



**INFORME FINAL DE RESULTADOS**  
**28 DE JULIO DE 2023**

**Nombre del proyecto: APLICACIÓN VARIABLE DE FERTILIZANTES EN TRIGO, MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS EN EL SUR DE SONORA.**

**Fecha del inicio del proyecto: 30 DE NOVIEMBRE DE 2022**

**Fecha de terminación del proyecto: 30 DE SEPTIEMBRE DE 2023**

**Responsable del Proyecto: Dr. Juan Manuel Cortés Jiménez**

**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
M.C. Alma Angélica Ortiz Ávalos <a href="mailto:ortiz.alma@inifap.gob.mx">ortiz.alma@inifap.gob.mx</a> INIFAP	Siembra y manejo agronómico del cultivo Muestreo foliar

**2. Introducción**

El estado de Sonora es el principal productor de trigo en México. En promedio de los últimos diez años, se han establecido 246,450 hectáreas, con un rendimiento de 6.73 t ha<sup>-1</sup>. En el sur de Sonora comprendido por los municipios de Cajeme, Navojoa, Benito Juárez, Etchojoa, Huatabampo, Bácum, San Ignacio Río Muerto y Guaymas, se establece el 90% del trigo sembrado en el estado, con un rendimiento promedio de los últimos diez años de 6.67 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2022). Hasta el ciclo 2020-2021 el principal costo de producción de trigo es la fertilización, en donde se invierte el 25% de los costos totales, (Cortés *et al.*, 2011), sin embargo, para el ciclo 2021-2022 los costos de los fertilizantes llegaron a triplicarse, lo cual representó un aumento de hasta el 45% de los costos totales del cultivo.

El nitrógeno es el elemento que se encuentra más deficiente en esta región (Cortés *et al.*, 2003), En trigo se aplican hasta 350 unidades de nitrógeno. En el caso de fósforo la dosis aplicada fluctúa entre 100 y 150 kg de fosfato mono amónico. El análisis de suelo es una herramienta poco utilizada en la región y cuando se usa, el método de muestreo aleatorio que se recomienda para obtener una muestra compuesta, genera una recomendación que se debe de aplicar a todo el lote analizado y no se considera la variabilidad que existe en el terreno, la cual puede mayor al 30% en el caso de fósforo y de 20% en nitrógeno (Cortés *et al.*, 2022). Actualmente, ya existen herramientas para determinar zonas homogéneas de respuesta a los fertilizantes, falta determinar la magnitud de la respuesta en base a las imágenes de satélite y la tecnología para la aplicación variable de acuerdo a la respuesta esperada.



### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General.

Contribuir a incrementar la eficiencia en el uso de fertilizantes en el cultivo de trigo en el sur de Sonora.

#### 3.2 Objetivos específicos.

Determinar zonas de respuesta homogénea a nitrógeno y fósforo en el cultivo de trigo.

Determinar la magnitud de la respuesta a nitrógeno y fósforo en zonas identificadas como de respuesta homogénea en trigo.

Proponer un modelo para la aplicación variable de nitrógeno y fósforo en zonas con diferente respuesta a estos elementos.

#### 3.3 Productos-Entregables (alimentar con fotografías)

##### ENTREGABLES

Producto /Entregable	Comentarios
Informe de 2 eventos de transferencia de tecnología (día demostrativo y/o publicación)	Demostración y publicación durante el Día del Agricultor 2023
Informe de avances	Al 31 de marzo y 30 de junio de 2023
Modelo de aplicación variable de fertilizantes	Entregado el 30 de junio de 2023
Informe final (técnico y financiero)	Entregado el 28 de julio de 2023

Durante noviembre se preparó el terreno y se aplicó el riego de presiembra. El 2 de diciembre se sembró la variedad Don Lupe con 100 kg/ha de semilla en surcos a 80 cm de separación y dos hileras de plantas separadas a 30 cm (Figura 1). No se fertilizó en presiembra ni a la siembra.



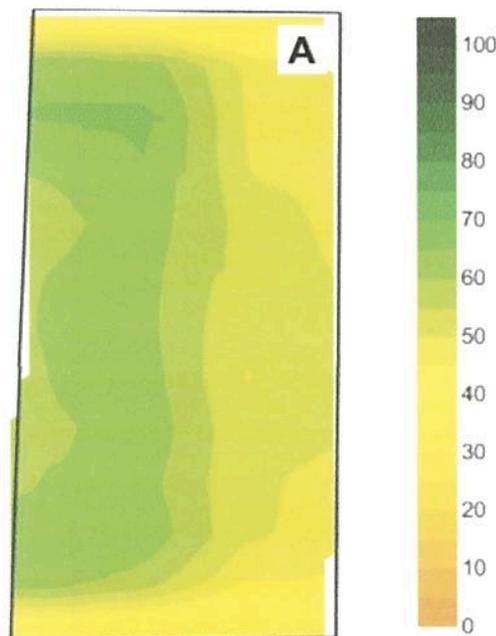
Figura 1. Siembra de trigo en lote experimental el 02 de diciembre de 2022



Durante enero se seleccionaron dos unidades experimentales de 12 surcos de ancho por 110 metros de longitud diferentes en su color y en su biomasa a simple vista. Se aplicaron al voleo los tratamientos de nitrógeno a base de urea antes del primer riego de auxilio (Cuadro 1). La unidad experimental fue de 8 surcos de 10 metros de longitud con dos repeticiones por tratamiento. Se agregó un tratamiento exploratorio con micro elementos (Bio quelatos). Se tomó como criterio, que la menor biomasa era un indicador de una mayor deficiencia de nitrógeno y por lo tanto se debería aplicar una dosis mayor. El primer riego se aplicó el día 20 de enero. Se obtuvo el índice de biomasa (IB) a partir de imágenes de satélite el día 21 de enero y se confirmó que una de las franjas era homogénea a lo largo de los 12 surcos, mientras que la otra franja, aunque con menor homogeneidad, era diferente con respecto a la otra, ya que mostró un menor índice de biomasa (Figura 1).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización aplicados antes del primer riego

Tratamiento Núm.	Franja con mayor biomasa		Franja con menor biomasa	
	Urea kg/ha	Nitrógeno kg/ha	Urea kg/ha	Nitrógeno kg/ha
1	0	0	0	0
2	300	138	400	184
3	400	184	500	230
4	500	230	600	276
5	600	276	700	322
6	500 + micros	230 + micros	600 + micros	276 + micros

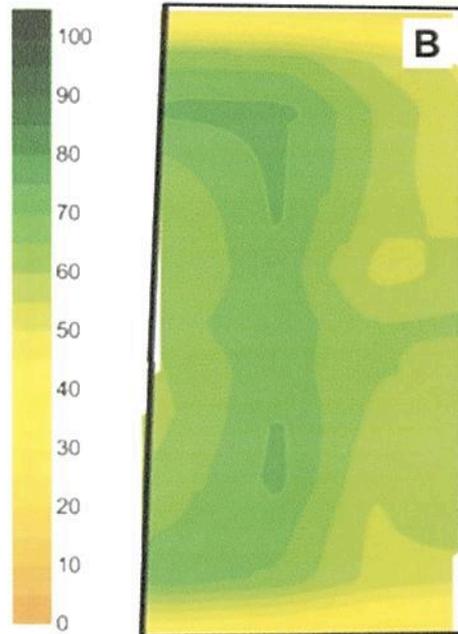


**A: 21/01/2023**

Figura 1. Zona de mayor biomasa a la izquierda y de menor biomasa a la derecha



Para el 5 de febrero se observó un incremento en el índice de biomasa en las imágenes de satélite, lo cual fue congruente con lo observado visualmente en el cultivo (Figuras 2 y 3).



**B: 05-02-2023**

Figura 2. Zona de mayor biomasa a la izquierda y de menor biomasa a la derecha



Figura 3. Testigo en lote con menor biomasa. Izquierda el 7 de febrero. Derecha el 18 de marzo

Para el 31 de marzo fue evidente la diferencia en biomasa y en el potencial de rendimiento del trigo en las zonas con mayor y menor biomasa detectadas en las imágenes de satélite (Figura 4).



Figura 4. Trigo el 31 de marzo. Izquierda con mayor biomasa. Derecha con menor biomasa.

Durante el mes de marzo se participó en el evento demostrativo Día del Agricultor 2023, en la estación Número 4 en el tema de nutrición de trigo. El evento se realizó los días 22 y 23 de marzo del año en curso. Se anexa constancia de nombramiento y lista de asistencia oficial.

Los avances de investigación mostrados en el evento demostrativo, constituyen una base para el estudio de la aplicación variable de fertilizantes y abonos orgánicos en unidades experimentales pequeñas donde la aplicación de los insumos se puede hacer de forma manual. Una vez cuantificadas las ventajas de este sistema, se podrá extrapolar a lotes comerciales mediante el diseño de los modelos correspondientes y la determinación de la variabilidad necesaria para implementar sistemas de aplicación variable de fertilizantes.

**Constancia como expositor en el evento demostrativo y lista de asistencia**

**AGRICULTURA** **inifap**  
CAMPO EXPERIMENTAL NORMAN E. BORLAUG  
ESTACIÓN DE CAMPO

Ciudad Obregon, Sonora a 27 de marzo de 2023

**NOMBRAMIENTO EN EVENTO MASIVO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA**

POR MEDIO DE LA PRESENTE SE EXTIENDE EL NOMBRAMIENTO PARA LA ESTACION DEMOSTRATIVA "MANEJO AGRONÓMICO DEL TRIGO: NUTRICIÓN" DEL EVENTO MASIVO A EL DR. JUAN MANUEL CORTÉS JIMÉNEZ, LO ANTERIOR DENTRO DEL EVENTO DÍA DEL AGRICULTOR 2023 LLEVADO A CABO LOS DÍAS 22 Y 23 DE MARZO DEL PRESENTE EN EL CAMPO EXPERIMENTAL NORMAN E. BORLAUG, CAJEME, SONORA

DE ANTEMANO SE AGRADECE SU COLABORACION EN LA REALIZACION DE DICHO EVENTO

ATENTAMENTE  
JEFE DEL CAMPO EXPERIMENTAL  
NORMAN E. BORLAUG

*[Signature]*  
M.C. EDGAR ADALBERTO CUBEDO RUIZ

*[Stamp]*  
INIFAP CAMPO EXPERIMENTAL NORMAN E. BORLAUG  
27 MAR 2023  
OFICINA DE PARTES

C. p. Archivo  
EACR.mig\*

*[Logo]* 2023 Fomento VIII A

**AGRICULTURA** **inifap**  
CAMPO EXPERIMENTAL NORMAN E. BORLAUG  
ESTACIÓN DE CAMPO

Ciudad Obregon, Sonora a 27 de marzo de 2023

ASUNTO: ASISTENCIA DDA  
CENEB 2023

C. DR. JESUS ARBUJOL MARQUEZ CERVANTES  
DIRECTOR DE INVESTIGACION DEL CIRSO  
P R E S E N T E.

Por medio de la presente, me permito informar a Usted que los datos de registro de asistencia al evento "DÍA DEL AGRICULTOR 2023", realizado los días 22 y 23 de marzo del año en curso en las instalaciones del Campo Experimental Norman E. Borlaug, Cajeme, Sonora, son los siguientes:

TIPO DE ASISTENTE	CANTIDAD
PRODUCTORES	771
TECNICOS	248
ACADEMICOS/INVESTIGADORES	146
ESTUDIANTES	551
COMERCIALIZADOR/INDUSTRIALIZADOR	144
OTROS	179
TOTAL	2019

De los cuales: 481 fueron mujeres y 1538 hombres. Cabe indicar que el respaldo de la información antes mencionada consiste en las listas de asistencia debidamente firmadas, en su versión impresa original, y se encuentran en el archivo de este Campo Experimental

ATENTAMENTE  
JEFE DEL CAMPO EXPERIMENTAL  
NORMAN E. BORLAUG

*[Signature]*  
M.C. EDGAR ADALBERTO CUBEDO RUIZ

*[Stamp]*  
INIFAP CAMPO EXPERIMENTAL NORMAN E. BORLAUG  
27 MAR 2023  
OFICINA DE PARTES

C. p. Archivo  
EACR.mig\*

*[Logo]* 2023 Fomento VIII A

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*





Figura 6. Trigo el 16 de mayo en la zona de mayor biomasa

El rendimiento de grano en los tratamientos sin nitrógeno, en las zonas diagnosticadas como de mayor y menor índice de biomasa por las imágenes de satélite, se reporta en el cuadro 2. Fue muy evidente el contraste entre el rendimiento obtenido en ambas zonas, 5.649 y 2.049 ton/ha en la zona de mayor y menor biomasa respectivamente.

Cuadro 2. Estadística descriptiva para el rendimiento de grano en los tratamientos sinfertilización en las zonas de mayor y menor Índice de Biomasa.

Diagnóstico sensor remoto	Estadística descriptiva					
	Med	Max	Min	Rango	Desv std	C.V.%
Mayor Índice de Biomasa	5.169	5.649	4.629	1.020	0.437	8.46
Menor Índice de Biomasa	1.749	2.049	1.522	0.527	0.255	14.57

Con el valor de la biomasa por tratamiento, se estimó el rendimiento de grano y se generaron las curvas de respuesta a la aplicación de nitrógeno. En la Figura 7 se puede observar que la máxima respuesta en rendimiento en la zona de mayor Índice de Biomasa fue a 400 kg/ha de Urea. Mientras que en la zona de menor Índice de Biomasa (IB), el mayor de rendimiento se obtuvo con la mayor dosis de fertilizante. La tendencia observada, indica que es muy factible que exista respuesta a una mayor dosis (Figura 8). Con esta información se cumple el segundo objetivo del proyecto, que consistió en “Determinar la magnitud de la respuesta a nitrógeno y fósforo en zonas identificadas como de respuesta homogénea en trigo”.

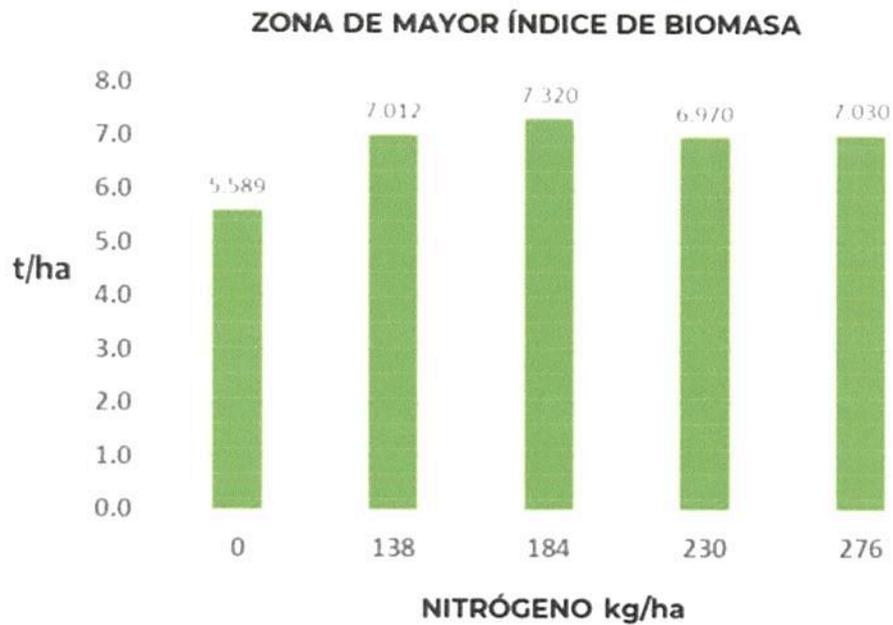


Figura 7. Dosis de nitrógeno y rendimiento de trigo en zona de mayor IB

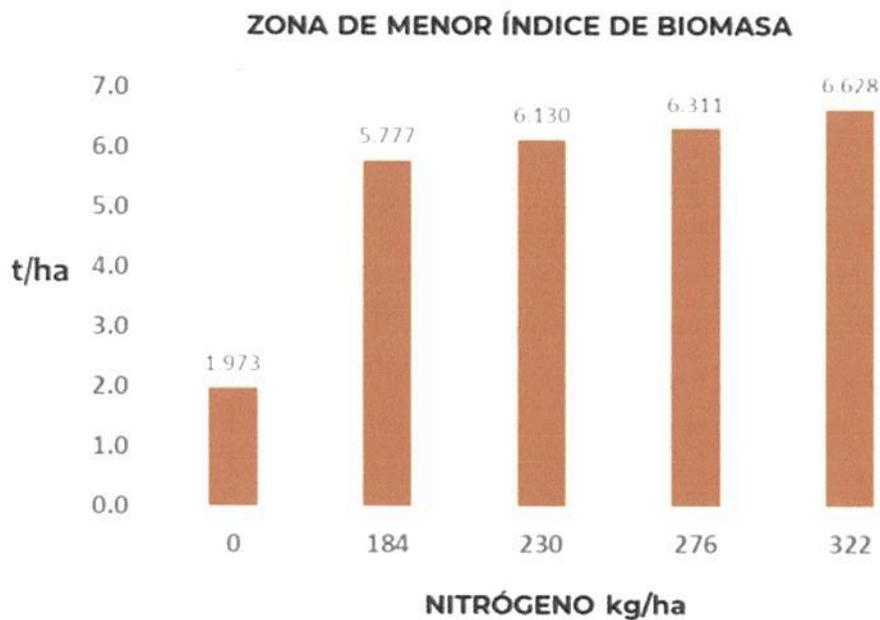


Figura 8. Dosis de nitrógeno y rendimiento de trigo en zona de menor IB

Los informes de avances y los entregables se cumplieron en los tiempos establecidos. Se realizó la presentación de avances de resultados ante la COPESI del Campo Experimental Norman E. Borlaug y ante el Consejo de Administración del PIEAES, A.C. Se atendieron dudas y se recibió retroalimentación de los participantes.



Durante julio, se realizaron análisis estadísticos de rendimiento de grano y contenido de proteína. En el Cuadro 3 se reportan los resultados en la zona de mayor IB. En rendimiento, sólo se detectaron diferencias significativas entre el testigo y el resto de los tratamientos. En el caso de proteína, el testigo sin nitrógeno presentó valores significativamente menores al resto de los tratamientos. El valor más alto se encontró con la mayor dosis de nitrógeno. Con un precio por tonelada de trigo de \$6,000 y un costo por unidad de nitrógeno de \$21.3 considerando la urea, la dosis óptima económica fue de 184 unidades de nitrógeno.

Cuadro 3. Dosis de nitrógeno, rendimiento y proteína de trigo en zona de mayor IB

Nitrógeno kg/ha	Rendimiento de grano ton/ha	Proteína Base Seca %	Proteína Base 12% humedad*	Panza Blanca %
0	5.589 b	8.525 c	7.38	99
138	7.012 a	10.565 b	9.30	47
184	7.320 a	11.277 b	9.93	19
230	6.970 a	11.443 ab	10.08	17
276	7.030 a	12.420 a	10.93	11
Tukey 0.05	0.813	1.102		

\*Premio de 7 dólares a partir de 12.3% de proteína base 12% de humedad

El contenido de proteína es el indicador de calidad más conocido, sin embargo, en las normas de recepción del trigo tanto para la industria local como para exportación, se especifica que el trigo duro o cristalino debe tener un máximo de 15% de granos con panza blanca. En base a este criterio, la dosis para obtener la calidad necesaria para la comercialización fue de 276 unidades por hectárea, cantidad con la cual no alcanza a recibir premio por proteína en el mercado local, ya que éste se otorga a partir de 12.3% en base al 12% de humedad. En la figura 9 se observa el aspecto del grano en las diferentes dosis de urea aplicadas.

UREA kg/ha	0	300	400	500	600
GRANO ton/ha	5.589	7.012	7.320	6.970	7.030
CALIDAD					

Figura 9. Aplicación de urea, rendimiento y calidad de trigo en la zona de mayor IB.



En el Cuadro 4 se reportan los resultados en la zona de menor IB. En rendimiento, el testigo tuvo un valor significativamente menor que el resto de los tratamientos. Entre 184 y 276 unidades de nitrógeno no se detectó diferencia significativa, ni entre 230 y 322 unidades. En proteína, el testigo sin nitrógeno presentó un valor significativamente menor al resto de los tratamientos, seguido de la dosis de 184 unidades de nitrógeno. Las dosis de 230, 276 y 322 fueron iguales entre si y superiores al testigo y la dosis de 184 unidades de nitrógeno. La dosis optima económica de nitrógeno fue de 322 kg/ha con una relación beneficio/costo de 1.94. En base al criterio de panza blanca, la dosis necesaria para obtener la calidad necesaria para la comercialización fue de 322 unidades por hectárea, cantidad con la cual no alcanza a recibir premio por proteína en el mercado local, ya que éste se otorga a partir de 12.3% en base al 12% de humedad. En la figura 10 se observa el aspecto del grano en las diferentes dosis de urea aplicadas.

Cuadro 4. Dosis de nitrógeno, rendimiento y proteína de trigo en zona de menor IB

Nitrógeno kg/ha	Rendimiento de grano ton/ha	Proteína Base Seca %	Proteína Base 12% humedad*	Panza Blanca %
0	1.973 c	8.553 c	7.65	97
184	5.777 b	10.265 b	9.05	33
230	6.130 ab	11.697 a	10.30	23
276	6.311 ab	11.805 a	10.38	20
322	6.628 a	12.590 a	11.08	5
Tukey 0.05	0.698	1.072		

\*Premio de 7 dólares a partir de 12.3% de proteína base 12% de humedad

*[Handwritten signature]*

UREA kg/ha	0	400	500	600	700
GRANO ton/ha	1.973	5.777	6.130	6.311	6.628
CALIDAD					

Figura 10. Aplicación de urea, rendimiento y calidad de trigo en la zona de menor IB.

La aplicación de micro elementos no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento y la proteína del grano. Los valores obtenidos fueron 6.281 y 6.201 ton/ha y 11.55 y 11.98% de proteína para el testigo y el tratamiento con micro elementos respectivamente.

*[Handwritten signature]*



Para cumplir con el tercer objetivo del proyecto que consiste en “Proponer un modelo para la aplicación variable de nitrógeno y fósforo en zonas con diferente respuesta a estos elementos”. Se describe el modelo generado para nitrógeno a partir de la información obtenida.

$$N \text{ (Urea) kg/ha} = (IBO - IBA) * IC * EUN$$

Donde:

N = Nitrógeno en forma de urea

IBO = Índice de Biomasa Óptimo

IBA = Índice de Biomasa Actual

IC = Índice de Cosecha

EUN = Extracción Unitaria de Nitrógeno

El modelo de aplicación variable para fósforo no se pudo determinar debido a que este elemento debe ser aplicado en presiembra o la siembra de cultivo, época en que este proyecto aún no recibía financiamiento.

En seguimiento a las actividades del proyecto, se validará el modelo generado para la aplicación variable de nitrógeno y se realizarán actividades de investigación para generar el modelo para fósforo.



**Firmas**

---

**Dr. Juan Manuel Cortés Jiménez**  
Investigador Responsable del Proyecto

---

**M.C. Edgar Adalberto Cubedo Ruiz**  
Jefe del Campo Experimental Norman E.  
Borlaug