

## FORMATO PARA EL REPORTE FINAL

### 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.

#### 1.1. DATOS DEL RESPONSABLE TÉCNICO (Nombre, Cargo e Institución, CVU actualizado)

Dr. Martin Cadena Zapata, Jefe del Departamento de Maquinaria Agrícola de La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. CVU 120171

#### 1.2. TÍTULO DESCRIPTIVO DE LA PROPUESTA

Validación y uso de tecnologías de Agricultura de Precisión aplicada en la reducción del uso de insumos especialmente agroquímicos en la producción de cultivos básicos. Orientado a reducción del uso del glifosato en el control de arvenses

### 2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	Tecnología de agricultura de precisión orientada a la reducción del uso de agroquímicos en unidades de producción mayores a 5 ha para una transición a manejo agroecológico
<b>ÁREA DE DESARROLLO:</b>	DESARROLLO TECNOLÓGICO (TRL 5 EN ADELANTE) Tecnología en TRL 8
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Validar y adaptar tecnología de agricultura de precisión apropiada para medianos y grandes productores (mayores a 5 ha) con la finalidad de optimizar las labores (que incluye control de arvenses), incrementar la productividad y producción mediante la aplicación racional y oportuna de insumos para contribuir a la disminución del riesgo a la salud y degradación ambiental por irracional uso de agroquímicos.
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN (meses)</b>	6 meses
<b>RELEVANCIA DEL PROYECTO (máximo 300 palabras)</b>	El proyecto es relevante porque el manejo de sitio específico (agricultura de precisión) conlleva a un uso racional de insumos entre estos los agroquímicos. Actualmente la agricultura intensiva

	<p>bajo riego de medianos y grandes productores hace un uso irracional de estos lo que está provocando graves riesgos a la salud y degradación de recursos naturales suelo, agua, flora, fauna. El validar y posteriormente capacitar a los productores en prácticas para una producción cada vez más cuidadosa en el uso de insumos, está en sintonía con la política de reducción de uso de herbicidas en la producción agrícola.</p>
<p><b>RESULTADOS E IMPACTOS (máximo 300 palabras)</b></p>	<p>Actualmente en México, los sistemas de producción agrícola intensivos orientados al mercado son ineficientes en el uso de insumos (pesticidas, fertilizantes, semillas, agua, energía) y maquinaria agrícola, lo que conlleva a incrementar riesgos a la salud humana y a la degradación del medio ambiente. La validación de un procedimiento de diagnóstico para prescripciones de manejo de sitio específico (agricultura de precisión) es una solución para el manejo eficiente, sostenible y una transición hacia sistemas agroecológicos para medianos y grandes productores (mayores a 5 ha)</p>

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

#### 3.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Uno de los retos más importantes es asegurar la alimentación de la población actual y venidera (Nature, 2010). Se espera que la población mundial incremente de 7,500 millones a más de 9,700 millones, mientras que en México aumente de 129,000 millones a 164,000 millones para el 2050 (Gerland et al, 2014; UN, 2017), mostrándose un incremento aproximado de 27% para ambos casos.

El principal factor en el déficit de alimentos se debe a un rápido incremento de la población, que a su vez si no se produce bajo buenas practicas con lleva a consecuencias adversas como uso ineficiente de insumos, contaminación ambiental, degradación de agua y suelos, esto último también exacerbado por cambios climáticos impredecibles (Constant et al., 2014; Hayashi et al., 2013)

El indiscriminado e ineficiente uso actual de agroquímicos tiene impactos negativos en el ambiente.

Debido a la importancia pública de esos efectos y el peligro que representan para la salud humana por la permanencia en los alimentos, se han tomado acciones y programas para reducir su uso particularmente en Europa (Weis et al 2012). Por el aumento del interés de la sociedad en aspectos ambientales y de salud, el manejo de arvenses sin uso de químicos está incrementando su importancia (Sahin, 2019). En particular, el uso indiscriminado de herbicidas no-específicos representa un problema hoy en día en el sector de la producción primaria y tiene su origen en la necesidad de aumentar la intensificación de los sistemas productivos. Sin embargo, con miras a asegurar una intensificación sustentable del sector, en México, el Gobierno Federal publicó un decreto para sustituir gradualmente el uso del herbicida glifosato por alternativas que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente (DOF, 2020).

A mediados de los años 80 surge la agricultura de precisión (AP) considerando la heterogeneidad de los factores de la producción, cuyo objetivo es el uso de tecnología y buenas prácticas para optimizar la aplicación de insumos: semillas, fertilizantes, herbicidas, pesticidas, y combustible, haciéndolo en el lugar preciso y en la cantidad y el tiempo adecuados (Mulla, 2013), de allí que a la AP esté íntimamente ligada con el manejo de sitio específico. Se hace notar que dentro de una parcela hay heterogeneidad en rendimiento por zonas, y que cada zona es diferente según su tipo de suelo, topografía, humedad, fertilidad y manejo previo. Es por ello, que la AP puede contribuir a proveer a la seguridad alimentaria (Gebbers, 2010), utilizando la superficie agrícola actual, minimizando insumos y maximizando la producción agrícola.

La aplicación del concepto de la agricultura de precisión requiere tres etapas: I. Acopio de datos en campo para caracterizar y georeferenciar los sitios a trabajar, II. Análisis de la información obtenida, III. Toma de decisiones e implementación; por ejemplo, la aplicación de insumos (Chartuni-Mantovani y Magdalena 2014).

Para optimizar la producción agrícola, la AP hace uso de tecnologías como sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), controladores computacionales para aplicación variable de insumos (VRA), y sensores para la recolección automatizada de datos (Stone y Raun, 2016)

En México la adopción de AP se retrasó por más de dos décadas, hasta que interactuaron las ciencias agrícolas con las tecnológicas, siendo los productores extensivos de Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Jalisco, y Guanajuato, los que han adoptado una o varias tecnologías de AP, reduciendo hasta en 75% los costos de fertilización en granos, y aumentando hasta en 20% el número de surcos, entre otros beneficios (Cabello, 2017). El área potencial mínima para mejorar los sistemas de producción son los sistemas altamente intensivos en el uso de insumos principalmente donde se dispone de infraestructura de riego. De acuerdo con información del SIAP (2021) se registra una superficie irrigada en México de 6,036,741 ha que corresponden al 29.2% de la superficie total cultivada anualmente, el 86% de esta superficie

corresponde a unidades de producción de más de 5 ha, mientras que el 14% restante tiene superficies de entre 0.2 a 5 ha. En cuanto al uso de maquinaria -importante para la AP-, sólo el 55% de las unidades de producción hace uso de tractores, lo que representa un reto aún mayor para la tarea de producir más, en forma más eficiente y sostenible alimentos a nuestro país.

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ha incursionado en el desarrollo de equipo para la agricultura de precisión, labranza de conservación en la que han publicado más de 10 artículos tanto en revistas indizadas como en congresos, 30 tesis de licenciatura y de posgrado, así como el registro de cuatro patentes relacionadas con maquinaria agrícola, (Campos et al, 2015; Reynolds et al, 2015; Cadena et al, 2003; Campos et al, 2007; Cadena et al, 2008; Campos y Cadena 2011; Demuner et al, 2012; Cadena et al, 2013; Zermeño et al, 2014; López et al, 2014; Campos et al, 2015a; Reynolds et al, 2015; Campos et al, 2015b; Guillen et al, 2017; Guillen et al, 2018; Cadena et al, 2019 a; Cadena et al, 2019b; Galindo et al, 2019; Campos et al, 2004 Patente 219637; Campos et al, 2016 Patente 3565; Campos et al, 2016 Patente 3564; Campos et al, 2013 Patente 2867)

- 3.2. JUSTIFICACIÓN. Con fundamento en elementos cualitativos y cuantitativos, problemática a atender u oportunidad de desarrollo detectada, misma que será atendida mediante la implementación del proyecto y la transferencia de los resultados.

De acuerdo con el documento de planeación agrícola nacional 2017-2030 (SAGARPA, 2017) para producir más alimentos, sanos y libres de plagas y enfermedades se requiere necesariamente de la investigación y la innovación como detonadores de nuevos mecanismos de los sistemas de producción, entre los temas principales en desarrollo está la Agricultura de Precisión en la que no solo se impulsa el desarrollo tecnológico sino también el capital humano y la transferencia integral de innovaciones y conocimiento.

La necesidad de investigar y desarrollar innovaciones aplicadas en agricultura de precisión a las condiciones de los sistemas de producción nacionales se justifica ampliamente pues se mecanizan 15.7 millones de ha, se ha logrado desarrollar material genético para uso en 9.6 millones de ha e insumos como fertilizantes en 14.8 millones de ha (SIAP 2021) y productos para control de plagas para incrementar la producción, no obstante lo anterior la productividad de los sistemas está siendo frenada se requiere la innovación con prácticas sustentables y eficientes y oportunas bajo el concepto de agricultura de precisión, conservación y climáticamente inteligente para incrementar la productividad agrícola de manera sustentable.

### 3.3. OBJETIVO GENERAL

Validar y adaptar tecnología de agricultura de precisión apropiada para medianos y grandes productores (mayores a 5 ha) con la finalidad de optimizar las labores (que incluye control de arvenses), incrementar la productividad y producción mediante la aplicación racional y oportuna de insumos para contribuir a la disminución del riesgo a la salud y degradación ambiental por irracional uso de agroquímicos.

### 3.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. Breve descripción de cada uno de ellos.

1. Elaboración de mapas de rendimiento. Se emplearán fotografías aéreas multi espectrales tomadas con un dron en diferentes fases de desarrollo del cultivo para geo referenciar la heterogeneidad de desarrollo del cultivo considerando las diferencias en su NDVI se tomarán muestras de rendimiento en las zonas diferenciadas para elaborar el mapa de rendimiento.

2. Elaboración de Mapas de Diagnostico. Basados en los mapas de diferente NDVI y rendimiento, se tomarán muestras de suelo de los sitios de heterogeneidad de rendimiento para identificar su causa física, químico, biológica y de manejo.

3. Elaboración de mapas de prescripción. Se elaborarán los mapas que contemplen la solución en los sitios específicos como serian: aplicación de mejoradores de suelo, redistribución de insumos (densidades de siembra y fertilización).

4. Evaluación de la eficiencia en el control de arvenses. Se harán cuantificaciones de la eficiencia en el control de arvenses comparando e método convencional con el control únicamente mecánico y con el control integral químico mecánico. Se harán recomendaciones del uso de equipos y sistemas eficientes en el control de arvenses.

### 3.4. ACERCAMIENTO TEÓRICO Y CONCEPTUAL. Descripción de la metodología que se empleó durante la ejecución del proyecto (técnicas, procedimientos, factores, variables e indicadores).

La parcela del proyecto es una superficie de 21 ha ubicada en el predio del pivote 1 del rancho Montoro en el municipio de Aguascalientes, Aguascalientes el predio es propiedad de la empresa Agro Ag. En el ciclo (PV 2021) del proyecto, la siembra y el manejo de cultivo se hará bajo el sistema convencional del productor empleando el cultivo de maíz variedad Hércules establecido con una densidad de población de 100, 000 plantas por ha.

Para el ciclo PV-2021 se tomaron imágenes aéreas del cultivo con el Uso de un Drone Ebee X con cámara multiespectral, para obtener los mapas de índice de vegetación NDVI y correlacionar el desarrollo el cultivo con áreas con posibles deficiencias. Para esto Se realizaron tres tomas aéreas para evaluar el desarrollo del cultivo. (30, 60 y 90 días después de la siembra) y se elaboraron los mapas de estimación de rendimiento respectivos

Una vez identificada la heterogeneidad del terreno basados en los rangos de NDVI se realizaron los muestreos de suelo específicos cinco días después de la cosecha. Las muestras de suelos fueron tomadas en las diferentes áreas dentro de los valores de los rangos de NDVI de la parcela y geo referenciando cada sitio de muestro por área.

En laboratorio acreditado y certificado (Fertilab Sde RL) se determinó: textura, Densidad aparente, MO,

CE, pH, N, P, K, Mg; Mn, B, Mg, Zn, Fe, CIC, etc. A partir de los resultados del análisis de las muestras se elaboraron los mapas de diagnóstico para el predio bajo estudio, un mapa por cada indicador de calidad de suelo.

De acuerdo a los resultados de cada muestra de suelos se tiene una recomendación por parte del mismo Laboratorio para la aplicación de nutrientes y mejoradores de suelo. Basados en todas estas recomendaciones se elaboran los mapas de prescripción de tasas de aplicación variable en el predio para los diferentes insumos. El manejo de prescripción para sitio específico contempla una redistribución de insumos de tal manera que se realice un uso eficiente de los mismos aplicando a las áreas únicamente la cantidad necesaria para obtener la meta de rendimiento y productividad.

La evaluación de cuatro sistemas de control de arvenses: 1) químico, 2) químico+ mecánico con cultivadora, 3) mecánico con azadón rotatorio y 4) mecánico con cultivadora se llevó a cabo en los terrenos del campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. Cada tratamiento se realizó en una parcela de 10 X 25 m. Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente en un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones dando un total de 12 parcelas.

Se comparó el porcentaje de la efectividad en el control de arvenses encada sistema a los 20 y 40 días después de la siembra. Se contabilizaron las malezas un día antes de aplicar el tratamiento y luego una semana después, en cada muestreo se tomaron cinco repeticiones dentro de cada parcela tanto en el entresurco como en el surco contabilizando las malezas en el mismo sitio antes y después de las labores en un área de 41.5m x 41.5 cm

- 4. GRUPO DE TRABAJO.** Descripción de las capacidades científicas, técnicas, de infraestructura y administrativas de los participantes en el proyecto y, de ser el caso, de las instituciones u organizaciones a las que estén adscritos y su relación con los objetivos planteados en el proyecto.

**Dr. Martín Cadena Zapata CVU 120171**

Formación y Capacidades.

Ing. Agr. especialista en Maquinaria Agrícola Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México (1983).

MSc. Ingeniería de Suelo y Agua. Cranfield University, Inglaterra (1988)

Certificado en Diseño de Maquinaria Agrícola. TBITC, Tsukuba, Japón. (1992)

PhD. Ingeniería Agrícola. Wageningen University, Holanda.(1999)

Áreas de desempeño profesional: Mecanización agrícola, labranza para conservación de suelo, agua y energía,

Experiencia Profesional:

Investigador en el programa de Ingeniería y Mecanización Agrícola del INIFAP con sede en Veracruz, Ver. de 1993 a 1999 en proyectos de desarrollo y validación de tecnología de mecanización para productores del Sureste de México.

Profesor-investigador de la UAAAN, en Saltillo, Coah. (de 1999 a la fecha). Docencia y desarrollo de tecnología

de mecanización y labranza de conservación para pequeños, medianos y grandes productores del Norte de México.

Línea de investigación: Mecanización, Conservación de Suelo, Agua y Energía en los sistemas de producción, dentro de la cual ha publicado 40 artículos científicos y de divulgación, dos libros, Asesor principal de 20 tesis de licenciatura y 10 de posgrado.

Registro como colaborador de una patente y tres modelos de utilidad de equipo e implementos agrícolas registrados en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

Es actualmente miembro del SNI (Sistema Nacional de Investigadores SEP-CONACYT), miembro de la Organización Internacional de Investigación en Labranza (ISTRO), miembro de la AMIA, ALIA y CIGR (Asociaciones Mexicana, Latinoamericana y Mundial de Ingeniería Agrícola). Miembro de la Sociedad Americana de Ingeniería Agrícola y Biosistemas (ASABE).

Experiencia en puestos de liderazgo académico en la UAAAN. Jefe del Departamento de Maquinaria Agrícola, Director de Investigación, Director General Académico.

Los proyectos de investigación y divulgación en marcha se desarrollan en el ámbito de mecanización agrícola, de sistemas de captación y conservación de agua y bajo uso de energía en sistemas de producción bajo riego y temporal para condiciones áridas y semiáridas de Norte de México.

#### **Dra. Yolanda Rodríguez Pagaza**

Doctora en Ciencias con especialidad en Fitopatología por el Colegio de Postgraduados. Ha prestado sus servicios en el INIFAP Bajío, como cátedra CONACyT y como técnico académico en el departamento de Parasitología Agrícola de la UAAAN. Ha impartido los cursos Taxonomía de Malezas y Manejo de Malezas en licenciatura y Control Económico de Malezas a nivel posgrado. Ha dirigido tesis de licenciatura y posgrado en el área de malezas y es coautor de artículos en esta misma área.

#### **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña. CVU 4915**

Ing. Diseño de Maquinaria por el Instituto Tecnológico de Veracruz (1978).

En 1985 obtuvo el Grado de Maestría en Ingeniería de la Maquinaria Agrícola en la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Cranfield de Tecnología, Inglaterra.

En 1993 obtuvo el Grado de Doctor en Ciencias, en el Departamento de Ingeniería Agrícola con la especialidad en Diseño de la Maquinaria Agrícola de la facultad del Medio ambiente y ciencias biológicas de la Universidad de Newcastle, Inglaterra.

De 1978 a 2007 se desempeñó como Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), donde además de Investigador de la Unidad de Ingeniería y mecanización agrícola, fungió como Subdirector De Investigación en el Estado de Veracruz , Director Regional del Pacífico sur y Experto Nacional de la red de Ingeniería y Mecanización Agrícola.

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Durante el periodo 1986-2012 y del 2017-2035.

Es autor de más de 35 artículos en revistas Indexadas, 80 artículos en extenso, 7 patentes y desarrollos tecnológicos, Director de más de 50 Tesis de Licenciatura y Posgrado así como Director y Evaluador de proyectos Conacyt y Co-editor de revistas científicas.

A partir de 2008 es Profesor Investigador en el Departamento de Maquinaria Agrícola, en la división de Ingeniería

de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Perfil Prodep y miembro de Cuerpo Académico ISP en Consolidación.

**Dr. Mario Alberto Méndez Dorado**

Profesor Investigador adscrito al Departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con 10 años de experiencia. Con formación académica de Doctorado en Ingeniería Agrícola y Biológica por la Universidad de Texas A&M, College Station, Texas, EE.UU, obteniendo el grado en diciembre de 2020, con la tesis titulada “Image-Based High-Throughput Phenotyping for Estimating Sorghum Stalk With an Electric High-Clearance Vehicle”; con Maestría en Ciencias en Robótica y Manufactura Avanzada por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, con obtención de grado en febrero de 2011; con formación de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con obtención del grado en diciembre de 2005. Durante su formación y carrera profesional ha publicado tres artículos científicos relacionados a la producción agrícola, y durante 2006-2007 trabajó como Ingeniero de Mantenimiento Mecánico de Envasado en Servicios Modelo de Zacatecas.

**M.C. Juan Antonio López López CVU: 478599**

Nació el 08 de marzo de 1988 en la ciudad de la Trinitaria, Chiapas, se graduó en 2011 como Ingeniero Mecánico Agrícola y en 2014 con Maestría en Ingeniería de Sistemas de Producción área de mecanización y agricultura de precisión (AP) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Campus Saltillo.

De 2018 a la fecha es Profesor Investigador de tiempo completo en Departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN, Certificaciones Asociado y Profesional en uso de software SolidWorks para diseño mecánico.

Publicaciones de artículos científicos en revistas indexadas en áreas de mecanización y agricultura de precisión, apoyo en proyectos de desarrollo de tecnología para agricultura de precisión para generar mapas de diagnóstico, así como de equipo para labranza variable, manejo de equipos de AP, desarrollo y acondicionamiento de sensores para evaluación de implementos de labranza, uso de drones para adquisición de imágenes espectrales en la agricultura.

**M.C. Gilbert Fresh López López CVU 710402:**

Nació el 17 de febrero de 1990 en el estado de Chiapas, se graduó en 2013 como Ingeniero Mecánico Agrícola en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En 2017 obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción en la misma institución.

2014 al 2015 se desempeñó como profesor en la Universidad del Valle de Santiago, en donde impartió materias de ingenierías para la carrera Ingeniero Industrial.

Ha participado en titulación de nivel licenciatura como maestría. Además de participar en proyectos de investigación relacionados con agricultura de precisión, conservación de suelo agua y energía y proyectos de desarrollo de transferencia de tecnología

Por lo tanto, su experiencia en agricultura de precisión ha sido enfocada al desarrollo de implemento y sensores con el propósito de generar mapas de diagnóstico y con ello, lograr reducir la energía aplicada en los sistemas de labranza tradicional mediante mapas de prescripción. También he trabajado en el desarrollo de un prototipo para medir variables de evaluación de cultivos, con la finalidad de certificar la semilla utilizada. Además de utilizar la tecnología comercial con la que cuenta Trimble y John Deere Company.

A partir de 2018 es profesor investigador en el departamento de Maquinaria Agrícola de la división de ingeniería en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

**M.C. Héctor Emilio González. CVU: 433337**

Ingeniero en Sistemas Computacionales en Programación, Maestría en Planeación con Acentuación en Formulación y Evaluación de Proyectos en proceso de obtención de grado. Profesor Investigador de Tiempo completo en el Departamento de Maquinaria Agrícola con experiencia en uso de drones y sensores multiespectrales en agricultura de precisión, manejo de software de mapeo para diagnóstico y prescripción

**5. PRODUCTOS OBTENIDOS.** Descripción clara y concisa de los productos comprometidos en el proyecto. Es necesario vincular cada uno de los objetivos específicos con los productos esperados. Se sugiere usar la información en la pregunta 3 y 4 del informe técnico.

**5.1 INFORME DEL ANÁLISIS, ELABORACIÓN DE MAPAS DE RENDIMIENTO (Resultados del objetivo específico 1)**

**5.1.1 Ubicación del área de estudio**

El área de estudio para el desarrollo del proyecto en sus partes de mapas de rendimiento, mapas de diagnóstico y mapas de prescripción está ubicada en el predio denominado pivote 1 del Rancho Montoro de Agro Ag. La ubicación de este predio se presenta en la Figura 1

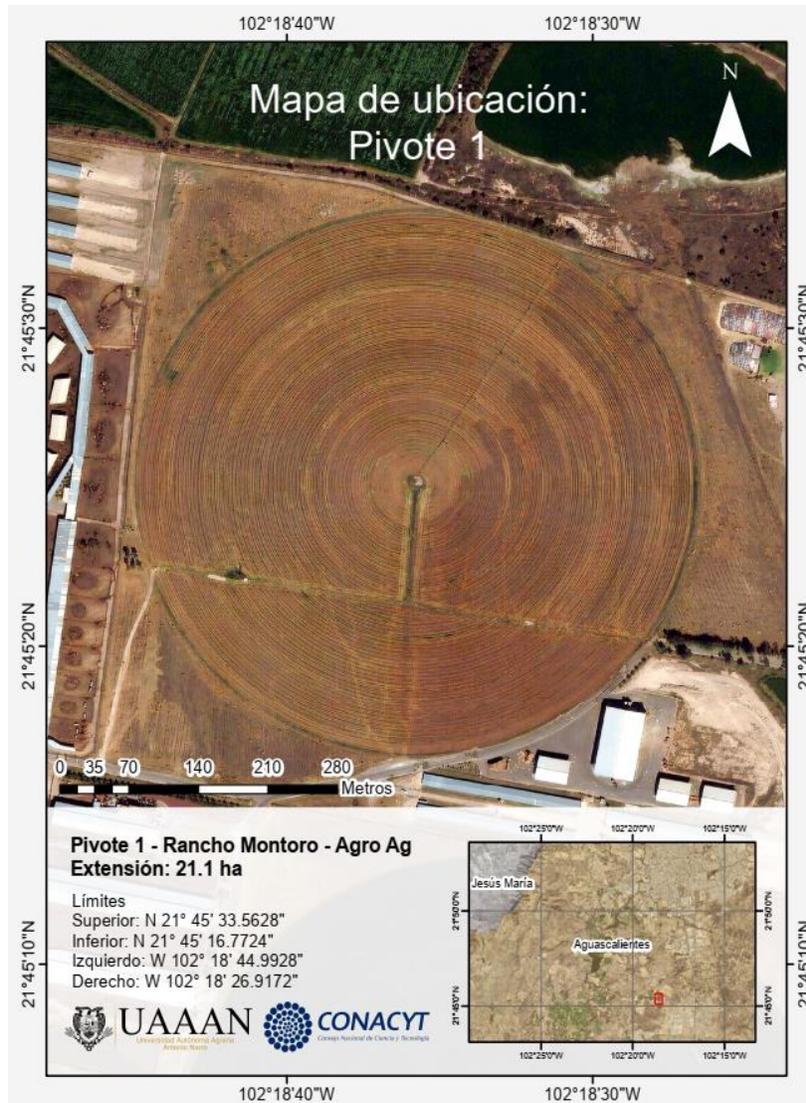


Figura 1. Localización del predio Pivote 1 en el Rancho Montoro

### 5.1.2 Elaboración de mapa del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI)

Para definir el muestreo de rendimiento se generó primero un mapa del NDVI para identificar las áreas de variabilidad en el predio. Dicho mapa se realiza a partir de imágenes multiespectrales las cuales se adquirieron mediante: 1) un Drone agrícola eBee SQ con propulsión a motor eléctrico, velocidad de crucero de 40 a 110 km/h, resistencia al viento de hasta 45 km/h, alcance de conexión de radio de 3 km, autonomía de vuelo de 55 minutos y lanzamiento manual. Junto con 2) una cámara multiespectral Parrot Sequoia, consistente en un

cuerpo principal compuesto de cuatro cámaras espectrales de 1.2 MP (verde, rojo, infrarrojo cercano, rojo medio), una cámara RGB de 16 MP, memoria interna de 64 Gb, IMU y magnetómetro, con 72 g de peso. Y para la planeación y control de vuelo se utilizó 3) una Laptop Acer Nitro 5 con procesador Intel Core i7 de 2.8 Ghz, memoria RAM de 16 Gb y sistema operativo: Windows 10 de 64 bits (Figura 2). La cobertura para imágenes a 120 m de altura es de 200 ha en un solo vuelo, con una resolución de 12 cm/px multispectral y 3.1 cm RGB; y de 3,000 ha a 2000 m de altura con una resolución de 2 m/px multispectral y 2 m/px y 55 cm/px RGB.



Figura 2. 1) Drone agrícola eBee SQ; 2) Cámara Parrot Sequoia; 3) Laptop Acer Nitro 5

Para el plan de vuelo se utilizó el software eMotion Ag, estableciendo en un área de trabajo con los parámetros de 27.7 ha de superficie, 116.7 m de altura de vuelo sobre el punto de despegue, traslape de imágenes de 80%, distancia entre fotos 21 m y superficie de cubierta por imagen de 141 x 106 m con una resolución de 11.0 cm px-1. Además de colocar un punto de despegue y aterrizaje como se observa en la Figura 3, al conectar el Drone se tiene que observar el plan de vuelo en amarillo.

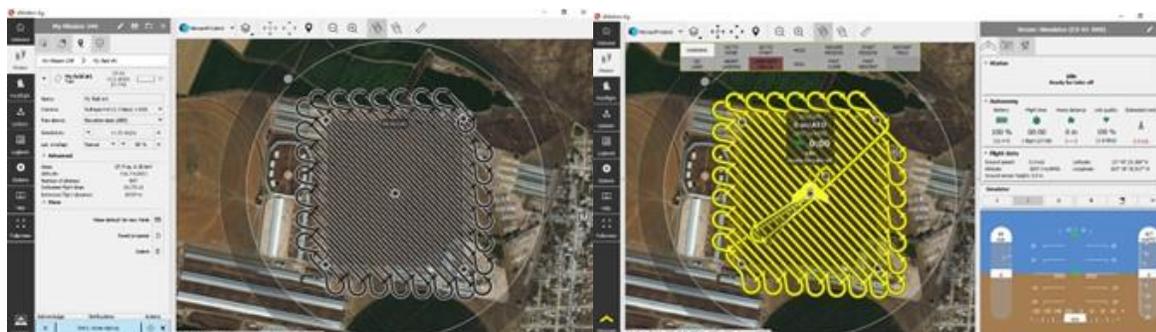


Figura 3. Elaboración del plan de vuelo

Una vez establecida el plan de vuelo se realiza 1) la calibración radiométrica del sensor de la cámara sequoia con un target y posterior a ello 2) se enciende agitando horizontalmente tres veces una vez con las revoluciones adecuadas se coloca a 45° y 3) se lanza para la misión como se observa en la Figura 4. Es importante mencionar que se necesitan 150 m lineales libres de obstáculos para el despegue y aterrizaje.

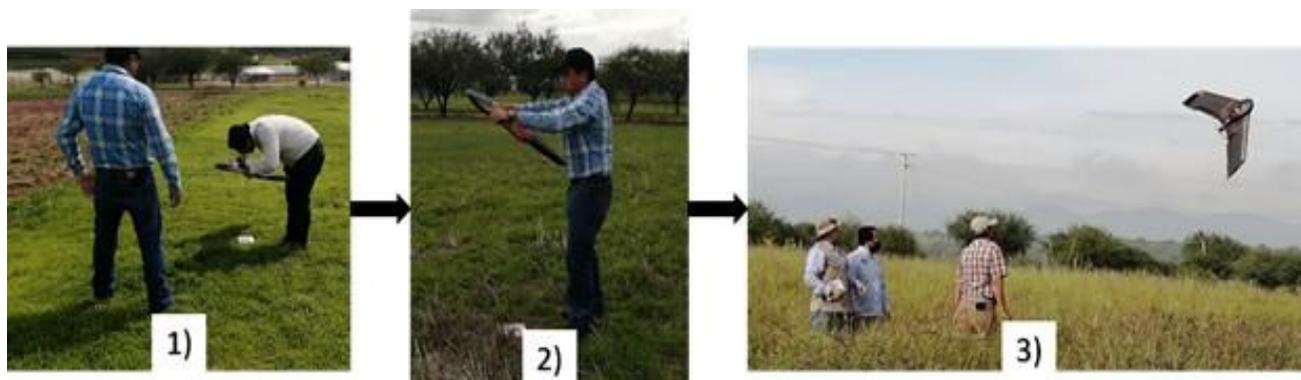


Figura 4. 1) Calibración radiométrica; 2) Encendido y posición de lanzamiento; 3) Lanzamiento

Posterior al vuelo se descargan las imágenes y se inicia el proceso que consiste en hacer ortomosaicos de las diferentes bandas, para la georreferenciación se usó el sistema de coordenadas WGS84 / UTM Zone 13N. Además de utilizando la ecuación (1) para aplicar matemáticas de bandas y generar el mapa de NDVI. El software utilizado para dicho proceso es Pix4D Mapper Pro.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Donde:

NDVI = índice Normalizado de Vegetación

NIR = Radiación infrarroja cercana reflejada por ella

RED = Radiación roja incidente

El mapa se clasifica en rangos de NDVI para identificar las áreas diferenciadas del cultivo e identificar puntos de muestreo in situ para estimar el rendimiento del cultivo. del muestreo planteado que consiste en un metro cuadrado contar el número de plantas, cortarlas y pesar la biomasa junto con el elote en fresco y se dejó que se secase para estimar el rendimiento con la formula (2). Y se genera el mapa de rendimiento en QGIS utilizando la interpolación IDW, con una clasificación de rangos para representar las superficies de los rendimientos esperados

$$Rm = \frac{(pf \text{ ó } ps) \times 10,000m^2}{1000 \text{ tm}^2} \quad (2)$$

Donde:

Rm = Rendimiento en fresco  $t \text{ ha}^{-1}$

Pf = Peso fresco de la muestra  $kg m^{-2}$

Ps = Peso seco de la muestra  $kg m^{-2}$

El resultado del procesamiento de imágenes multiespectrales tomadas en el vuelo del 7 de septiembre de 2021 y de su análisis se obtiene un mapa de NDVI como se observa en la Figura 5. La superficie con rangos de NDVI de 0.70 a 0.80 es de alrededor de 1 ha, mientras la que está en un rango de 0.80 a 0.90 de NDVI se estima con una superficie de 20 ha. En el mapa de la Figura 5 se observa los puntos de muestreo para la estimación de rendimiento.

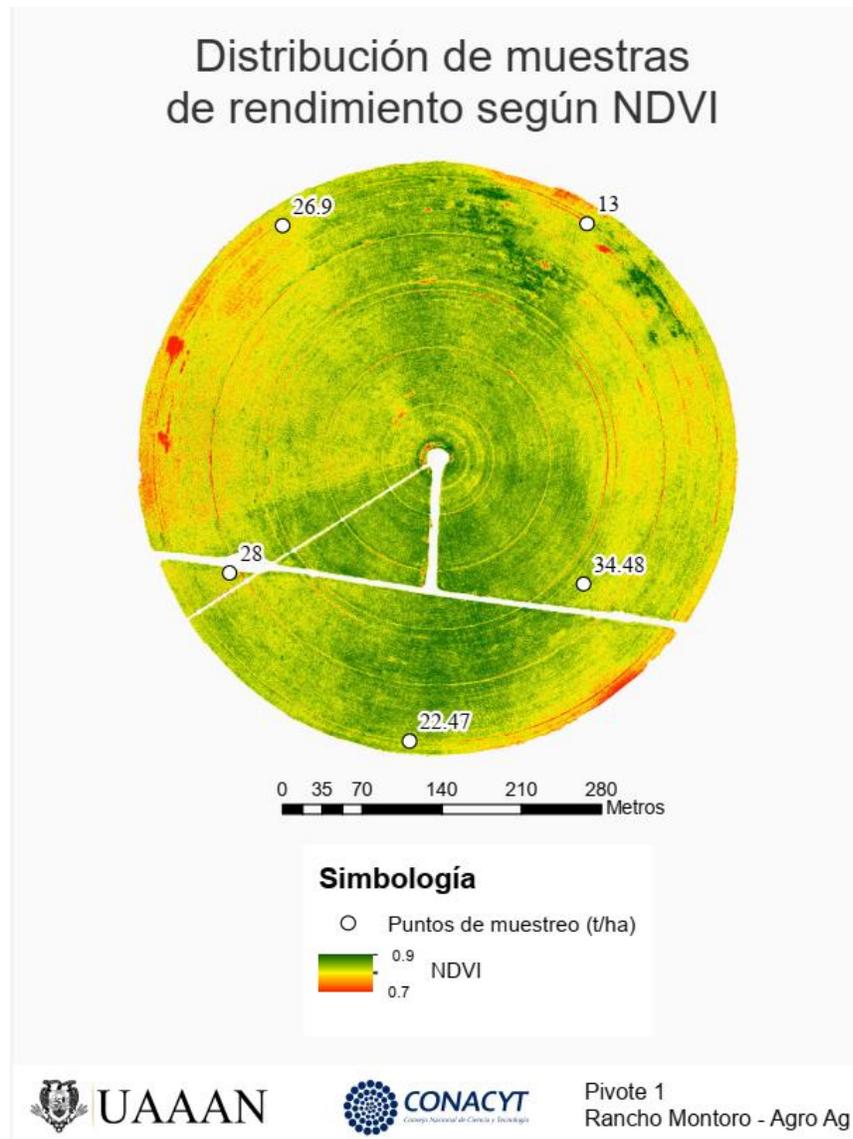


Figura 5. Mapa NDVI con los puntos de muestreo

La Figura 6 se muestra el mapa de rendimiento basado en las muestras tomadas en campo. Se obtuvo un rendimiento promedio de 26 ton / ha de materia seca.

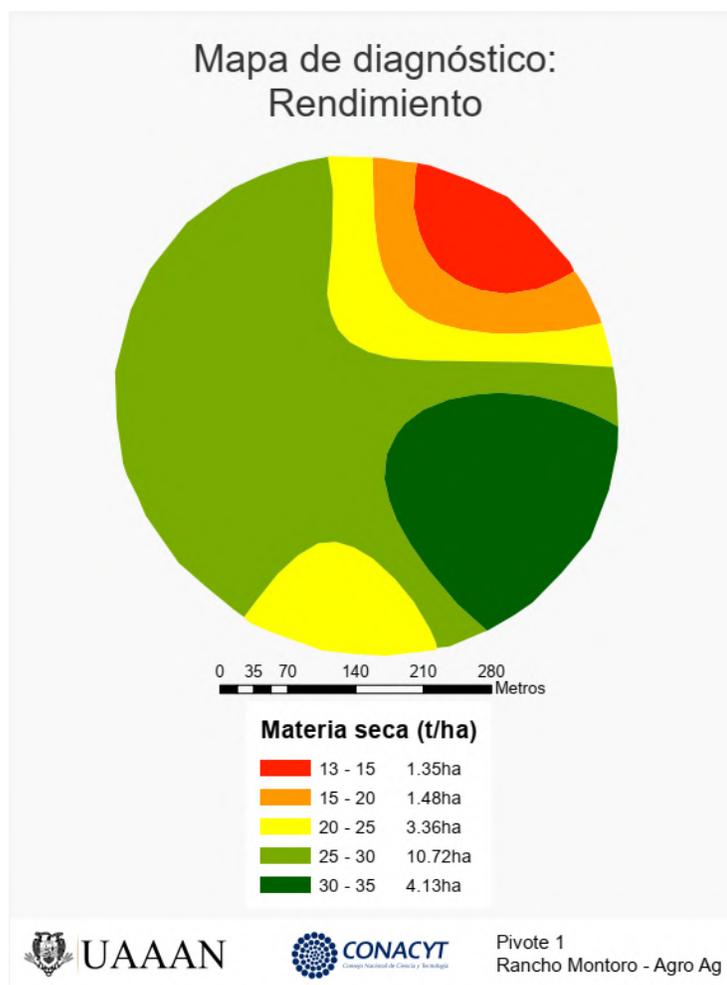


Figura 6. Mapa de rendimiento estimado

En un poco más de la mitad (51%) de la superficie sembrada, se estima un rendimiento entre 25 a 30 ton/ha de materia seca. En un 29.4% de la superficie se estimó un rendimiento en el rango de 13 a 25 ton/ha mientras que en un 19.6% del terreno se ubican los mejores rendimientos en un rango de 30 a 35 ton/ha.

### Conclusiones de los resultados del objetivo específico 1

Se obtuvo un mapa de rendimiento a partir de muestras en campo ubicadas en las zonas diferenciadas que se observan en el mapa de NDVI, con lo cual se pudo determinar la variabilidad del terreno para ubicar muestras de rendimiento y muestras de suelo para conocer las causas de esa variabilidad.

## Recomendaciones

Para obtener un mapa de rendimiento cuantificado y no estimado mediante muestras, se debe colocar sensores de flujo de masa y geo localizador a la cosechadora para obtener un mapa de alta precisión y hacer una relación entre el rendimiento y los índices NDVI

## 5.2 INFORME DE ELABORACIÓN DE MAPAS DE DIAGNÓSTICO (Resultados del objetivo específico 2)

### 5.2.1 Muestreo de suelo para obtención de Mapas de diagnóstico

En la siguiente Figura 7 se observa el mapa de índice NDVI para el pivote 1 calculado con las imágenes espectrales tomadas antes de la cosecha (vuelo del 07 septiembre), en el cual se muestran los rangos obtenidos y los porcentajes de área que corresponde dentro del pivote, para la selección de número de muestras de suelo se clasificaron en cuanto al porcentaje de área obtenido quedando de la siguiente manera:

Rango NDVI	% Área	No. Puntos Muestreo
0.86 – 0.90	4.21	1
0.82 – 0.85	73.81	19
0.78 – 0.81	19.53	5

Se seleccionaron 25 puntos de muestreo dentro del pivote para realizar mapas de diagnóstico, de los principales nutrientes, pH, Materia Orgánica y Conductividad Eléctrica. Los puntos quedaron distribuidos como se muestra en la Figura 7.

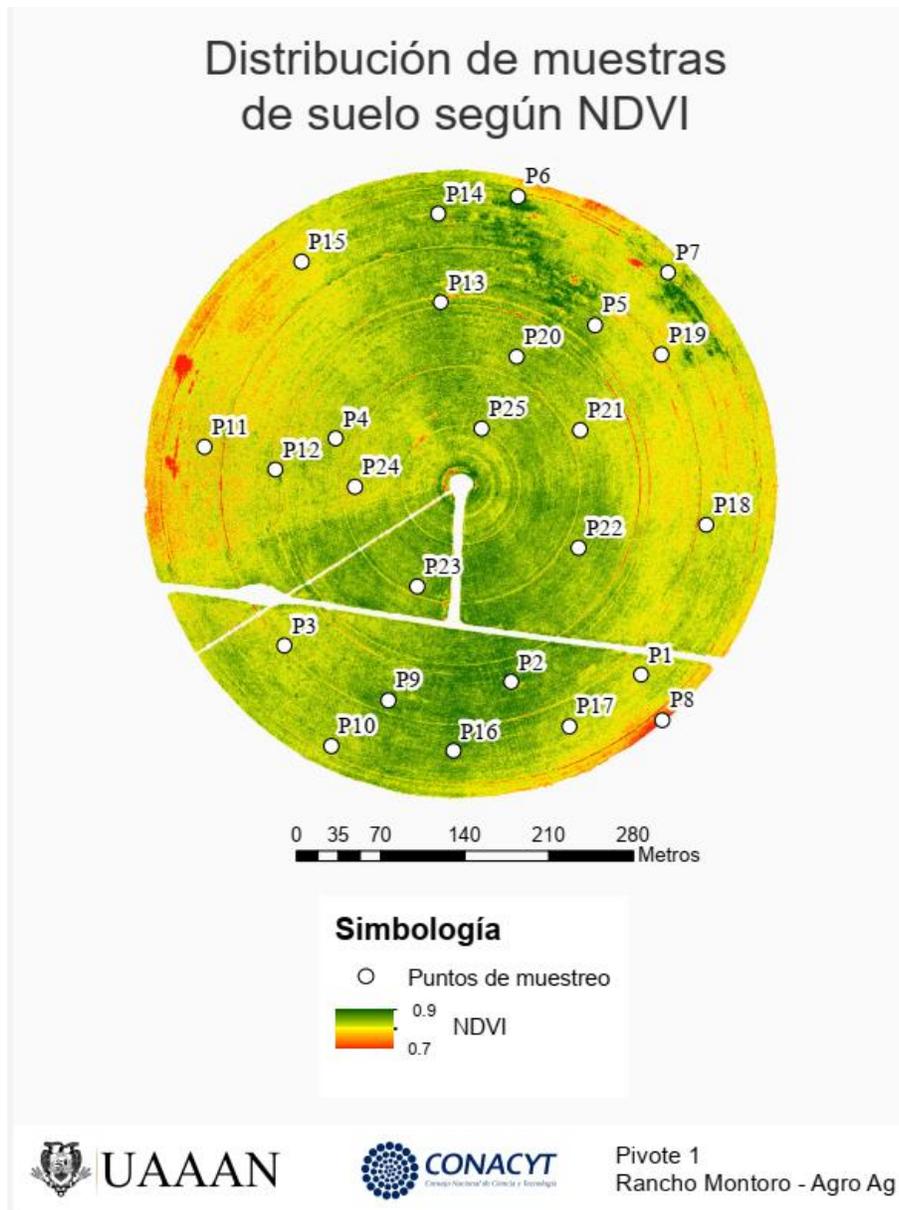


Figura 7. Mapa Índice NDVI con la localización de 25 puntos para muestreo de suelo

En la Figura 8 se muestra la forma de recolección de la muestra de 1.5 kg en una profundidad de 0.30 m como se solicitaba por parte de la empresa de análisis de suelo Fertilab.



Figura 8. Recolección de las muestras en el predio bajo estudio

### 5.2.2 Resultados del análisis de las muestras de suelos

En la Figura 9 se muestran un ejemplo un reporte de los valores de los macronutrientes, micronutrientes y otras variables como materia orgánica, conductividad eléctrica y potencial hidrogeno de una de las muestras recolectadas en el terreno bajo estudio y analizadas en laboratorio.



FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.  
 Fuente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P.38010  
 www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición

FOR-PO-01  
 Emisión: Oct-2019



No. de Certificación: ER-0223/2020,  
 ISO 9001:2015

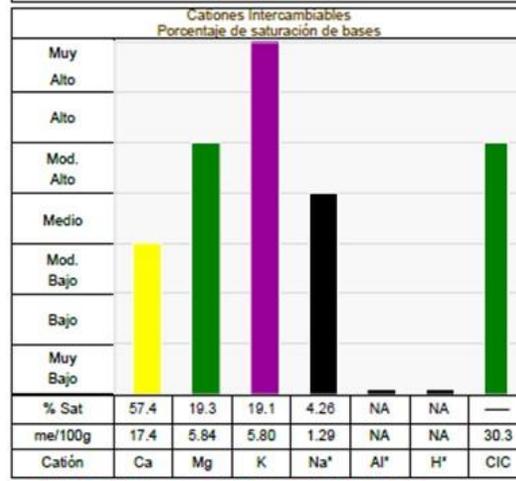
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO** **FOLIO: SU-159631**

<b>Cliente:</b>	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	<b>Tipo de agricultura:</b>	Riego
<b>Localización:</b>	Na, Aguascalientes, Aguascalientes	<b>Cultivo Anterior:</b>	Ninguno
<b>Coordenadas:</b>	ND, ND	<b>Cultivo a Establecer:</b>	Maíz Forrajero
<b>Predio / ID:</b>	Pivote 1 Agroag / Ags - 1	<b>Manejo de Residuos:</b>	Retirados
<b>Emisión:</b>	2021/10/14	<b>Prof. Muestra:</b>	0-30 cm

Propiedades Físicas del Suelo			
Clase Textural	Franco Arcillo Arenoso		
Punto de Saturación	34.8	%	Mediano
Capacidad de Campo	18.4	%	Mediano
Punto March. Perm.	10.9	%	Mediano
Cond. Hidráulica	7.00	cm/hr	Alto
Dens. Aparente	1.13	g/cm <sup>3</sup>	

pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado		
pH (1.2 agua)	8.45	Alcalino
pH Buffer	NA	
Carbonatos Totales (%)	3.87	% Bajo
Salinidad (CE Extracto)	1.85	dS/m Mediano
Requerimiento de Yeso	No Requiere	
Requerimiento de Cal	No Requiere	

Fertilidad del Suelo									
Det.	Result.	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	5.78	%	[Bar chart showing high organic matter]						
P-Bray	519	ppm	[Bar chart showing high phosphorus]						
K	2267	ppm	[Bar chart showing high potassium]						
Ca	3488	ppm	[Bar chart showing high calcium]						
Mg	710	ppm	[Bar chart showing high magnesium]						
Na <sup>+</sup>	297	ppm	[Bar chart showing high sodium]						
Fe	4.45	ppm	[Bar chart showing low iron]						
Zn	10.3	ppm	[Bar chart showing high zinc]						
Mn	1.56	ppm	[Bar chart showing low manganese]						
Cu	1.49	ppm	[Bar chart showing low copper]						
B	2.10	ppm	[Bar chart showing high boron]						
S	43.3	ppm	[Bar chart showing high sulfur]						
N-NO <sub>3</sub>	54.9	ppm	[Bar chart showing high nitrate]						



Relación entre cationes (Basadas en me/100g)				
Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	3.00	1.01	4.01	2.98
Interpretación	Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	Mediano

\* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

PND = Pendiente por verificar NA = No analizado ND = Sin datos

**Recomendación de Fertilización**

Estimado cliente, su reporte de recomendación indica la **Dosis Convencional de Fertilización** que se maneja en épocas de precios normales de fertilizantes. Considerando la inusitada alza en los precios de estos insumos, y comprometidos con el campo mexicano, hemos incluido adicionalmente una **Dosis Racional de Fertilizantes**, tomando en cuenta el análisis de su suelo y los precios elevados de estos insumos, a fin de que usted tome la opción que juzgue más pertinente.

**Interpretación Resumida del Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo**

Suelo con pH alcalino. Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Bajo en sales. Muy alto nivel de materia orgánica. Muy alto suministro de fósforo disponible. Considerable suministro de potasio. Suministro considerable de nitrógeno inorgánico.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Deficiente contenido de hierro. Elevado suministro de zinc. Muy pobre en manganeso.

  
 Jefe del Laboratorio de Nutrición  
 Ing. Agustín García Olivares

Figura 9 Ejemplo de reporte de resultados de análisis de laboratorio para la muestra 1 del terreno

### 5.2.3 Elaboración de los mapas de diagnóstico

Para elaborar los mapas de diagnóstico, los valores de las muestras para cada uno de los elementos se realizó el siguiente procedimiento:

1) se recopilaron los resultados de laboratorio para cada muestra como se observa en el Cuadro 1

Cuadro 1 Resumen de los resultados de análisis de laboratorio para las 25 muestras tomadas en el terreno

Id	Textura	N	P	K	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B	MO	CE	pH
		ppm										%	
Ags - 1	Franco Arcillo Arenoso	55	519	2267	710	4	10	2	1	2	5.8	1.8	8.5
Ags - 2	Franco Arcillo Arenoso	78	408	1456	459	3	5	1	1	3	3.9	2.5	8.8
Ags - 3	Franco Arcillo Arenoso	108	336	1697	513	3	5	1	1	2	4.3	2.8	8.1
Ags - 4	Franco	149	371	1204	494	4	6	2	1	2	4.6	4.2	8.0
Ags - 5	Franco	40	334	1260	465	5	6	2	1	2	4.8	1.4	8.1
Ags - 6	Franco Arcillo Arenoso	345	400	1723	545	2	5	1	1	2	4.3	7.7	8.0
Ags - 7	Franco Arcillo Arenoso	38	153	1112	309	6	5	2	1	1	3.8	1.1	7.9
Ags - 8	Franco Arcillo Arenoso	57	192	1138	405	3	5	1	1	2	4.0	1.4	8.4
Ags - 9	Franco	47	368	1304	442	4	7	1	1	2	4.6	3.1	8.1
Ags - 10	Franco	166	375	1105	480	5	8	2	1	2	4.6	3.0	7.5
Ags - 11	Franco Arcilloso	84	305	1196	445	4	6	1	1	2	4.6	3.3	8.0
Ags - 12	Franco	146	397	1457	445	3	6	1	1	2	5.6	4.0	8.1
Ags - 13	Franco	21	302	1188	343	4	4	1	1	2	3.6	1.9	8.5
Ags - 14	Franco	114	265	1187	399	2	4	1	0	1	3.6	4.0	8.2
Ags - 15	Franco Arcillo Arenoso	133	349	1382	538	3	5	1	1	1	4.8	2.4	7.9
Ags - 16	Franco Arcillo Arenoso	92	469	1236	426	2	4	1	1	2	3.9	3.1	8.4
Ags - 17	Franco Arcillo Arenoso	59	371	1401	399	3	5	1	1	2	4.0	2.3	8.4
Ags - 18	Franco Arcillo Arenoso	50	195	1188	396	3	3	1	1	1	2.3	1.5	8.4
Ags - 19	Franco Arcilloso	29	141	1609	649	5	2	1	1	2	2.4	1.1	8.4
Ags - 20	Franco	30	127	1171	334	3	3	1	1	2	3.9	2.5	8.4
Ags - 21	Franco	55	194	968	319	2	3	1	0	1	2.9	1.4	8.0
Ags - 22	Franco Arenoso	77	234	1168	350	2	3	1	0	2	3.2	2.2	8.4
Ags - 23	Franco	46	339	975	360	4	5	2	1	1	4.1	1.2	7.8
Ags - 24	Franco Arcilloso	265	358	1230	424	4	6	2	1	1	4.9	4.9	7.7
Ags - 25	Franco Arcillo Arenoso	112	441	1224	505	3	5	1	1	2	4.6	3.6	8.2

2). Se georreferenciaron y se generó un archivo .shp de puntos como se ilustra en la Figura 10.

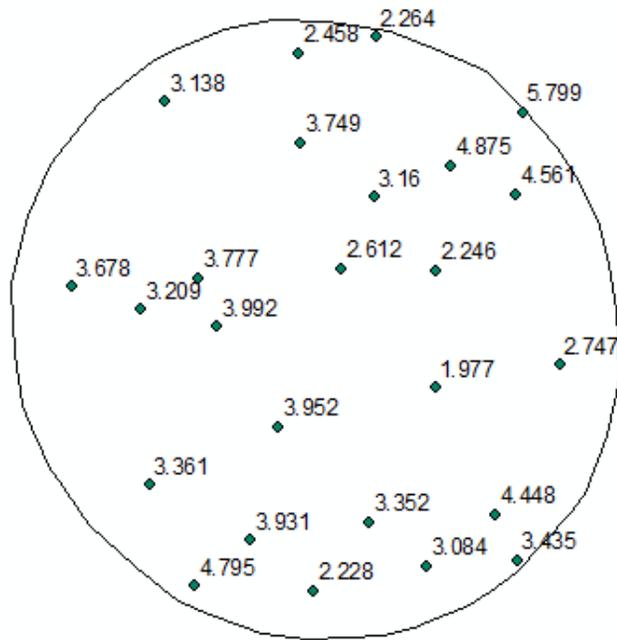


Figura 10. Puntos de muestreo georreferenciados. Concentración de Hierro (ppm)

3) Se realizó una interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) con potencia = 3. Con este proceso se estiman los valores de todos los sitios del campo, tomando como referencia los valores puntuales de las muestras como se ilustra en la Figura 11.

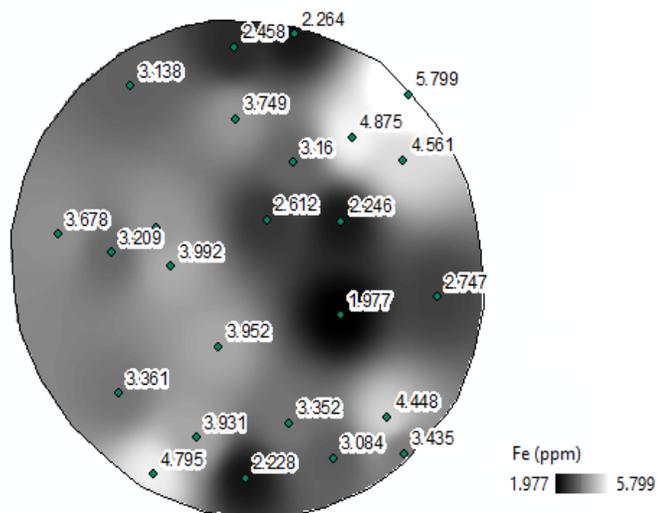


Figura 11. Superficie interpolada con respecto a los valores puntuales

4). Se clasificaron los puntos y se agregaron de acuerdo con su clase, formando polígonos/ superficies de manejo variable. Se crearon archivos vectoriales a partir de los polígonos formados y se calcularon las áreas de cada superficie.

Clasificación	Fierro (ppm)
Muy Bajo	< 3
Bajo	3 – 5
Mod. Bajo	5 – 9

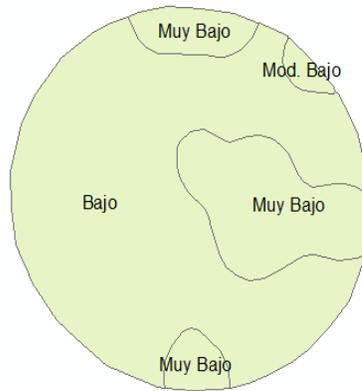


Figura 12. Áreas clasificadas y delimitadas de acuerdo con la interpretación de análisis de suelos

5). Se agregó una paleta de color, leyenda y se creó el diseño de impresión tal y como se muestra en la Figura 13

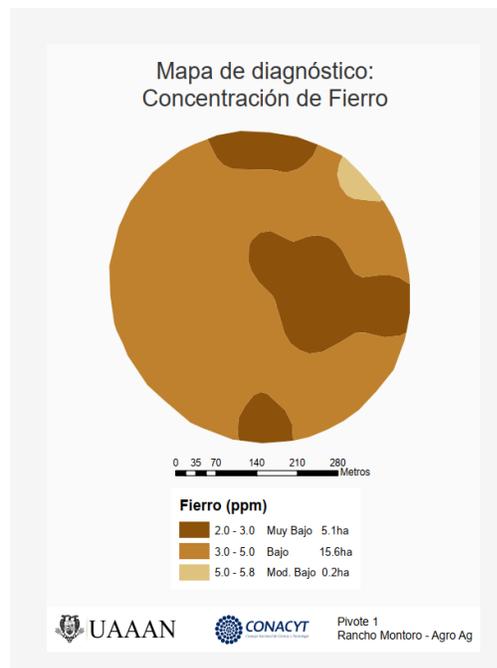


Figura 13 Diseño de impresión del mapa de diagnóstico de Fierro

### 5.2.4 Mapas de diagnósticos de macro nutrientes en el suelo

En la Figura 14 se observa el mapa de diagnósticos de Nitratos (N-NO<sub>3</sub>) donde se muestra que la mayoría del terreno (82.8%) presenta una concentración de nitratos alta (en 9.7 ha) y muy alta (en 7.7 ha).

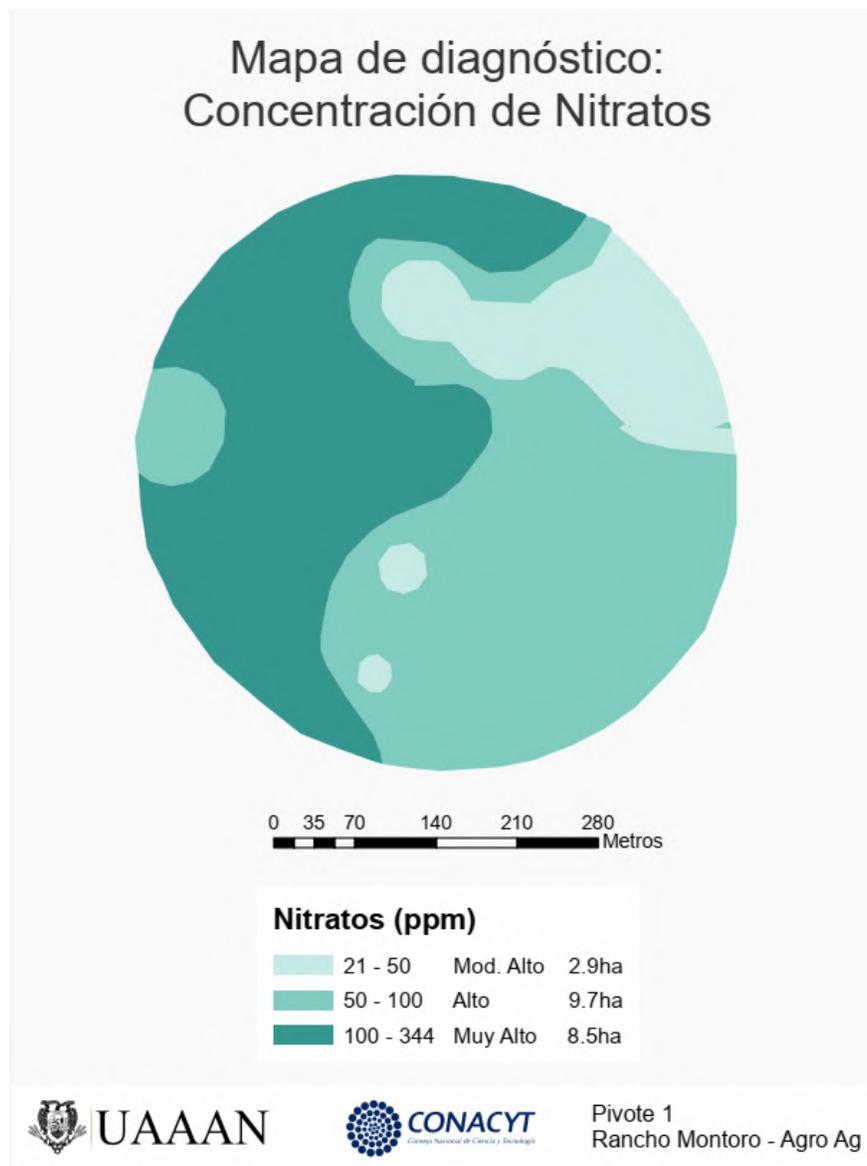


Figura 14. Mapa de diagnóstico de Nitratos

En la Figura 15 se observa el mapa de diagnósticos de Fosforo (P). De acuerdo a los resultados, todo el terreno

tiene un contenido de P entre 126 a 519 ppm estos valores caen dentro del rango de contenido muy alto.

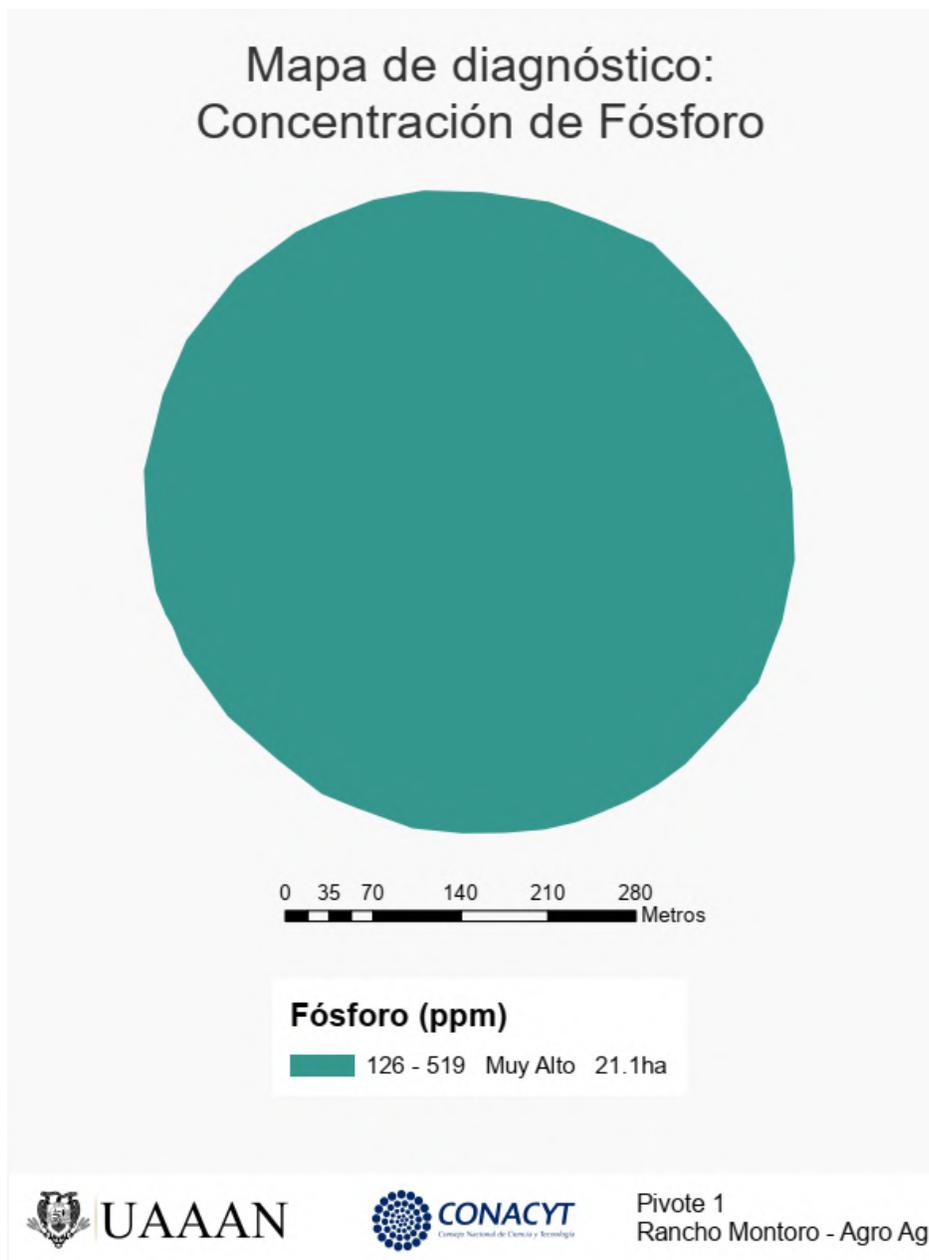


Figura 15. Mapa de Diagnóstico de Fosforo

En la Figura 16 se observa el mapa de diagnósticos de Potasio (K), la mayoría del terreno (77.6%) tiene muy

alto contenido de este nutriente. El resto tiene un alto contenido de K.

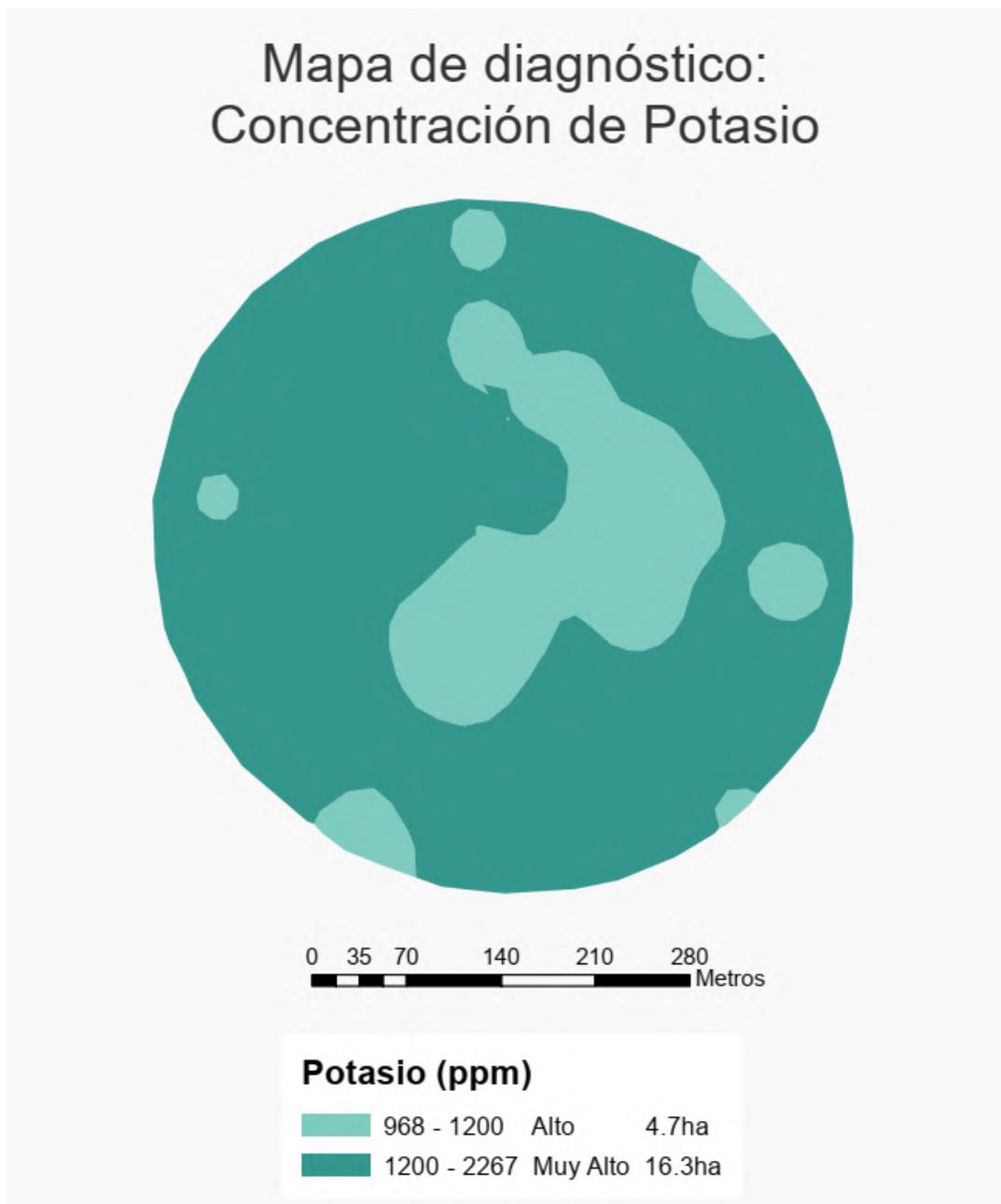


Figura 16. Mapa de Diagnóstico de Potasio

### 5.2.5 Mapas de diagnóstico de micronutrientes en el suelo

En la Figura 17 se observa el mapa de diagnósticos de Boro (B), donde se muestra que un 10.95% de área contiene un valor medio (0.8 – 1.4 ppm), 84.76% del área con rango 1.4 – 2.0 ppm (moderadamente alto) y 3.8 % con rango alto de 2.0 a 2.5 ppm.

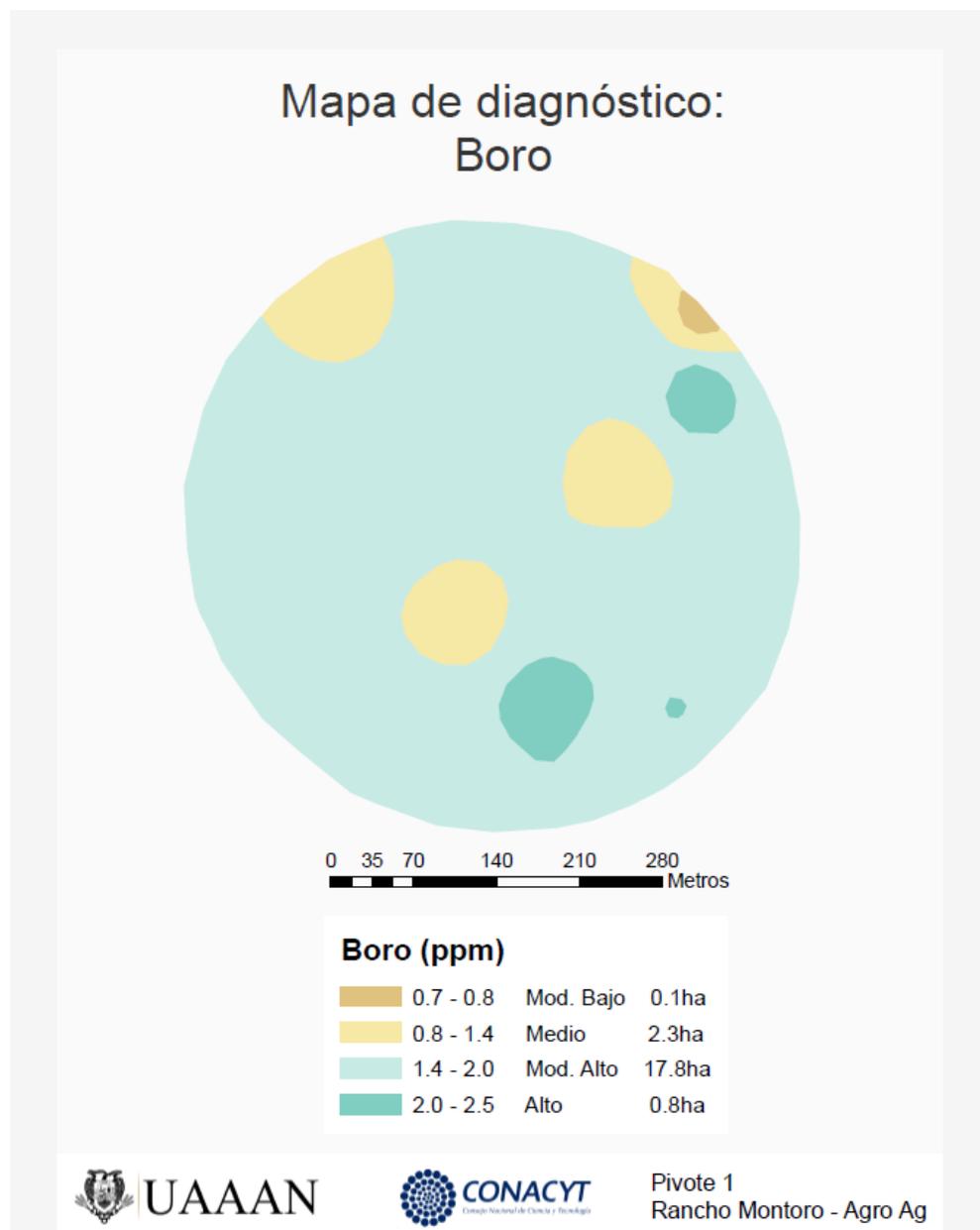


Figura 17. Mapa de Diagnóstico de Boro

En la Figura 18 se observa el mapa de diagnósticos de Magnesio (Mg), donde se muestra un 20.47 % de área con un valor medio de este elemento (309 – 400 ppm) y 79.52% con rango alto de 400 - 709 ppm de área total de 21 has.

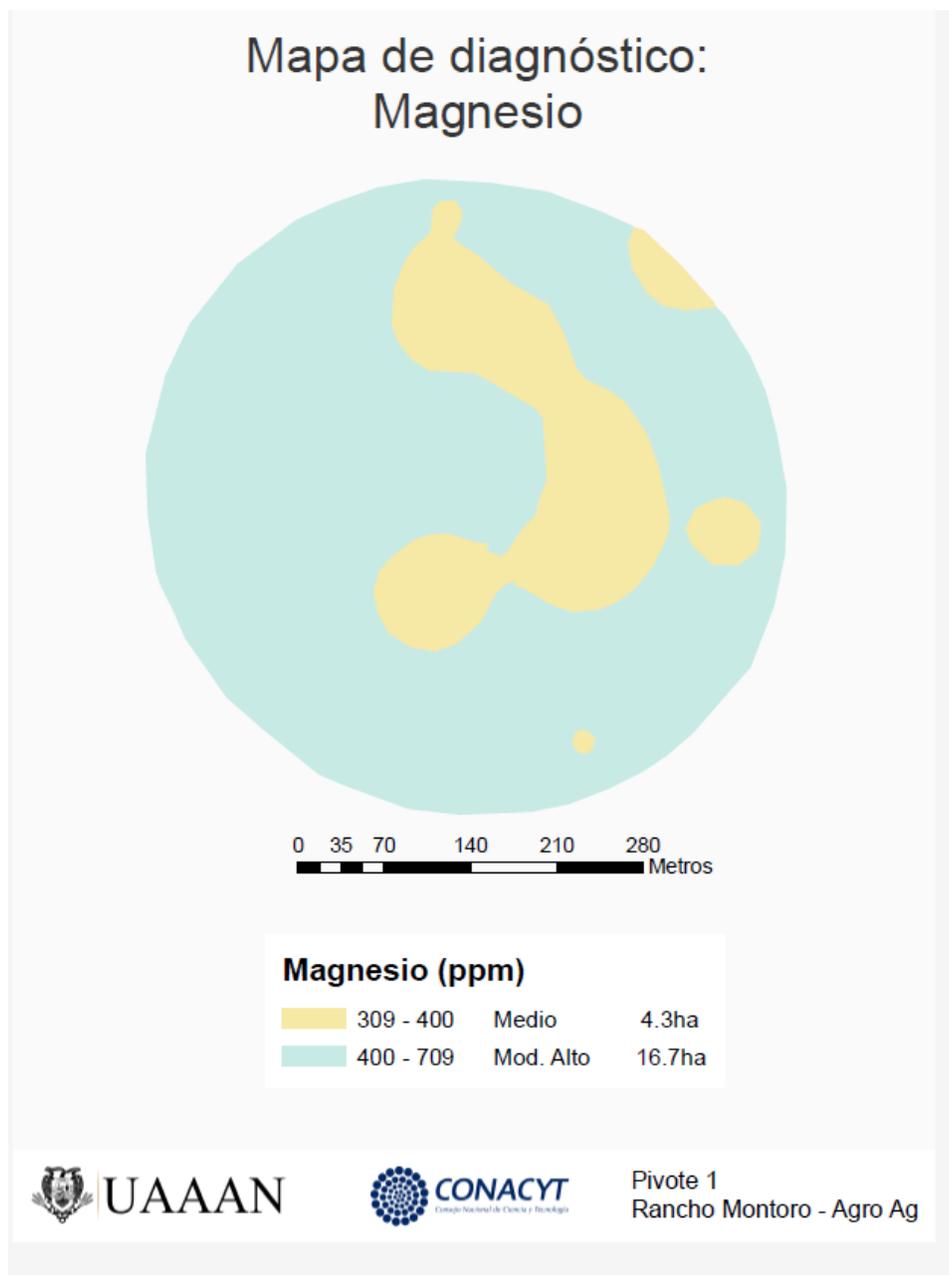


Figura 18. Mapa de Diagnóstico de Magnesio

En la Figura 19 se observa el mapa de diagnósticos de Cobre (Cu), para el pivote 1, donde se muestra un 4.28 % de área con un valor bajo (0.4 -0.5 ppm), 64.76% con rango moderadamente bajo de 0.5 – 0.8 ppm, 29.52% con un rango medio 0.8 – 1.2 ppm y 1.42% rango alto 1.2 – 1.5 ppm.

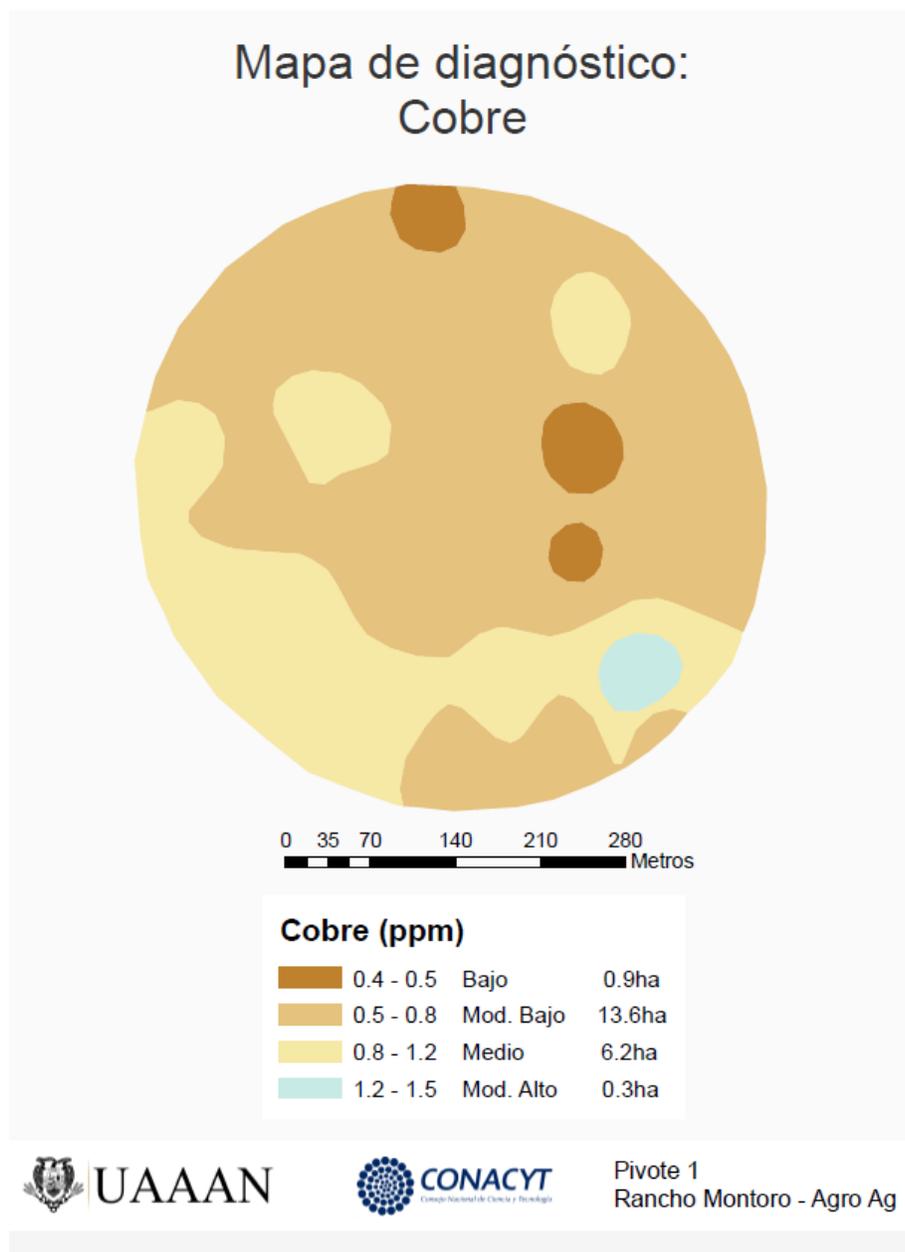


Figura 19. Mapa de diagnóstico de Cobre

En la Figura 20 se observa el mapa de diagnósticos de Fierro (Fe), para el pivote 1, donde se muestra un 24.28 % de área con un valor muy bajo 2.0 – 3.0 ppm. La mayoría del terreno (72.28%) presenta un rango bajo de contenido de Cu (de 3.0 – 5.0 ppm) y 0.95% del terreno rango moderadamente bajo de 5.0 – 5.8 ppm.

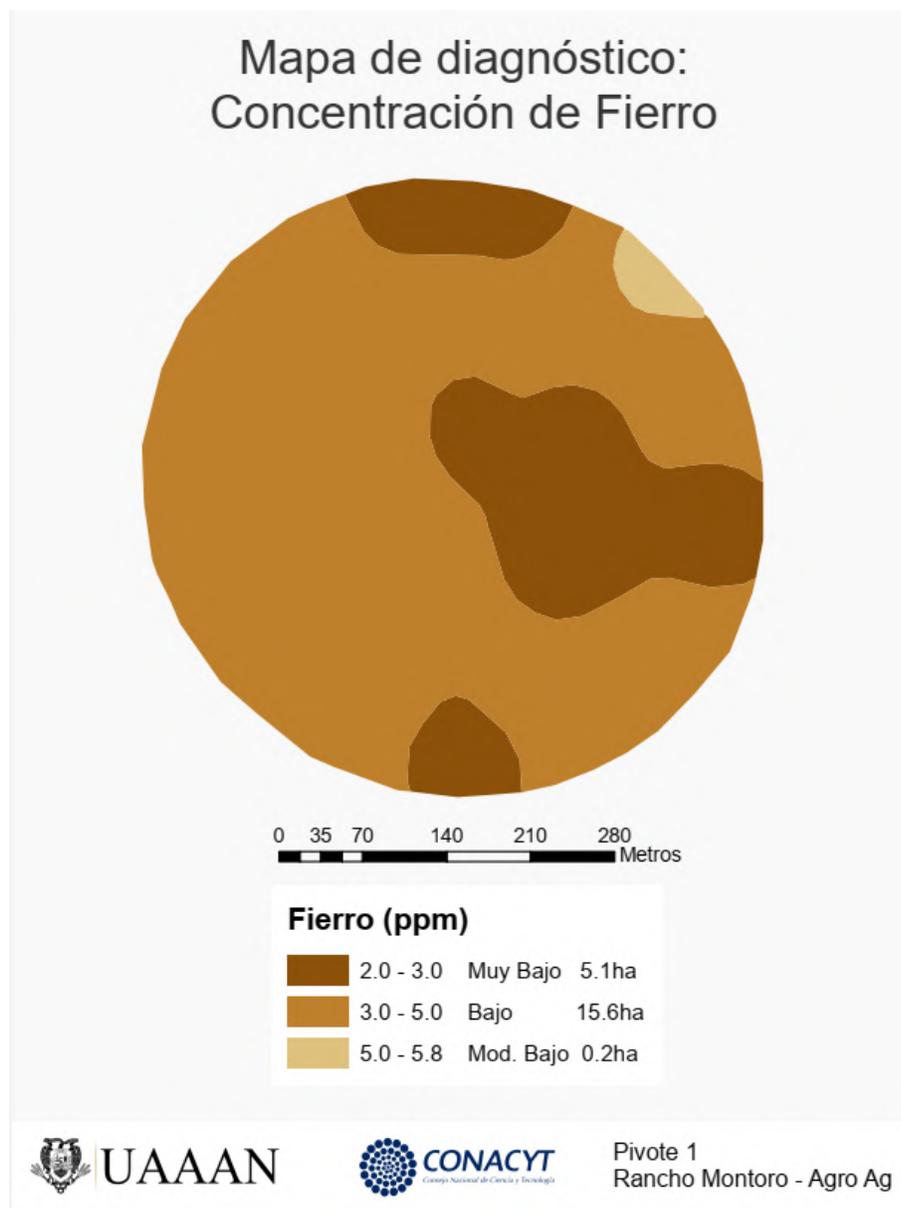


Figura 20. Mapa de diagnóstico de Fierro

En la Figura 21 se observa el mapa de diagnósticos de Manganeso(Mn), para el pivote 1, donde se muestra que prácticamente todo el terreno (98.09%) presenta un rango bajo de contenido de Mn.

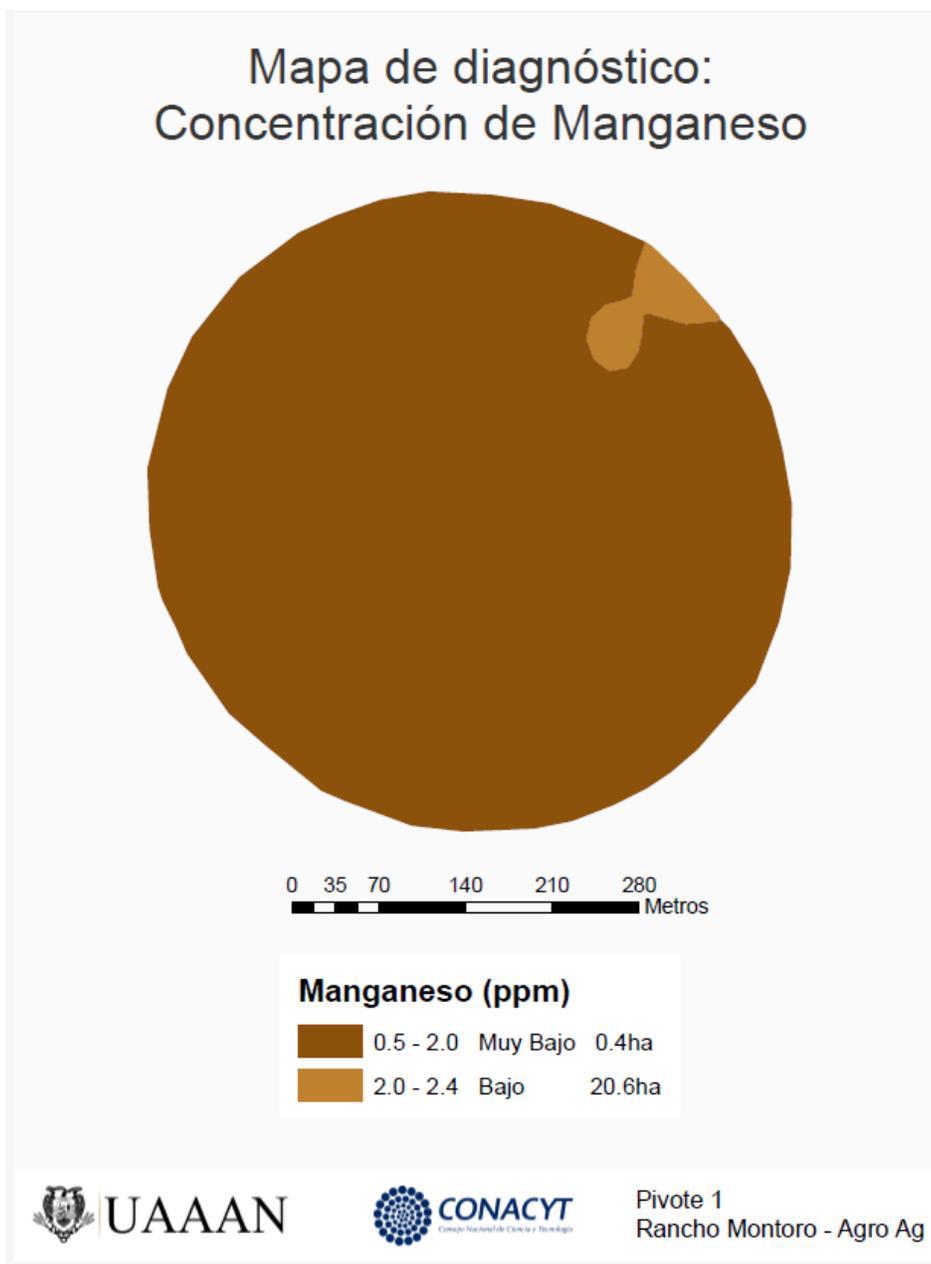


Figura 21. Mapa de diagnóstico de Manganeso

En la Figura 22 se observa el mapa de diagnósticos de Zinc (Zn), para el pivote 1, la mayoría del terreno presenta contenidos de Zn de moderadamente altos a alto.

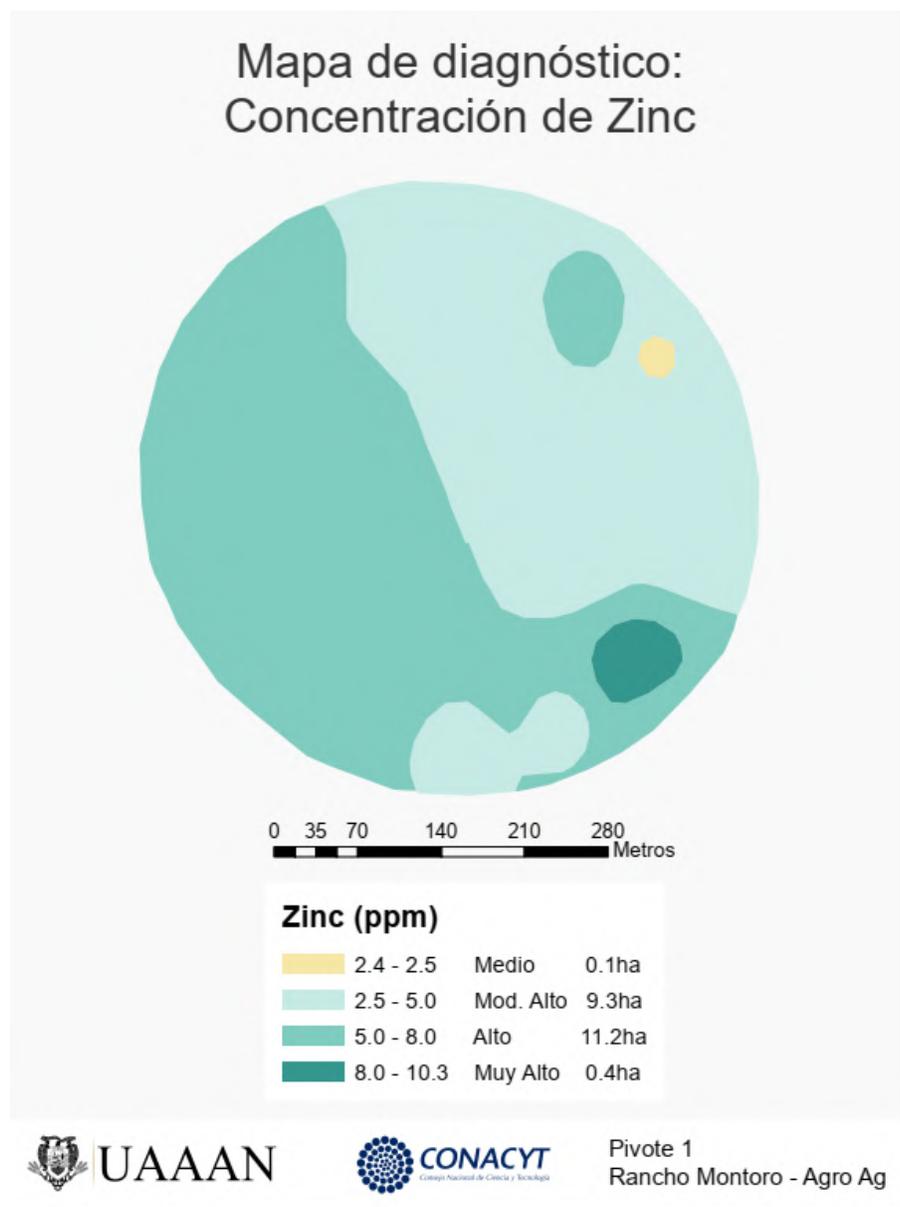


Figura 22. Mapa de diagnóstico de Zinc

### 5.2.6 Mapas de diagnóstico de Materia Orgánica, Conductividad Eléctrica y pH

En la Figura 23 se observa el mapa de diagnósticos de Materia Orgánica (MO), para el pivote 1, Casi todo el terreno presenta de moderadamente altos a muy altos valores de contenido de MO (entre 2.5% a 5.8%)

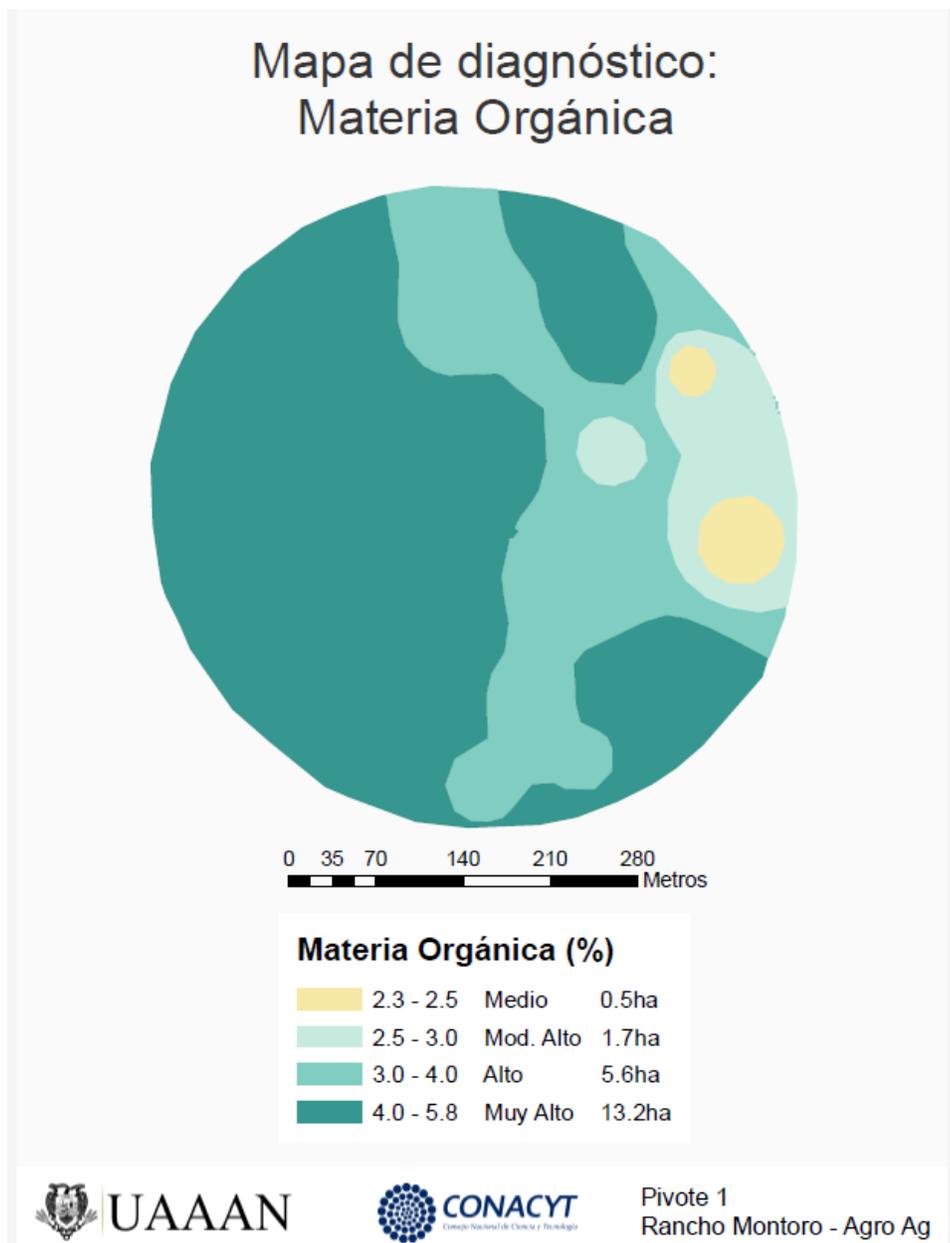


Figura 23. Mapa de diagnóstico de Materia Orgánica

En la Figura 24 se observa el mapa de diagnósticos de conductividad eléctrica (CE), se observa una CE de moderadamente baja a moderadamente alta (entre 1 a 4 dS/m) para 19 ha del terreno estos valores se consideran tolerables para el cultivo del maíz. Por otra parte, se destaca una superficie de 2 ha en las que la CE va de alta a muy alta (5 a 7.7 dS/m) estos valores no son tolerables para el cultivo a establecer (maíz forrajero)

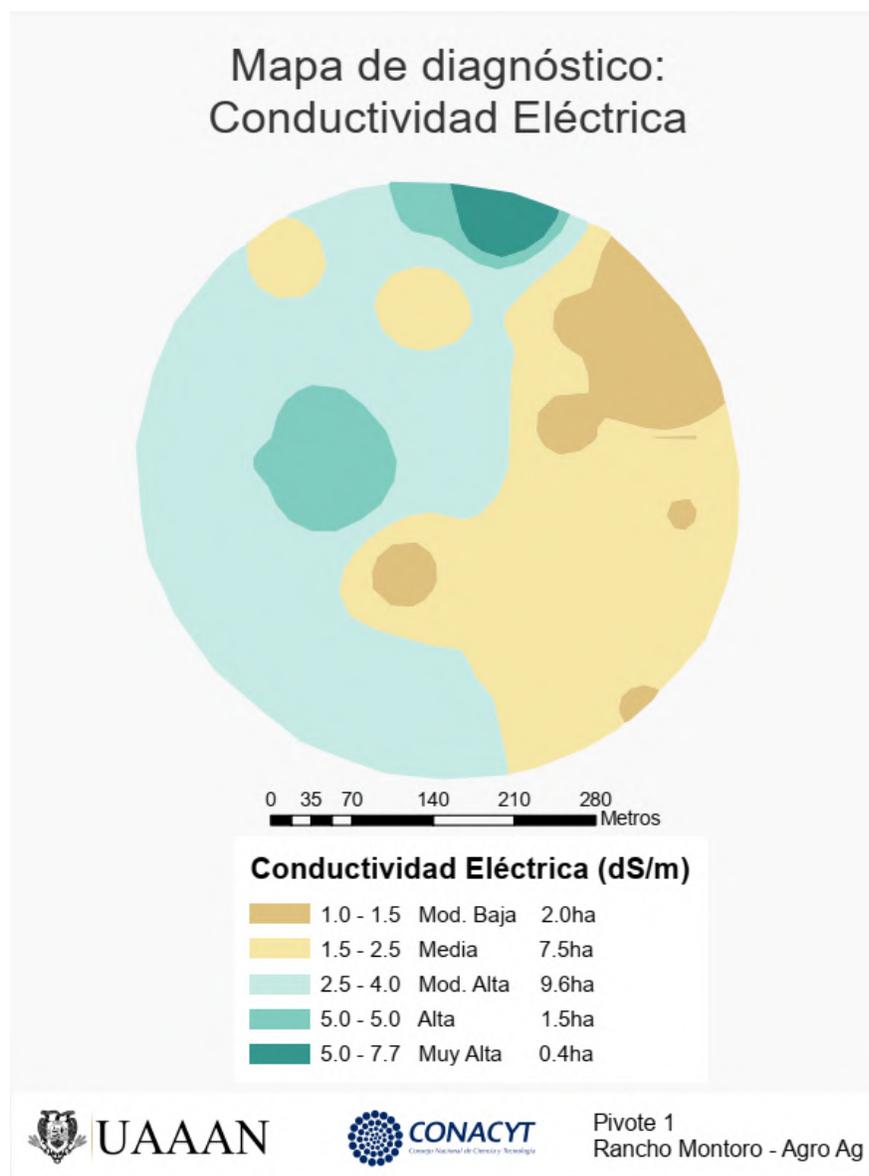


Figura 24. Mapa de diagnóstico de Conductividad Eléctrica

En la Figura 25 se observa el mapa de diagnósticos de potencial hidrogeno pH, la mayoría del terreno es alcalino (pH de 7.54 a 8.55). Un pH superior a 7.5 puede disminuir la solubilidad del hierro, fosforo, manganeso, zinc y cobre por lo que es importante disminuir la alcalinidad para una mejor disponibilidad de estos nutrientes para el cultivo.

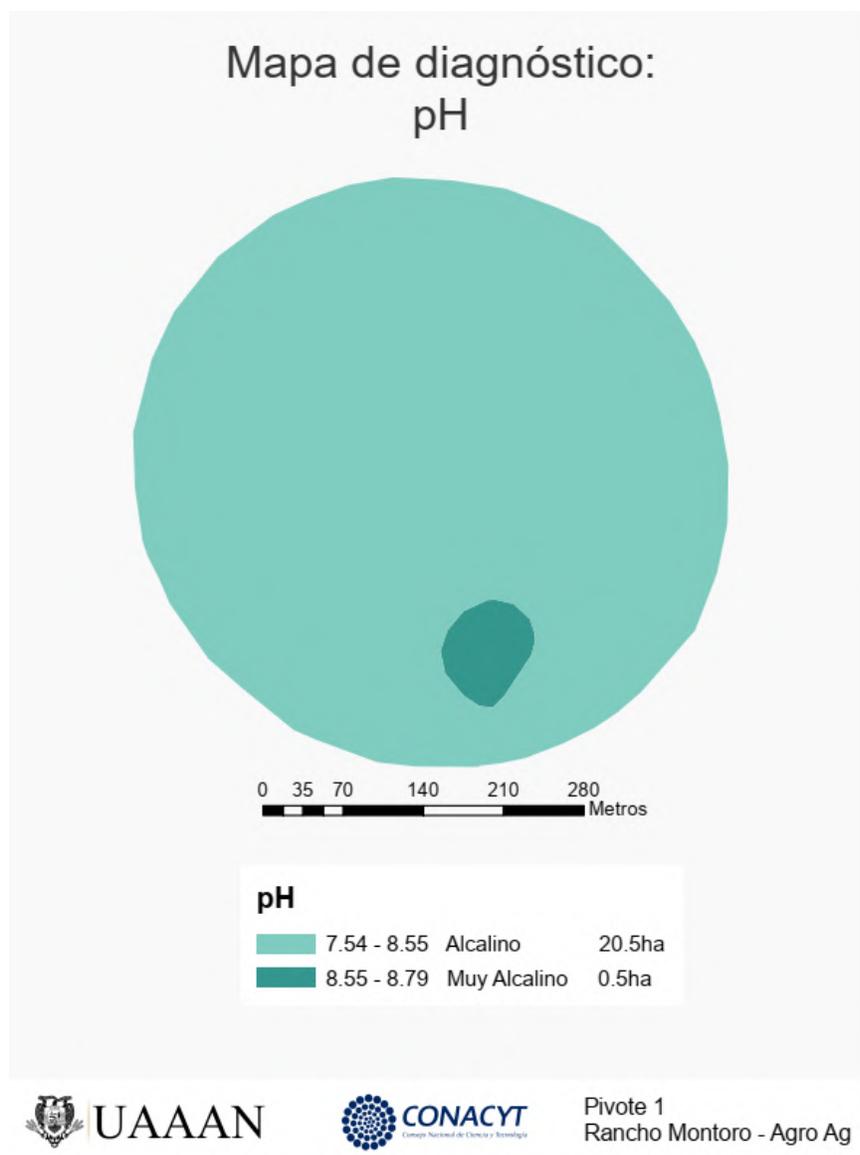


Figura 25. Mapa de diagnóstico de pH

## **Conclusiones de los resultados del objetivo específico 2**

El mapa de diagnóstico obtenidos permite identificar claramente con los resultados de laboratorio el porqué de las variabilidades existentes en el predio reflejada en las zonas con distinto NDVI lo que proporciona información para realizar un manejo de sitio específico y a través de ello implementar tecnología de agricultura de precisión para incrementar eficiencia en el uso de insumos. En general la mayor parte del terreno tiene una alta disponibilidad de Nitratos y muy alta de Fosforo y Potasio. En cuanto a disponibilidad de micronutrientes el terreno tiene alta disponibilidad de Boro, Zinc y Magnesio. Por otra parte, tiene baja disponibilidad de Fierro y Manganeso, moderadamente baja disponibilidad de Cobre. Presenta alto y muy alto contenido de Materia Orgánica, más de la mitad del terreno presenta una Conductividad Eléctrica de moderadamente alta a alta con suelo alcalino

## **Recomendaciones**

Antes de implementar dosis variable de insumos se debe de corregir la alcalinidad del terreno y la Salinidad expresada en las zonas con CE superiora 4 dS /m

## **5.3 INFORME DE CAMBIO DE DOSIS DE INSUMOS Y SU APLICACIÓN GEO REFERENCIADA EN BASE A LOS NIVELES DE PRODUCTIVIDAD -ELABORACIÓN DE MAPAS DE PRESCRIPCIÓN- (Resultados del objetivo específico 3)**

A partir de los resultados de análisis de laboratorio de cada una de las 25 muestras de suelo tomadas en el predio de 21 ha del pivote 1, las recomendaciones de fertilización fueron calculadas por expertos en nutrición de plantas y fertilidad de suelos del Laboratorio Fertilab con acreditación vigente por el programa NAPT y localizado en Celaya, Guanajuato. Los expertos en fertilidad de suelo realizan los cálculos para la recomendación de aplicación de nutrientes en el terreno para cada muestra considerando además de los nutrientes ya disponibles en el suelo la meta de rendimiento que en este caso fue de 70 toneladas por ha de forraje en verde de maíz.

### **5.3.1 Procedimiento para la elaboración de mapas de prescripción**

Los mapas fueron elaborados con el siguiente procedimiento:

- 1) Se recopilaron los valores recomendados para la aplicación de insumos correspondientes a cada muestra

Cuadro2. Recomendación de mejoradores de suelo y nutrientes para cada muestra de suelo basados en los resultados de los análisis de cada muestra en el laboratorio

Muestra	Longitud	Latitud	Cal	Yeso	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
			Ton ha <sup>-1</sup>										
1	-102.308515	21.75557	0	0	112	0	0	6	6	0	8	0	0
2	-102.309559	21.7555335	0	1.26	112	0	10	7	6	0	8	0	0
3	-102.311376	21.7558378	0	0	112	0	0	6	6	0	8	0	1
4	-102.310935	21.7573848	0	0	112	0	10	6	6	0	8	0	0
5	-102.308835	21.7582022	0	0	146	0	10	6	6	0	7	0	0
6	-102.309439	21.7591774	0	4.03	112	0	0	7	8	0	8	2	1
7	-102.30824	21.7585871	0	0	124	0	10	12	3	0	7	2	1
8	-102.30835	21.7552253	0	0.78	112	0	10	6	6	0	8	2	0
9	-102.310549	21.7554105	0	0	121	0	10	7	6	0	8	0	0
10	-102.311015	21.7550764	0	0	112	0	10	6	6	0	8	0	0
11	-102.311991	21.7573396	0	1.08	96	0	0	5	3	0	8	0	0
12	-102.311422	21.757159	0	1.45	112	0	10	6	6	0	8	2	0
13	-102.310072	21.7583918	0	1.02	208	0	10	12	6	0	8	2	0
14	-102.310077	21.7590601	0	1.86	112	0	10	10	8	0	8	3	1
15	-102.311186	21.7587166	0	0	112	0	10	6	6	0	8	2	1
16	-102.310035	21.7550213	0	1.76	112	0	10	6	8	0	8	2	0
17	-102.309098	21.7551904	0	1.06	112	0	10	10	6	0	8	2	1
18	-102.307969	21.7566873	0	0	113	0	10	10	8	0	8	2	1
19	-102.308305	21.7579739	0	0	177	0	0	6	6	8	8	2	0
20	-102.309471	21.7579724	0	1.03	175	0	10	12	6	0	8	2	1
21	-102.30897	21.7574153	0	0	112	0	50	12	8	0	8	3	1
22	-102.309	21.7565322	0	0.89	112	0	10	12	8	0	8	3	1
23	-102.3103	21.7562635	0	0	133	0	50	10	6	0	8	2	1
24	-102.310788	21.7570198	0	1.26	112	0	10	6	6	0	8	2	1
25	-102.309762	21.7574411	0	0	112	0	10	6	8	0	8	2	1

2). Se georreferenciaron dichos valores y se generó un archivo .shp de puntos como se muestra en la Figura 26

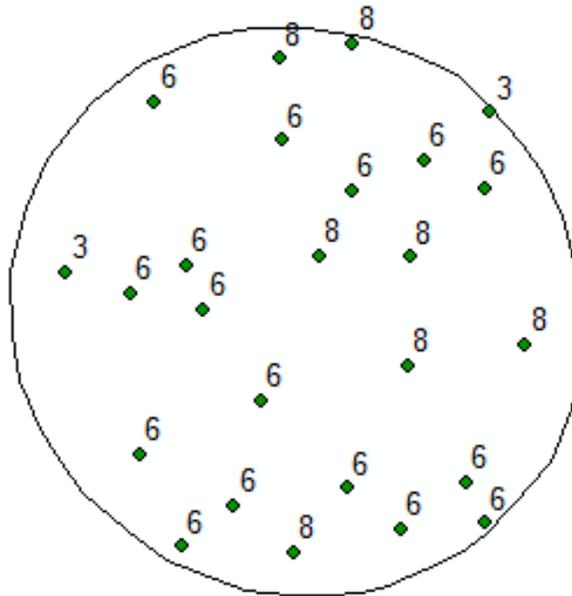


Figura 26. Puntos de muestreo georreferenciados. Ejemplo: dosis recomendada de Hierro (kg/ha)

- Se realizó una interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) con potencia = 3. Con este proceso se estiman los valores de todos los sitios del campo, tomando como referencia los valores puntuales de las muestras, como se ilustra en la Figura 27.

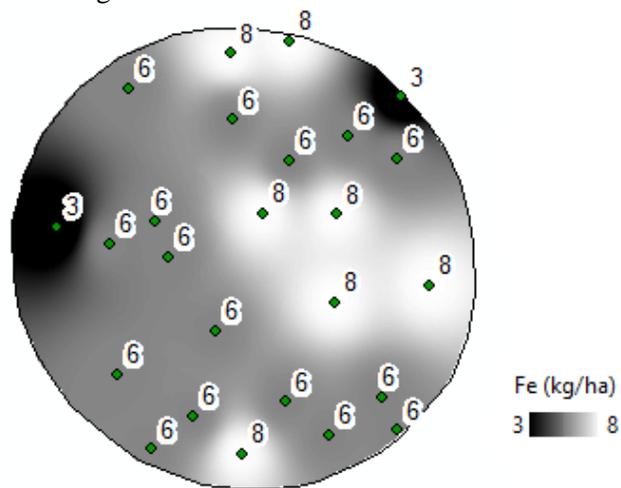


Figura 27. Superficie interpolada con respecto a los valores puntuales

3). Se clasificaron los puntos y se agregaron de acuerdo con su clase, formando polígonos/ superficies de manejo variable. Se crearon archivos vectoriales a partir de los polígonos formados y se calcularon las áreas de cada superficie. Los archivos vectoriales indican a la maquinaria la dosis a aplicar en cada sitio como se puede ver en la Figura 28.

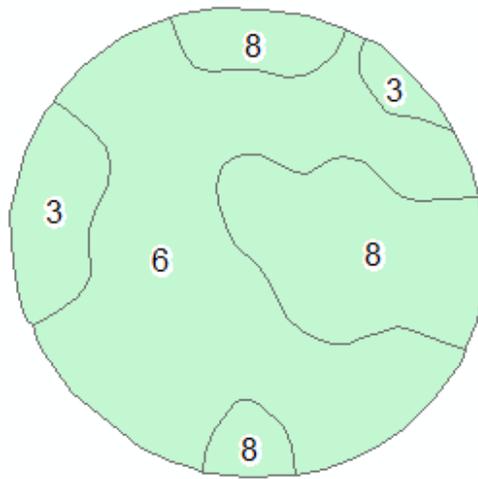


Figura 28. Áreas clasificadas y delimitadas de acuerdo con la dosis recomendada de Fierro recomendado para cada muestra.

4). Se agregó una paleta de color, leyenda y se creó el diseño de impresión como se ilustra en la Figura 29

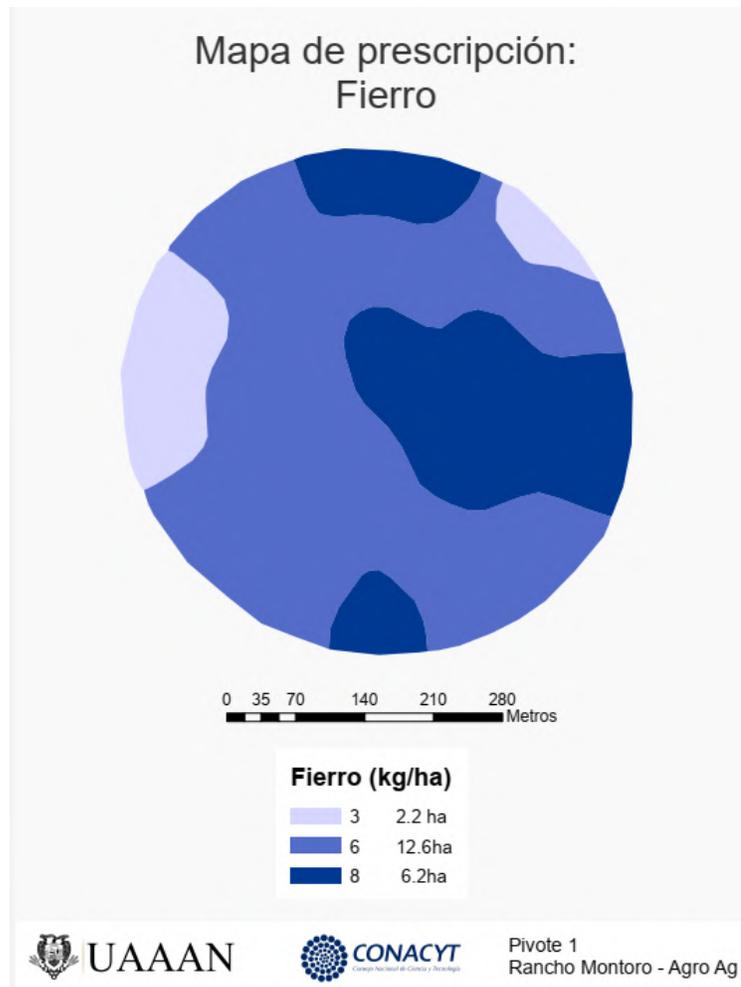


Figura 29. Diseño de impresión del mapa de prescripción de Fierro

### **5.3.2 Cambios en la recomendación de dosis de fertilización para el predio a partir de mapas de prescripción**

El manejo de la fertilización del predio del pivote 1 en el rancho Montoro, se realizó en el ciclo PV 2021 con la siguiente fórmula aplicada uniformemente en todo el terreno: Nitrógeno (N) 310 kg/ha, Fósforo (P) 61.5 kg/ha, Potasio (K) 50 en kg/ha además 18.5 kg/ha de azufre (S), 12kg/ha de magnesio (Mg) y 1kg/ha de zinc (Zn).

El predio está siendo manejado como la mayoría de los agricultores en la zona que calculan las necesidades de fertilización basados en la disponibilidad de nutrientes después de análisis de muestras de suelo y el potencial del rendimiento del sitio. El problema de la aplicación de una dosis uniforme en todo el predio resulta en insuficiencia de nutrientes en algunas partes del terreno y excesiva en otras. Para aplicar únicamente la dosis recomendada en un área bajo el concepto de manejo de sitio específico, se elaboraron los mapas de prescripción. Para cada uno de los mapas se analizará la ventaja de la prescripción comparada con la fórmula uniforme anteriormente utilizada.

#### **5.3.2.1 Elaboración de mapas de prescripción de macronutrientes**

##### **Cambios en la dosis de aplicación de nitrógeno (N).**

En la Figura 30 se muestra el mapa de prescripción de nitrógeno se puede observar que las dosis recomendadas en las diferentes zonas del terreno son siempre menores a la dosis de N que en forma general que se aplicó al terreno en el ciclo que concluye (PV 2021) que fue de 310 kg de N /ha.

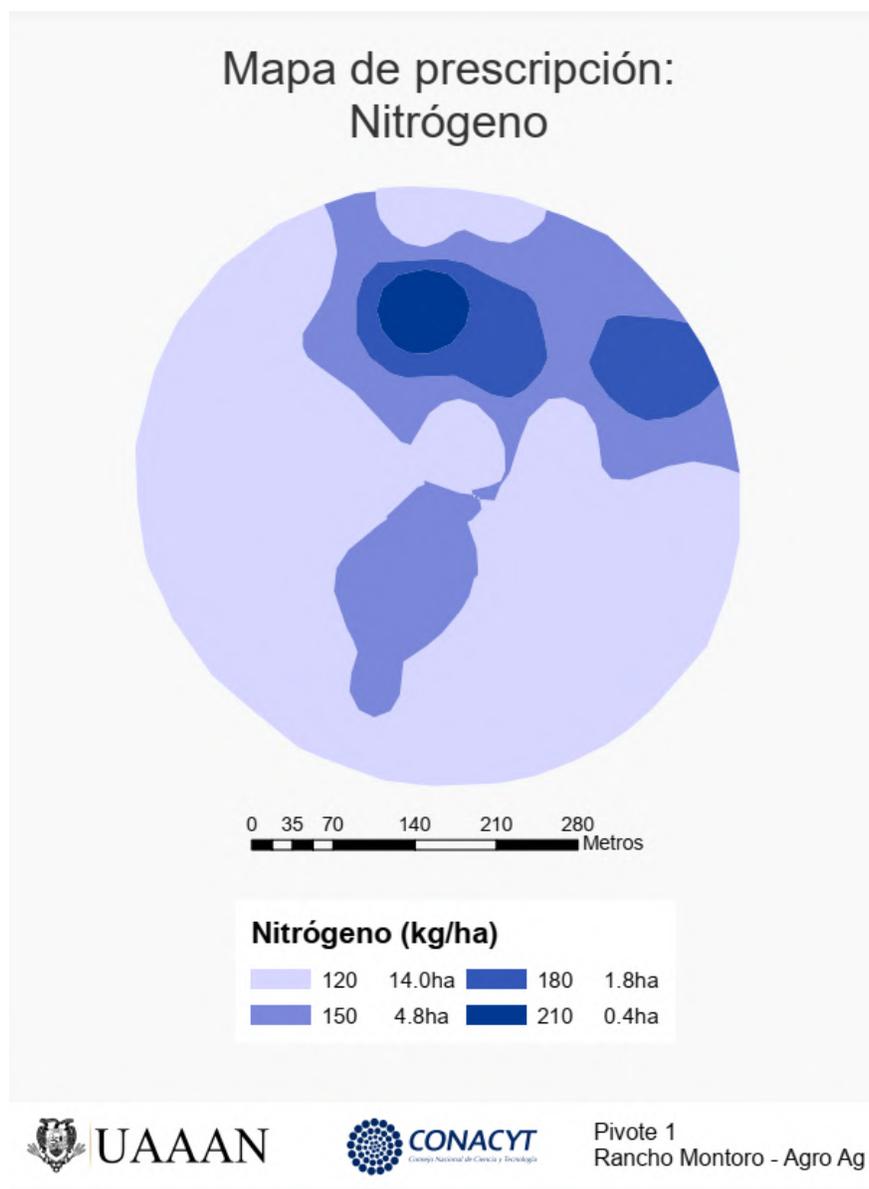


Figura 30. Mapa de prescripción de aplicación de Nitrógeno

Sumando la cantidad de nitrógeno prescrita en el mapa en las cuatro áreas con diferente necesidad de nitrógeno en el predio de 21 ha se aplicará un total de 2808 kg de N lo cual corresponde solo al 43% de lo aplicado en el pasado ciclo (6510 kg de N), al no aplicar la recomendación general convencional para todo el predio se estará aplicando 57% menos cantidad de N.

De acuerdo al mapa de diagnóstico de pH, el predio bajo estudio es alcalino en un rango de 7.5 a 8.7 por lo

que es necesario bajar los valores de pH pues con los valores actuales se tiene problema para la absorción de nutrientes. Para disminuir el pH se recomienda el uso de Sulfato de Amonio y Urea como fuente de Nitrógeno

### Cambios en la dosis de aplicación de fosforo (P)

En la Figura 31 se puede ver que la prescripción para fosforo es no aplicar este nutriente en el terreno. De acuerdo al diagnóstico de este elemento todo el predio tiene disponible suficiente para las necesidades del cultivo.

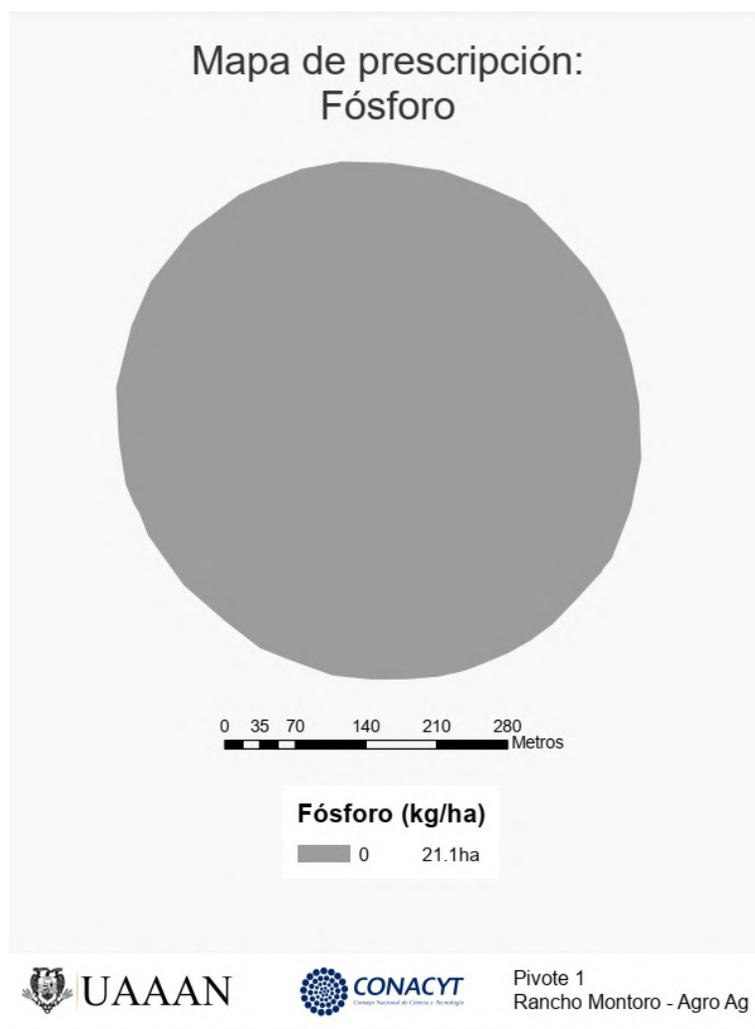


Figura 31 Mapa de prescripción de Fosforo

La dosis de P que en forma general que se aplicó al terreno en el ciclo que concluye (PV 2021) fue de 61.5 kg de P / ha. Considerando lo anterior se disminuirá en 100% la aplicación de P lo que significa dejar de aplicar 1291.5 kg de P en este predio de 21 ha.

### Cambios en la dosis de aplicación de potasio (K)

La Figura 32 es el mapa de prescripción de potasio (K) el terreno se dividió en seis zonas de aplicación variable, la mayoría del terreno tres quintas partes (13 ha) requiere la aplicación de una dosis de 13 kg/ha de K casi una quinta parte del terreno no requiere aplicación y otras cuatro pequeñas áreas requieren dosis de entre 20 a 50 kg / ha de K

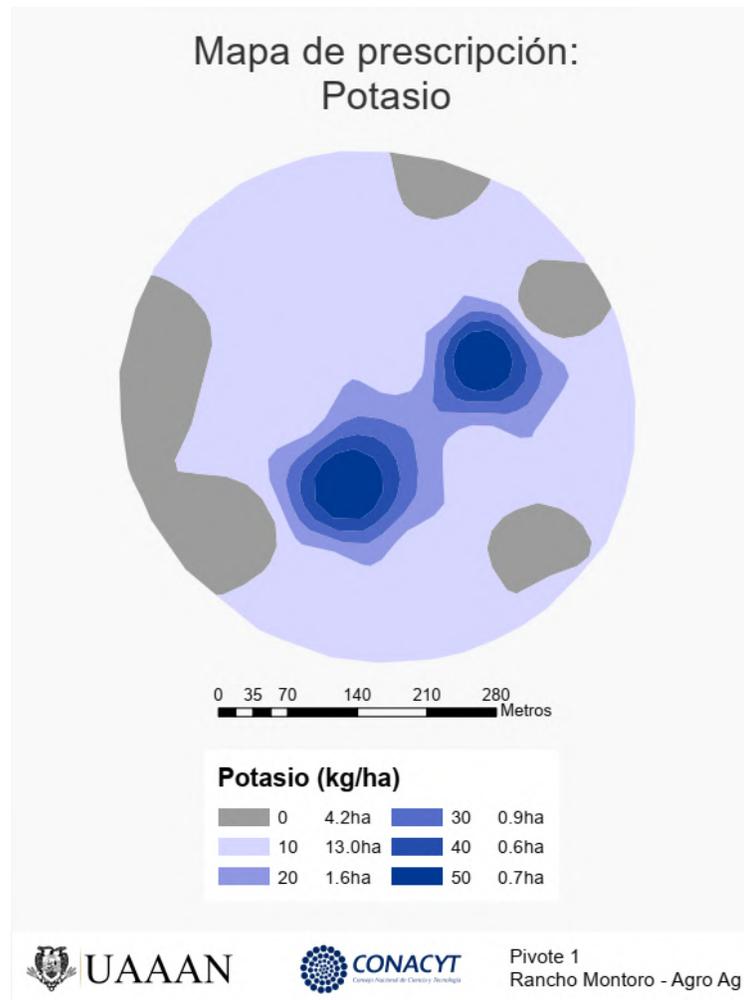


Figura 32. Mapa de prescripción de Potasio

Considerando que la dosis de K que en forma general que se aplicó al terreno en el ciclo que concluye (PV 2021) fue de 50 kg de K / ha, se disminuirá en 76.4 % la aplicación de K lo que significa dejar de aplicar 802 kg de K en este predio de 21 ha

### 5.3.2.2 Elaboración de mapas de prescripción de micronutrientes

#### Cambios en la dosis de aplicación de Fierro (Fe)

El mapa de prescripción de Fierro (Fe) establece tres áreas diferentes de aplicación de este nutriente (Figura 33). Un poco más de la mitad del terreno (12.6 ha) requiere una dosis de 6 kg/ha de Fe

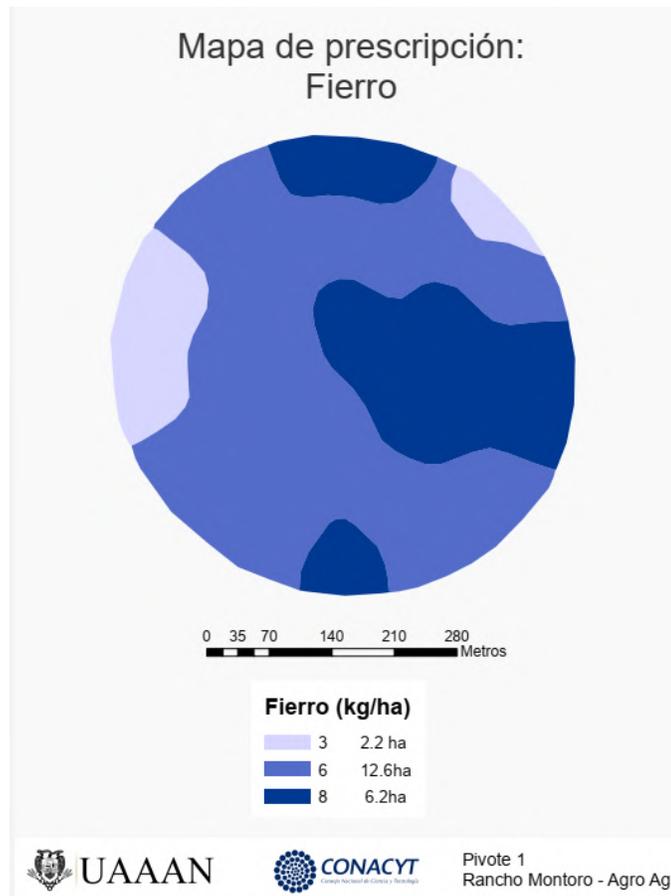


Figura 33. Mapa de prescripción de Fierro

En el ciclo que concluye (PV 2021) no se aplicó Fe, sin embargo, los resultados de los análisis de suelos y considerando la meta de rendimiento de 70 ton /ha de forraje indican que es necesario aplicar las dosis de este nutriente en las partes del terreno especificadas en el mapa de prescripción.

### Cambios en la dosis de aplicación de Manganese (Mn)

En el ciclo que concluye (PV 2021) no se aplicó Mn, sin embargo, los resultados de los análisis de suelos y considerando la meta de rendimiento de 70 ton /ha de forraje indican que es necesario aplicar las dosis de este nutriente en las partes del terreno especificadas en el mapa de prescripción (Figura 34)

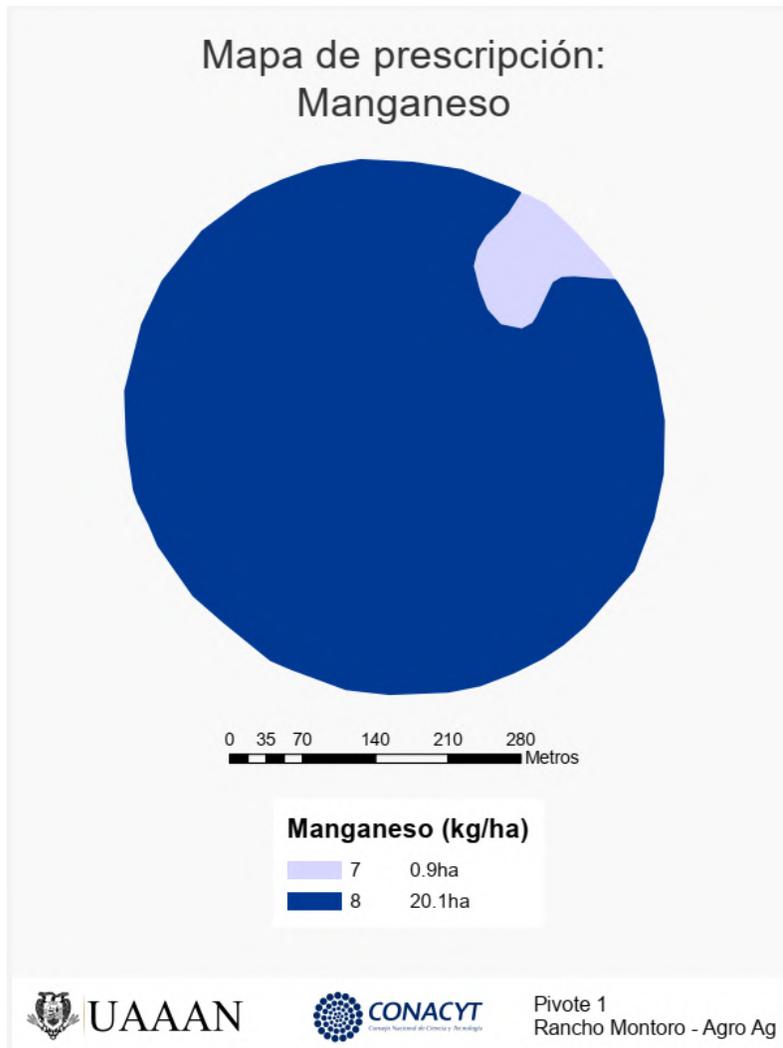


Figura 34. Mapa de prescripción de Manganese

Prácticamente en todo el predio se requiere aplicar 8 ton /ha de Mn

### Cambios en la dosis de aplicación de Zinc (Zn)

La Figura 35 muestra el mapa de prescripción de zinc (Zn). La mayoría del terreno (19.9 ha) no requiere la aplicación de Zn, solo una pequeña parte de un poco más de una ha requiere entre 4 a 8 kg/ha de este nutriente

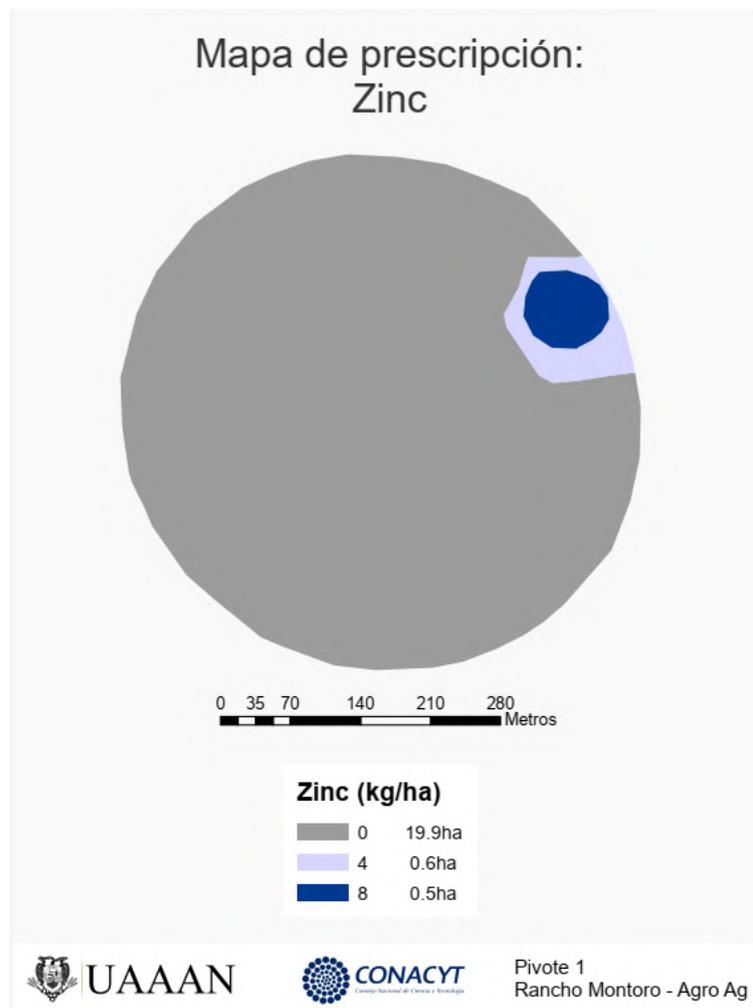


Figura 35 Mapa de prescripción de Zinc

Considerando que la dosis de Zn que en forma general que se aplicó al terreno en el ciclo que concluye (PV 2021) fue de 1 kg de Zn / ha, se disminuirá en 69.6 % la aplicación de Zn lo que significa dejar de aplicar 14.6 kg de Zn en este predio de 21 ha

### Cambios en la dosis de aplicación de Magnesio (Mg)

La Figura 36 representa el mapa de prescripción de magnesio (Mg). Las áreas de aplicación específica van en un rango de 5 kg/ha (40.4% del terreno), prácticamente la mitad requiere entre 7 y 9 kg/ha de Mg y una pequeña área de 2.6 ha requiere 12 kg /ha.

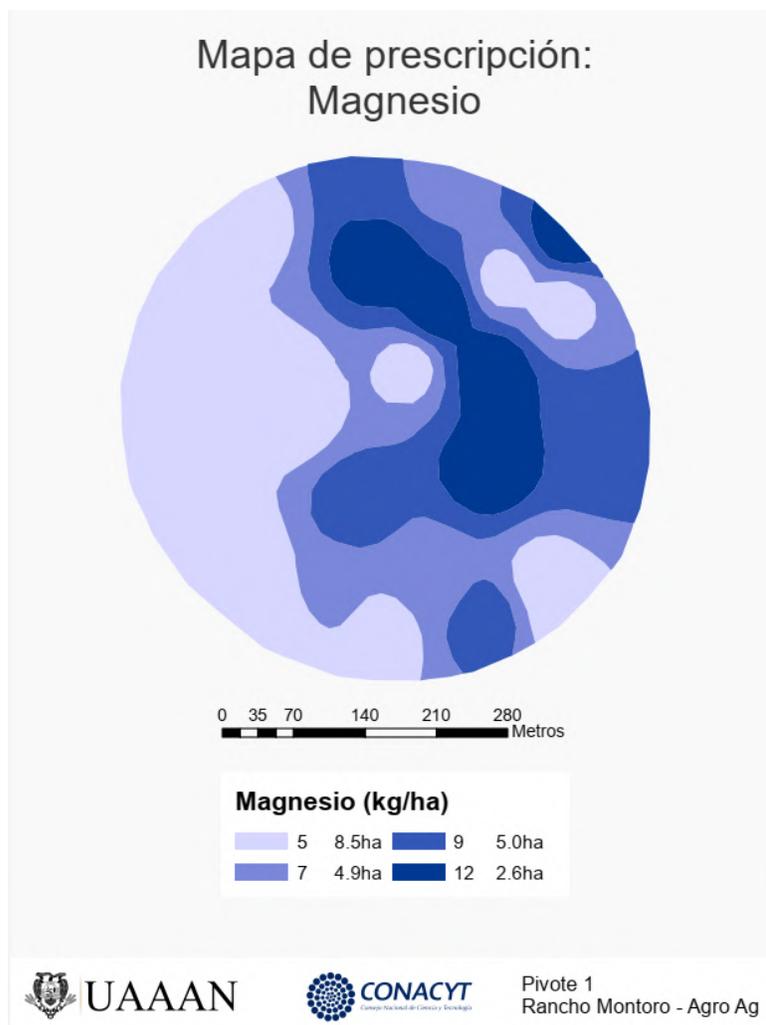


Figura 36. Mapa de prescripción de Magnesio

La dosis de Mg que en forma general que se aplicó al terreno en el ciclo que concluye (PV 2021) fue de 12 kg de Mg / ha, por lo que se aplicaron 252 kg de Mg en el predio. Considerando lo anterior se disminuirá en 39.7 % la aplicación de Mg lo que significa dejar de aplicar 100 kg de Mg en el total de este predio.

### Cambios en la dosis de aplicación de Cobre (Cu)

En el ciclo que concluye (PV 2021) no se aplicó Cu, sin embargo, los resultados de los análisis de suelos y considerando la meta de rendimiento de 70 ton /ha de forraje indican que es necesario aplicar las dosis de este nutriente en las partes del terreno especificadas en el mapa de prescripción (Figura 37).

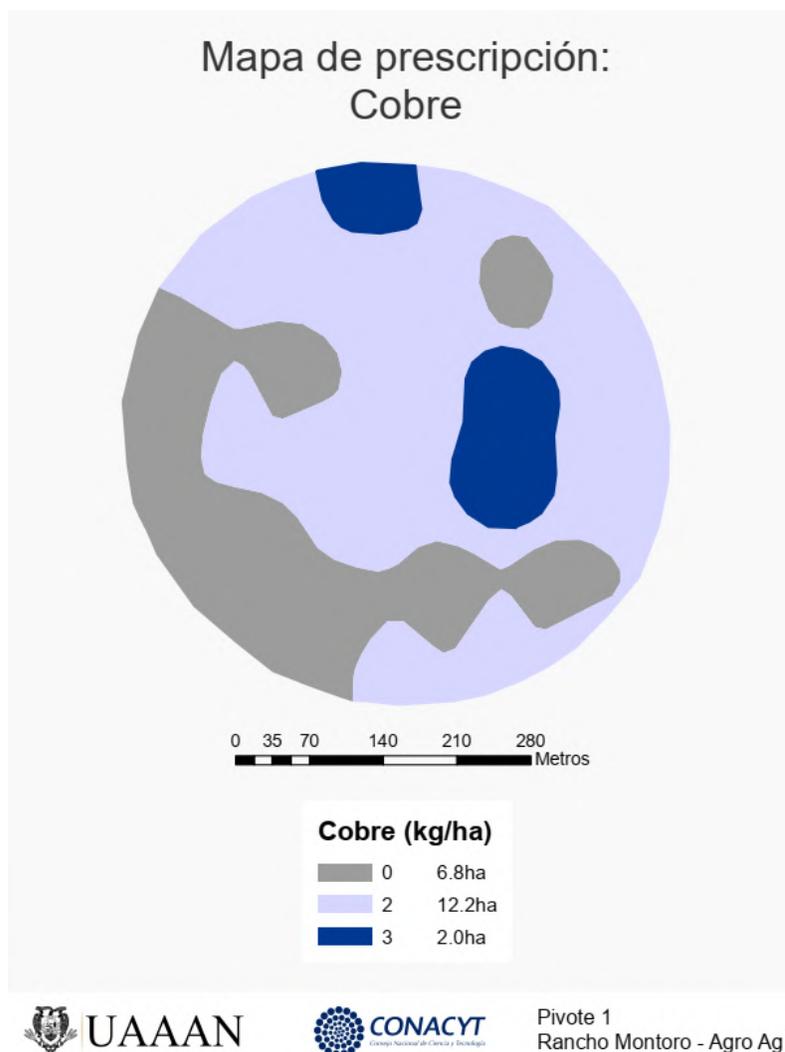


Figura 37. Mapa de prescripción de Cobre

De acuerdo al mapa de prescripción de cobre (Figura 37), en un tercio del predio no se requiere aplicar este nutriente, en 68% del terreno se requiere aplicar una dosis de 2 kg/ha y en 2 ha se debe aplicar 3 kg/ha.

### Cambios en la dosis de aplicación de Boro (B)

En el ciclo que concluye (PV 2021) no se aplicó B, sin embargo, los resultados de los análisis de suelos y considerando la meta de rendimiento de 70 ton /ha de forraje indican que es necesario aplicar las dosis de este nutriente en las partes del terreno especificadas en el mapa de prescripción (Figura 38).

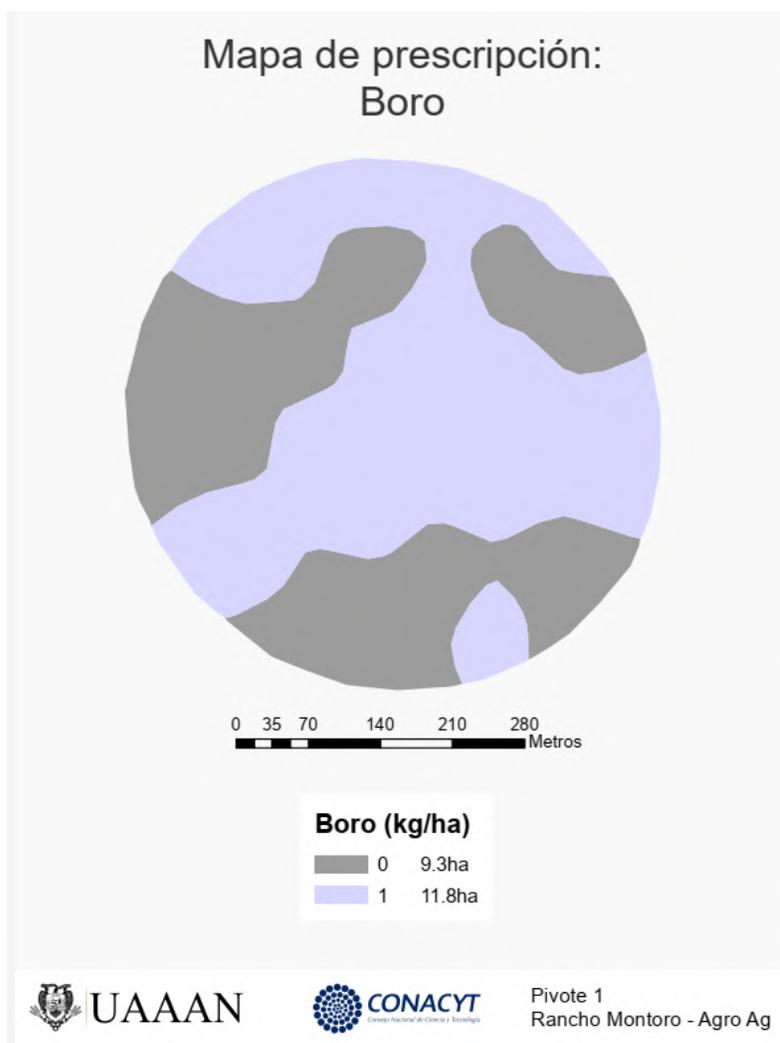


Figura 38. Mapa de prescripción de Boro

De acuerdo al mapa de prescripción divide el terreno en dos áreas; en 9.3 ha no se requiere aplicar B mientras que en el resto se requiere aplicar una dosis de 1 kg/ha de B

### 5.3.2.3 Cambios en la dosis de aplicación de yeso agrícola (sulfato de calcio dihidratado)

La aplicación de yeso agrícola es una de las estrategias para el manejo de los suelos alcalinos ([https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/el\\_manejo\\_de\\_suelos\\_alcalinos.pdf](https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/el_manejo_de_suelos_alcalinos.pdf)) como son los del predio en estudio de acuerdo al mapa de diagnóstico el pH va de 7.5 a 8.7 . Con las recomendaciones para el manejo del pH en cada una de las muestras de suelo se elaboró el mapa de prescripción para la aplicación de yeso agrícola (Figura 39)

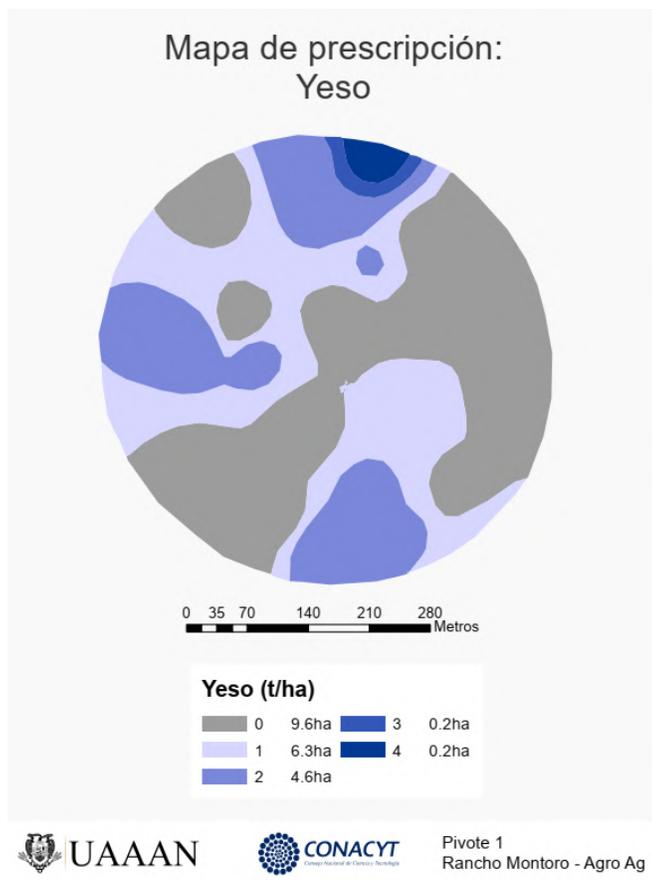


Figura 39. Mapa de prescripción de yeso agrícola

El mapa de prescripción señala que en el 30% del terreno debe aplicarse una dosis de una ton/ha de yeso agrícola, en 22% del mismo la dosis es de 2 ton/ha y en casi 0.5 ha se debe subir en un rango entre 3 y 4 ton/ha. En una superficie de 9.6 ha que corresponde a 48% del terreno no se recomienda la aplicación de este mejorador. Se debe considerar que para aplicación de N en el predio se recomienda como fuentes sulfato de amonio y urea, para el Zn sulfato de zinc, para el Fe sulfato ferroso, para el Mn sulfato de manganeso, para el Cu sulfato de cobre estas fuentes también ayudaran a acidificar el suelo y por lo tanto bajar los valores de pH, por lo que se complementarían con el uso de yeso agrícola para disminuir el pH en las diferentes áreas del terreno.

### **5.3.2.4 Elaboración de mapas de prescripción de siembra. Cambios en la densidad de siembra**

En el ciclo de PV 2021 se estableció el cultivo con la densidad de siembra que utiliza el productor en todo el predio (95,000 plantas /ha). Una vez que se tiene los mapas de diagnóstico y prescripción de nutrientes y mejoradores de suelo, los mapas de prescripción de tasa de siembra variable (cambio de densidades de acuerdo al potencial del suelo) se deben elaborar a partir de ubicar zonas de diferente potencial por lo que es necesario realizar una evaluación en el próximo ciclo PV 2022 de la respuesta del cultivo

#### **Conclusiones de los resultados del objetivo específico 3**

Las prescripciones de uso de yeso agrícola como complemento de fuentes de nutrientes que acidifiquen el suelo es de primordial importancia para disminuir la alcalinidad de suelo y que el cultivo pueda aprovechar los nutrientes

Las prescripciones para aplicación de nutrientes bajo el concepto de sitio específico ahorran la aplicación de insumos. En la aplicación de los macronutrientes teniendo como referencia la recomendación generalizada de fertilización en el predio utilizada el ciclo PV 2021 se puede ahorrar 57% de N, 100% de P, 76.4% de K

En relación a la aplicación de los micronutrientes considerando la misma referencia se puede ahorrar 69.6% de Zn, 39.7% de Mg y los micronutrientes que no se aplicaron como Fe, B, Cu y Mn deben aplicarse en las zonas de prescripción en las dosis recomendadas para alcanzar la meta de 70 ton de forraje en verde.

Una recomendación importante para bajar el pH a valores en que no se interfiera en la disponibilidad de nutrientes es la aplicación de yeso agrícola en las áreas y dosis recomendadas en el mapa de prescripción.

#### **Recomendaciones**

Realizar la aplicación de Yeso en el terreno durante la preparación del terreno y realizar su incorporación con la labor de rastra.

Se recomienda implementar un experimento con cuatro densidades de siembra (75 000, 100, 000 (testigo), 150 000 y 200 000) estableciendo franjas de cada una de estas densidades en cada uno de los 4 sitios detectadas en el mapa de rendimiento.

Hacer los ajustes de fertilización para cada una de las densidades de siembra.

### **5.4 EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD EN EL CONTROL DE ARVENSES (Resultados del objetivo específico 4)**

Para la realización de este estudio de campo se seleccionó un predio ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el área conocida como El Bajío, en la ciudad de Saltillo, Coahuila, México (25°23'36.24" N, 101°0'1.8" W) durante el año de 2021(Figura 40). El predio de aproximadamente 0.5 ha se subdividió en 12 parcelas rectangulares de 10 m de ancho por 25 m de largo, la distancia entre parcelas fue

de 3 m de ancho para asegurar las maniobras de los equipos agrícolas.

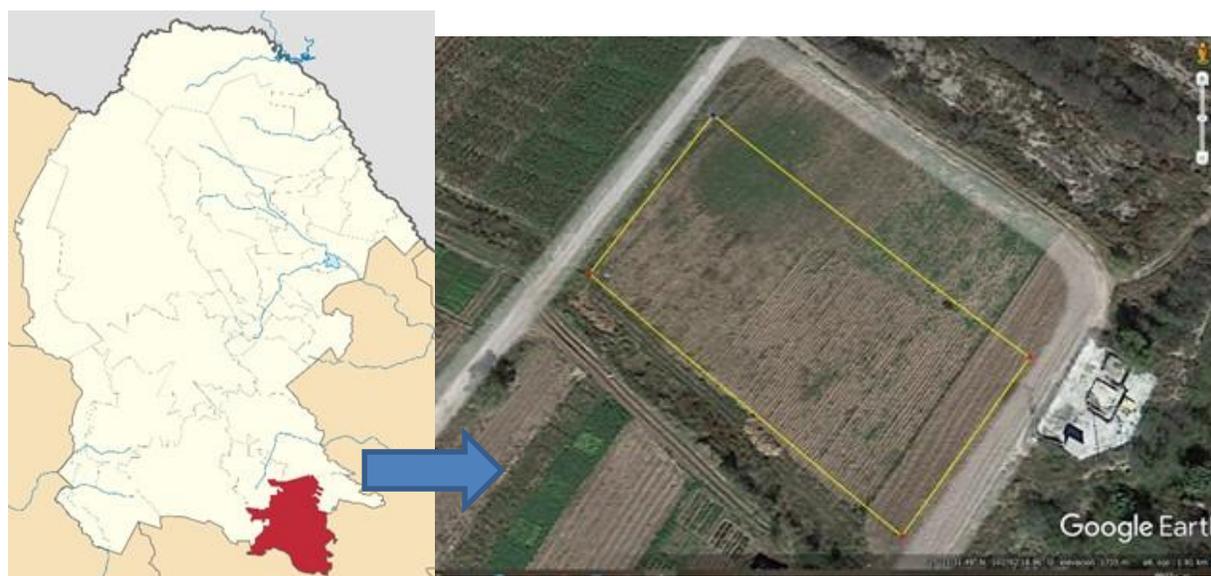


Figura 40. Ubicación del campo de estudio para el cultivo de maíz. Campo el Bajío, Saltillo, Coahuila.

La siembra se llevó a cabo el día 14 de julio de 2021. Se utilizó semilla certificada de maíz híbrido AN-447, utilizando una sembradora de precisión John Deere 1035 de 4 unidades con una distancia entre surcos de 83 cm, calibrada para sembrar 100,000 semillas/ha. La sembradora se acopló a un tractor John Deere 6003 con sistema de autoguiado (Autotrac, John Deere) para asegurar la uniformidad en las líneas de siembra. Una vez establecido el cultivo, se mantuvo bajo condiciones de riego por aspersión.

Los tratamientos de control de arvenses a evaluar fueron:

Tratamiento 1) Químico. Para este tratamiento se utilizó la recomendación para control de arvenses de hoja ancha y angosta en maíz forrajero de riego en la región con una aspersión de herbicida pre-emergente 2, 4-D 35.70% + Dicamba a dosis de 1 L /ha luego aplicación post-emergente de 2, 4-D, Ester butílico 48.94% CE a dosis de 1 L/ha a los 20 y 40 días después de la siembra.

Tratamiento 2) químico+ mecánico con cultivadora, para este tratamiento se realizó una aplicación pre-emergente de 2, 4-D 35.70% + Dicamba a dosis de 1 L /ha, luego a los 20 y 40 días después de la siembra se realizó el paso de cultivadora para controlar las malezas

Tratamiento 3) mecánico con azadón rotatorio. Este tratamiento consistió en pasar el implemento azadón rotatorio a los 20 y 40 días después de la siembra.

Tratamiento 4) mecánico con cultivadora. En este tratamiento se realizó un paso de cultivadora a los 20 días y otro a los 40 días después de la siembra.

Cuadro 3. Diseño experimental con cuatro tratamientos y tres repeticiones, y asignación de las parcelas.

Tratamiento	Repetición	Parcela
Químico	1	9
	2	1
	3	6
Químico + cultivadora	1	2
	2	12
	3	10
Azadón rotatorio	1	8
	2	4
	3	3
Cultivadora	1	5
	2	11
	3	7

Para el muestreo de arvenses se tomaron 5 muestras en el surco (S) y otras 5 en el entresurco (E), procurando cubrir un muestreo representativo de la superficie en que crecen las malezas (Figura 41). Los puntos de muestreo también se marcaron con marcadores de madera enterrados en el suelo. Para asegurar un área constante de muestreo, se fabricó un marco cuadrado de madera de 41.5 cm por lado (distancia correspondiente a la mitad de la distancia entre surcos) que se colocó al centro de los marcadores cada vez que se tomaron los conteos de individuos de arvenses.

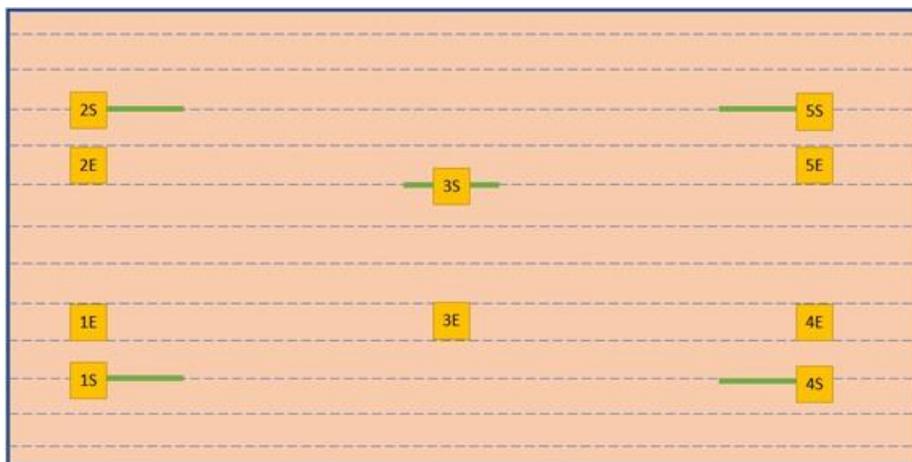


Figura 41. Arreglo de muestreo en la parcela. Cada cuadro representa una muestra de arvenses y su número indica el orden de la muestra y la letra S si ésta fue tomada en el surco, mientras que la letra E denota el entresurco.

La medición de la efectividad del control de cada repetición se hizo mediante una comparación entre el número total de individuos de arvenses un día antes del tratamiento versus el número total de individuos de arvenses una semana después del tratamiento dividida por el número de individuos antes del tratamiento, usando la siguiente fórmula.

$$E = \left(1 - \frac{a}{b}\right) 100$$

Donde E es la efectividad del tratamiento, expresada en porcentaje; a es el conteo de arvenses antes del tratamiento (suma de las 5 muestras), y b es el conteo de arvenses después del tratamiento (suma de las cinco muestras). Esta eficiencia se realizó independiente para las muestras del surco (S) e independiente para las muestras del entresurco (E).

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante un análisis de varianza con los datos de los promedios de rendimiento por parcela para determinar la afectación del tipo de control de arvenses con el rendimiento.

## Resultados

La Figura 40 muestra los promedios de la efectividad en el control de cada tratamiento y por localización en surco o en entresurco. La Figura 42 (a) muestra los valores de efectividad a los 20 días después de la siembra. Allí se puede apreciar, que el mejor método de control de malezas fue la cultivadora, con una eficacia del 31.6% para el surco y 55.0% para el entresurco. El método que resultó menos eficaz fue el azadón rotativo que tuvo un control de 2.2% en surcos y nulo en entresurcos. Para el método de control Químico + cultivadora, se aprecia que obtuvo más eficacia en entresurcos, con un valor de 52.8%, y

solamente 5.1% en surcos, mientras que el tratamiento Químico tuvo un control de 25% en surcos y de 38.6% en entresurcos.

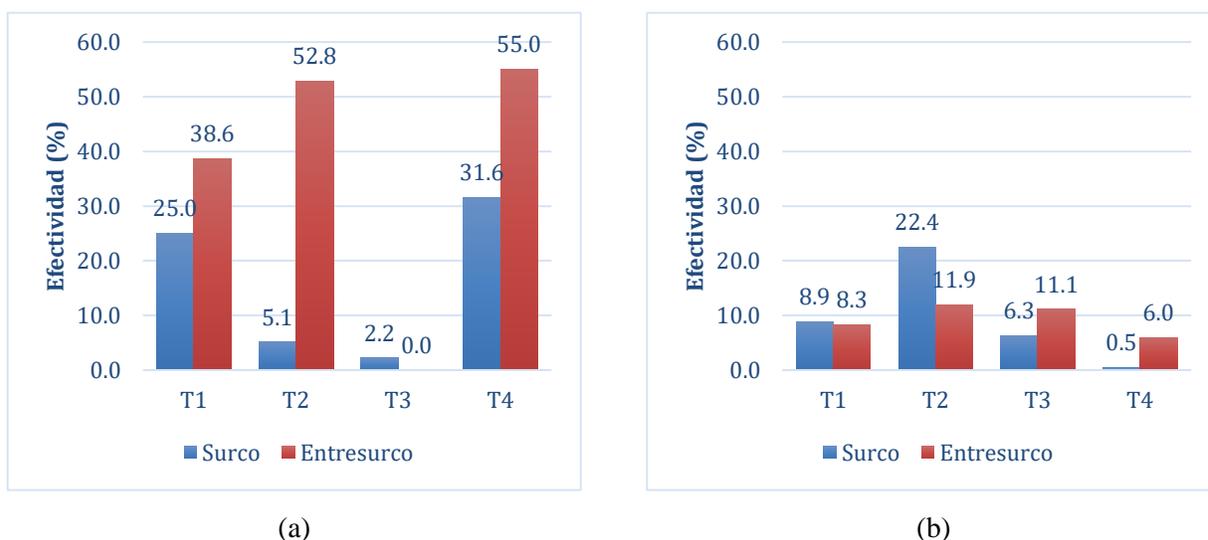


Figura 42. Promedios de eficacia para cada tratamiento de control de malezas, y por la ubicación de los muestreos en surco o entresurco; (a) eficacia de control al 6 de agosto de 2021, y (b) eficacia de control al 26 de agosto de 2021. Nomenclatura: T1 = Químico, T2 = pre emergente + cultivadora, T3 = azadón rotativo, y T4 = cultivadora.

La Figura 42 (b) muestra los resultados de efectividad promedio para los cuatro tratamientos a los 40 días después de la siembra. Para esta fecha, se aprecia que el control Químico + cultivadora fue el que presentó mejor porcentaje de control de arvenses, con eficacias de 22.4% y 11.9% para el surco y el entresurco, respectivamente, mientras que el método menos eficaz fue el de cultivadora, con eficacias de 0.5% para el surco, y de 6.0% para el entresurco.

Los rendimientos promedio en materia verde de los tratamientos fueron de 39.3 ton/ha para el control químico, de 43.2 ton/ha para el control Químico + cultivadora, de 48.3 ton/ha para el control de azadón rotativo, y de 49.0 para el control por cultivadora. Sin embargo, el análisis de varianza, representado gráficamente en la Figura 43 muestra que el rendimiento no tuvo una diferencia significativa con respecto a los cuatro tratamientos que se aplicaron, por lo que se acepta la hipótesis nula que define a las medias de rendimiento como estadísticamente iguales.

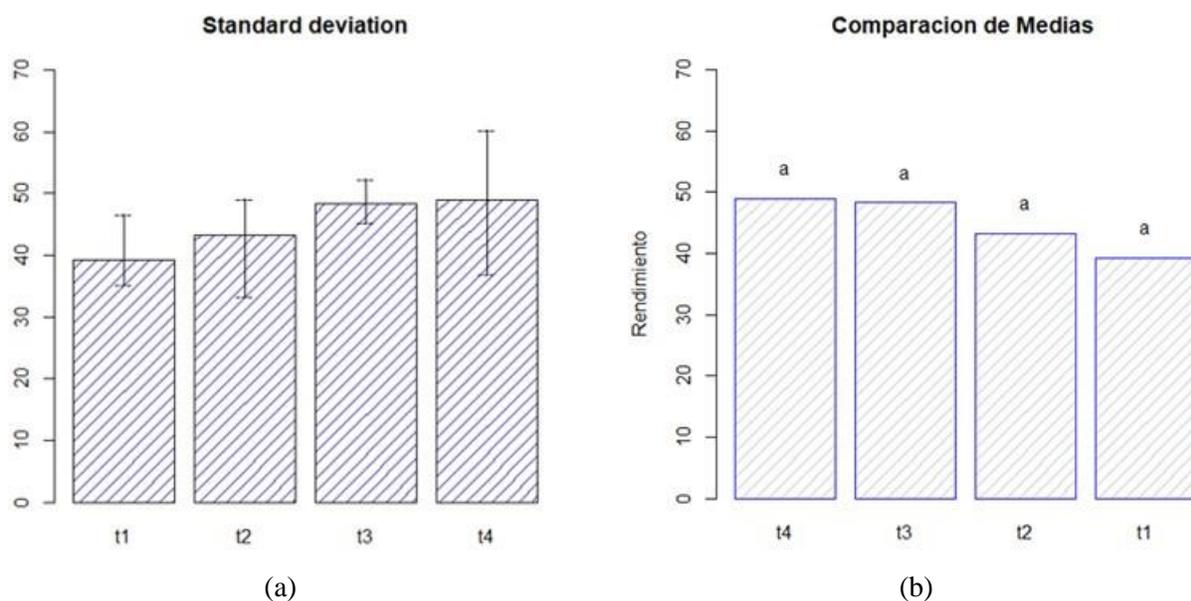


Figura 43. Histogramas de (a) desviación estándar y (b) comparación de medias de rendimiento en toneladas por hectárea para los diferentes tratamientos de control de malezas y su efecto en el rendimiento del cultivo. Nomenclatura: t1 = Químico, t2 = Químico + cultivadora, t3 = azadón rotativo, y t4 = cultivadora.

#### Conclusiones del objetivo específico 4

En general los métodos que mejor controlaron las malezas fueron el T2 = Químico+ cultivadora y el T4 = cultivadora, por lo que en este caso sería preferible optar por usar solamente la cultivadora. Además, el rendimiento promedio relativo más alto fue de 49.0 ton/ha para el control por cultivadora y el menor fue de 39.3 ton/ha para el control químico. Sin embargo, no hubo diferencia significativa en la respuesta de rendimiento bajo los diferentes métodos de control de malezas. Es así como se concluye que cualquiera de los cuatro métodos es igualmente efectivo, pero se debe optar por aquellos que eviten el uso de herbicidas y así reducir las consecuencias perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana, para este objetivo, se sigue optando por el método de cultivadora que tiene una eficacia de control alta y que evita el uso de herbicidas, y fue el que resulto con el mayor rendimiento

#### Recomendaciones

Por tratarse de un proceso de producción agrícola, es necesario comparar el presente estudio con otros subsiguientes para asegurar la confiabilidad de los resultados al tener más ciclos de cultivo. Aunado al

estudio, se podrá incluirse en un futuro el análisis costo beneficio de los métodos de control de malezas.

**6. BENEFICIOS, RESULTADOS Y USUARIOS FINALES.** Se deberá indicar las ventajas, consecuencias positivas e impacto del proyecto y cuáles fueron los mecanismos de transferencia de resultados y/o usuarios finales.

#### **Ventajas de los resultados del proyecto.**

Las ventajas de los procedimientos validados de agricultura de precisión como diagnóstico con muestras de rendimiento y suelo localizadas en el terreno a través de mapas de NDVI que permiten localizar zonas con diferentes características, es que se puede generar información precisa para elaborar mapas de prescripción para la aplicación de tasas variables de insumos de acuerdo a las necesidades específicas de las diferentes zonas de los predios. Las ventajas del procedimiento es el eficiente uso de insumos.

Por otra parte, la ventaja de caracterizar la efectividad de los sistemas de control de arvenses por medios mecánicos es mostrar opciones que disminuyen el riesgo de degradación ambiental y a la salud humana.

#### **Consecuencias positivas**

Las consecuencias positivas de los resultados es mostrar que los predios agrícolas presentan una gran variabilidad física, química y biológica por lo que es necesario realizar diagnóstico preciso de sus propiedades con el fin de hacer eficiente y sostenible su manejo. Lo anterior primero lleva a ahorro de insumos (obtención de un mejor beneficio-costos en los sistemas de producción) el no aplicar insumos excesivamente disminuye el riesgo de degradación ambiental (contaminación de suelo y agua).

#### **Impacto del proyecto**

El impacto del proyecto se está dando directamente en el manejo adecuado del predio del productor cooperante, no obstante que el proyecto fue planteado en su primera etapa (diagnostico) se realizaron demostraciones para autoridades del sector agropecuario, técnicos y productores de los resultados obtenidos a noviembre 2021, tanto en Rancho Montoro, Aguascalientes como en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Los asistentes pudieron ver los beneficios que implica el manejo de los sistemas de producción con el enfoque de sitio específico en un mejor beneficio costo y evitar el uso irracional de insumos y su riesgo de degradación ambiental. Es necesario continuar con la siguiente etapa del proyecto que es la operación de las prescripciones y su evaluación técnica-económica-ambiental. La metodología del sistema puede tener impacto positivo en los sistemas de producción bajo riego en México que actualmente se da en más de 6 millones de ha.

**7. PROBLEMÁTICAS Y DIFICULTADES ENCONTRADAS DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.** Describa brevemente los principales retos y dificultades científicas, tecnológicas, de infraestructura, sociales, culturales, etc. a las cuales se enfrentó durante el desarrollo del proyecto y que pudieron afectar su logro.

Las principales dificultades que afectan al proyecto es el tiempo para desarrollarlo. La convocatoria solo es para proyectos de seis meses sin embargo una vez que se aprueba y formaliza por los trámites administrativos tanto de CONACYT como de la Universidad, el proyecto pudo tener los recursos disponibles a finales de agosto 2021, luego el informe financiero fue solicitado y entregado auditado el 30 de noviembre 2021 (lo que implicó dejar de ejercer el 15 de noviembre) lo anterior implicó tratar de ejercer el presupuesto en solo dos meses y medio. Se notificó la aprobación del proyecto a fines de junio de 2021 justo en el límite para iniciar el ciclo de cultivo.

Se requiere que las convocatorias para proyectos que impliquen ciclos agrícolas en campo sean a más tardar en marzo y la decisión de apoyo sea en abril para poder tiempo suficiente para desarrollar el proyecto.

**8. VINCULACIÓN Y ARTICULACIÓN AL IMPLEMENTAR EL MODELO PENTAHÉLICE** (Gobierno-Academia-Industria-Sociedad-Ambiente). Describa brevemente su experiencia general sobre las vinculaciones realizadas o logradas durante el desarrollo del proyecto.

El proyecto fue vinculado y articulado entre organismo del gobierno federal(CONACYT) la academia (Grupo de profesores investigadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), la industria agroalimentaria (Agro Ag) en un tema de alta importancia social y ambiental como lo es el uso irracional de insumos agrícolas (principalmente fertilizantes y herbicidas) cuyas malas prácticas ponen en alto riesgo la salud humana y el ambiente.

**9. FINANCIAMIENTO SOLICITADO Y EJERCIDO.** Presupuesto total solicitado y ejercido para el desarrollo del proyecto y su justificación, infraestructura disponible y la nueva requerida (explicando las razones para su adquisición), así como posibles fondos complementarios.

Los primeros dos meses del proyecto no se pudo ejercer el presupuesto pues la aprobación y formalización tardaron hasta mediados de agosto 2021. No obstante, los ciclos agrícolas no pueden esperar y las actividades fueron realizadas desde junio con recursos para gasto corriente tanto de la Universidad como del productor cooperante. Una vez formalizado el proyecto solo se pudo ejercer el presupuesto durante dos meses y medio (se había programado ejercerlo en seis meses) por lo que del total solicitado solo se ejerció aproximadamente el 58% principalmente en inversión en que se adquirió estación de trabajo y software para procesamiento de imágenes, refacciones y accesorios para equipo de toma de datos. Lo no ejercido (alrededor de 42%) fue principalmente en gasto corriente (viáticos, pago de trabajo de campo) gran parte de este gasto fue apoyado por parte de la Universidad y el productor cooperante sin ser formalmente fondos complementarios, sin estos gastos no hubiese sido posible iniciar el proyecto oportunamente y cumplir los objetivos ya que el CONACYT no reconoce gastos hasta el tanto no se haya formalizado el proyecto.

## 10. REFERENCIAS. Máximo 25 referencias.

1. Cabello, Marco A. (2017), Oportunidad en agricultura de precisión (II), *El Economista*, 6 de julio de 2017.
2. Campos Magaña, S.G., Cadena Zapata, M., Reynolds Chávez, M.A., Jácome-Maldonado S.M. 2007. Desarrollo de un sistema de siembra neumático de alta precisión para labranza de conservación para tractores de potencia Media. *Terra Latinoamericana* 25(1): 85-91.
3. Campos Magaña, S.G., López López, J.A., Cadena Zapata, M., Reynolds Chávez, M.A., Cuervo Piña, N., Ramírez Fuentes, G. 2015. Desarrollo de un penetrómetro integrado con tecnología gps-rtk para la generación de mapas de resistencia a la penetración del suelo. *Terra Latinoamericana* 33: 119-128.
4. Campos Magaña, S.G., Cadena Zapata, M., Ramírez Fuentes, G. 2014. Desarrollo de equipos, sensores e instrumentos para agricultura de precisión y labranza de conservación. Premio INNOVAGRO 2014. <https://www.redinnovagro.in/docs/UAAN.pdf>
5. Campos-Magaña S:G:, Reynolds-Chávez M.A.,Cadena-Zapata M., Lopez-Lopez J.A., Cuervo-Piña N, Ramírez-Fuentes G. (2015). Desarrollo de un sistema integral de medición de fuerzas para la evaluación de implementos de labranza. *Terra latinoamericana* 33(2), 139-149.
6. Campos Magaña, S.G., Pacheco-Lopez J.L., Cadena Zapata, M., Reynolds Chávez, M.A., Valenzuela-Martinez J.R., Ramírez Fuentes, G. 2015. An experimental determination of the specific soil resistance of a sandy loam soil using vertical soil tillage in the North East of Mexico. *AMA* 46(1): 53-57
7. Chartuni-Mantovani E., Magdalena C. (2014). Manual de agricultura de precisión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. 1 – 178
8. Constant, K., Nourry, C., & Seegmuller, T. (2014). Population growth in polluting industrialization. *Resource and Energy Economics*, 36(1), 229- 247.
9. Diario Oficial de la Federación (DOF). 2020. DECRETO por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato. DOF: 31/12/2020
10. Galindo-González R., Campos Magaña S.G., Cadena-Zapata M., Lopez-Lopez J.A., Lopez\_lopez G.F.(2019). Evaluación de un transductor integral para determinar la magnitud del error de medición. *Terra Latinoamericana*. 37(4), 329-338.
11. Gebbers, R. and V.I. Adamchuk. 2010. Precision Agriculture and Food Security, *Science* 327 (5967), 828-831.
12. Gerland, Patrick et al (2014), World population stabilization unlikely this century, *Science* 346 (6206) 234-237.

13. Guillen-Sanchez J., Campos-Magaña S.G., Sanchez-Lopez C.,Gonzalez-Brambila O., Ramírez-Fuentes G. (2017) Experimental apparatus to determine the power applied in vibrating vertical tillage. CIGR. 17(2), 68-75.
14. Guillen-Sanchez J., Campos-Magaña S.G., Sanchez-Lopez C.,Gonzalez-Brambila O., Ramírez-Fuentes G. (2018) Calibración de sensores para la determinación de potencia aplicada a la labranza vertical vibratoria. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 21(especial), 4370-4382
15. Hayashi, A., Akimoto, K., Tomoda, T., & Kii, M. (2013). Global evaluation of the effects of agriculture and water management adaptations on the water-stressed population. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 18(5), 591-618.
16. Mulla, David J. (2013), Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps, *Biosystems Engineering* 114, 358-371.
17. Nature. 2010. How to feed a hungry world. *Nature*, 466(7306), 531-532.
18. Sahin, H. 2019. A Review on Parameters Affecting the Choice of Alternative (Non-Chemical) Weed Control Methods. *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science* 4 (12) 16-19 DOI:<http://dx.doi.org/10.24018/ejers.2019.4.12.1641>
19. Reynolds-Chávez M.A., Campos-Magaña S.G., Cadena-Zapata M., Lopez-Lopez J.A., Cuervo-Piña N. (2015). Vertical tillage parameters to optimize energy consumption. *CIGR*. 17(2), 130-140.
20. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2021. Estadística de uso tecnológico y de servicios en la superficie agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
21. Stone, M.L. and Raun, W.L. 2016. Sensing technology for precision crop farming. In: Q. Shang (Ed.) *Precision agriculture technology for crop farming*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742
22. United Nations (2017), *World Population Prospects: The 2017 Revision*, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York, NY 10017, USA.
23. Weis, M., M. Keller and V. Rueda Ayala (2012). *Herbicide Reduction Methods, Herbicides - Environmental Impact Studies and Management Approaches*, R. Alvarez-Fernandez (Ed.), ISBN: 978-953-307-892-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/herbicides-environmental-impactstudies-and-management-approaches/herbicide-reduction-methods>