMIENTO Y FECHA DE EVALUACIÓN COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 44

FIGURA 75. ALTURA MÁXIMA POR TRATAMIENTO Y FECHA DE EVALUACIÓN COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 45

FIGURA 76. FACTORES DE PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 47

FIGURA 77. TEMPERATURA DURANTE EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO DE EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024 (CESAVE - SIAFESON, 2024). 50

FIGURA 78. VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE LA SEMANA DE APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 50

FIGURA 79. PRESENCIA DE LAS DISTINTAS ESPECIES DE MALEZA EN EL CONTEO PREVIO A LA APLICACIÓN DE HERBICIDA EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 52

FIGURA 80. DESARROLLO DE LA PRESENCIA DEL COMPLEJO DE MALEZA DURANTE EL EXPERIMENTO EN LAS PARCELAS DEL TESTIGO SIN APLICACIÓN EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 54

FIGURA 81. DESARROLLO DE LA PRESENCIA DEL COMPLEJO DE MALEZA DURANTE EL EXPERIMENTO EN LAS PARCELAS DEL TESTIGO REGIONAL EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 55

FIGURA 82. DESARROLLO DE LA PRESENCIA DEL COMPLEJO DE MALEZA DURANTE EL EXPERIMENTO EN LAS PARCELAS DEL TRATAMIENTO 1 EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 56

FIGURA 83. CORRELACIÓN ENTRE EL CAMBIO EN EL NÚMERO DE PLANTAS A LOS 29 DDA Y EL RENDIMIENTO (KG/HA) COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 57

FIGURA 84. CORRELACIÓN ENTRE EL CAMBIO EN ALTURA MÁXIMA A LOS 29 DDA Y EL RENDIMIENTO (KG/HA) COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 58

FIGURA 85. PLANO DE REGRESIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO EN EL NÚMERO DE PLANTAS Y LA ALTURA MÁXIMA DE MALEZA CON EL RENDIMIENTO COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 59

FIGURA 86. GRÁFICO DE NUBES DE LLUVIA DEL NÚMERO DE PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN CONTEO PREVIO A LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 61

FIGURA 87. GRÁFICO DE NUBES DE LLUVIA DEL NÚMERO DE PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN EL CONTEO A LOS 29 DDA EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 62

FIGURA 88. GRÁFICO DE NUBES DE LLUVIA DE LA ALTURA MÁXIMA DE LAS PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN EL CONTEO PREVIO A LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 63

FIGURA 89. GRÁFICO DE NUBES DE LLUVIA DE LA ALTURA MÁXIMA DE LAS PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN EL CONTEO A LOS 29 DDA EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 64

FIGURA 90. GRÁFICO DE NUBES DE LLUVIA DEL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS HERBICIDAS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024. 65

8.7 Lista de cuadros

CUADRO 1. TRATAMIENTOS Y DOSIS DE HERBICIDAS EVALUADOS EN TRIGO VARIEDAD NOROESTE EN EL SITIO EXPERIMENTAL VALLE DEL MAYO EN EL CICLO 2023-2024. 4

HG

Auto



CUADRO 2. NÚMERO DE PLANTAS DE MALEZA CONTADAS POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO BASADO EN IMÁGENES (N=72) EVALUADOS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	36
CUADRO 3. COMPARACIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS ENTRE MÉTODOS DE MUESTREO DE MALEZA EVALUADOS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	39
CUADRO 4. EFECTO DE DIFERENTES TRATAMIENTOS SOBRE EL CAMBIO EN NÚMERO Y ALTURA DE PLANTAS DE MALEZA, CONTENIDO DE CLOROFILA Y RENDIMIENTO DE GRANO DE TRIGO, E ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD RELATIVA COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	46
CUADRO 5. COMPARACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO ESTIMADO POR EL MODELO DE PREDICCIÓN Y EL RENDIMIENTO REAL (KG/HA) COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	58
CUADRO 6. COMPARACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO ESTIMADO POR EL MODELO DE PREDICCIÓN Y EL RENDIMIENTO REAL (KG/HA) COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	60
CUADRO 7. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL NÚMERO DE PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN CONTEO PREVIO A LA APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	61
CUADRO 8. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL NÚMERO DE PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN EL CONTEO A LOS 29 DDA EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	62
CUADRO 9. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA ALTURA MÁXIMA DE LAS PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN EL CONTEO PREVIO A LA APLICACIÓN HERBICIDAS EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	63
CUADRO 10. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA ALTURA MÁXIMA DE LAS PLANTAS DEL COMPLEJO DE MALEZA EN EL CONTEO A LOS 29 DDA EN CULTIVO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	64
CUADRO 11. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS HERBICIDAS EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO EN EL SUR DE SONORA EN EL CICLO 2023-2024.	65

8.8 Referencias

- ABBOTT W (1925). A METHOD OF COMPUTING THE EFFECTIVENESS OF AN INSECTICIDE. JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY **18**, 265–267.
- CESAVE - SIAFESON (2024). RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DE SONORA. *RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DE SONORA*. DISPONIBLE EN: WWW.SIAFESON.COM/REMAS (ACCESADO EL 3 DE SEPTIEMBRE, 2024).
- MADEC S, IRFAN K, VELUMANI K ET AL. (2023). VEGANN, VEGETATION ANNOTATION OF MULTI-CROP RGB IMAGES ACQUIRED UNDER DIVERSE CONDITIONS FOR SEGMENTATION. SCIENTIFIC DATA **10**, 302.
- OERKE E-C (2006). CROP LOSSES TO PESTS. THE JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE **144**, 31–43.
- RIEPMAN P & WENG WP (1963). A COMPARISON OF METHODS OF RECORDING HERBACEOUS WEEDS IN WEED CONTROL EXPERIMENTS. WEED RESEARCH **3**, 26–34.
- VALDEZ AVILÉS, R. (2024). DEJAN ZAFRAS POCO TRIGO EN EL VALLE DEL MAYO. NOPASANADA. DISPONIBLE EN: [HTTPS://NOPASANADA.MX/2024/06/DEJAN-ZAFRAS-POCO-TRIGO-EN-EL-VALLE-DEL-MAYO/](https://NOPASANADA.MX/2024/06/DEJAN-ZAFRAS-POCO-TRIGO-EN-EL-VALLE-DEL-MAYO/) (ACCESADO EL 3 DE SEPTIEMBRE, 2024).

HE

ATO