

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“USO DE MEDIDOR DE NDVI PARA OPTIMIZAR LA
FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO
CONDICIONES DE INVIERNO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

KARINA DEL ROSARIO FLORES ALVA

LIMA- PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	version plagscan 2 Tesis KFlores BAJO CONDICIONES DE INVIERNO (1).docx (D158846887)
Submitted	2023-02-17 02:30:00
Submitted by	Jorge Tobaru
Submitter email	jtobaru@lamolina.edu.pe
Similarity	3%
Analysis address	jtobaru.unalm@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	<p>Universidad Nacional Agraria La Molina / Tesis- Josselyn Quiñones-UTILIZACION DEL INSTRUMENTO GREENSEEKER PARA DOSIFICAR LA SEGUNDA ENMIENDA NITROGENADA EN MAIZ AMARILLO DURO (ZEA MAYS L.) LA MOLINA.- DOCUMENTO PAPA PPT.docx</p> <p>Document Tesis- Josselyn Quiñones-UTILIZACION DEL INSTRUMENTO GREENSEEKER PARA DOSIFICAR LA SEGUNDA ENMIENDA NITROGENADA EN MAIZ AMARILLO DURO (ZEA MAYS L.) LA MOLINA.- DOCUMENTO PAPA PPT.docx (D149463695)</p> <p>Submitted by: evilcara@lamolina.edu.pe</p> <p>Receiver: evilcara.unalm@analysis.urkund.com</p>	8
	W	<p>URL: https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4411/56988.pdf?sequence=1&isAllowed=y</p> <p>Fetchet: 2022-06-08 15:45:42</p>
W	<p>URL: https://nue.okstate.edu/Index_Publications/95-103.pdf</p> <p>Fetchet: 2021-12-08 21:04:31</p>	1

Entire Document

RESUMEN

El cultivo de maíz amarillo duro en el Perú requiere cada vez de mayor demanda, pero esta es satisfecha en su gran mayoría por las importaciones debido a los menores costos de producción, perjudicando al agricultor nacional. Ante esto, la investigación está basada en el uso del sensor óptico GreenSeeker para dosificar la segunda fertilización para

57%	MATCHING BLOCK 1/10	SA	Tesis- Josselyn Quiñones-UTILIZACION DEL INSTR ... (D149463695)
<p>el cultivo de maíz amarillo duro variedad DK-7088, utilizando el protocolo de la Universidad de Oklahoma (Oklahoma University). Se utilizó la fórmula obtenida específicamente para costa central en un campo</p>			

en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina en siembra de invierno, donde a partir de las mediciones del NDMI el índice INSEY genera dosis de nitrógeno para los tratamientos. Las mediciones recomendaron entre 0 kg/ha a 5.12 kg/ha de urea, fertilizante nitrogenado más utilizado. Los rendimientos no presentaron diferencias significativas, se comprobó que el uso del GreenSeeker homogeniza los rendimientos cuyos valores fueron entre 7.77 t/ha a 8.75 t/ha. Debido al ahorro del uso de fertilizante y mano de obra la rentabilidad del cultivo incrementó entre 19.3 y 25.9 por ciento en diferentes provincias de la provincia de Lima.

Palabras clave: GreenSeeker, Maíz, fertilización nitrogenada, Rendimiento, Rentabilidad, DK-7088

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“USO DE MEDIDOR DE NDVI PARA OPTIMIZAR LA
FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO
CONDICIONES DE INVIERNO”**

KARINA DEL ROSARIO FLORES ALVA

Tesis para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Dr. Federico Alexis Dueñas Dávila
PRESIDENTE

.....
Ing. Mg Sc. Hugo Oswaldo Ramos Inca Roca
ASESOR

.....
Ing. Mg. Sc. Elías Hugo Huanuqueño Coca
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez Vílchez
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Julia, Norma, Lorena y Rosa, por siempre desearme lo mejor.

A mis amigos, compañeros y profesores, por hacer de mis años en la UNALM muy valiosos.

.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Mg Sc. Hugo Oswaldo Ramos Inca Roca por darme la oportunidad de asesorarme y por todos sus consejos y enseñanzas transmitidas durante el desarrollo de la tesis y en sus clases.

Al Fondo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, al Programa de Maíz y a sus respectivos profesores por todo el apoyo y facilidades brindadas.

A los profesores miembros del Jurado por sus aportes para la mejora de esta investigación y por sus enseñanzas a lo largo de mi etapa universitaria.

A mis amigos que siempre me alentaron y me dieron sus mejores deseos, especialmente a Jossyn y a Marco por su apoyo en la fase final del proceso. También agradezco a mis compañeros de la Facultad de Agronomía que participaron en distintas jornadas por el tiempo y el apoyo dados.

Por siempre agradecida.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	2.1 Generalidades del Cultivo.....	3
	2.1.1 Clasificación botánica	3
	2.1.2 Fenología del cultivo	3
	2.2 Maíz amarillo duro en el Perú	5
	2.3 Rendimiento del maíz amarillo duro	5
	2.4. Maíz híbrido variedad DK -7088.....	7
	2.5 Fertilización nitrogenada	8
	2.6 Incremento del costo de la urea a nivel mundial y nacional	10
	2.7 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	10
	2.8 Algoritmo basado en sensores ópticos para la fertilización nitrogenada	11
	2.8.1 Sensor portátil GreenSeeker	11
III.	METODOLOGÍA	14
	3.1 Ubicación	14
	3.2 Material genético	14
	3.3 Instrumentos y equipos	14
	3.4 Análisis de suelo	15
	3.5. Tratamientos	16
	3.6. Análisis estadístico.....	17
	3.6.1 Diseño experimental	17
	3.6.2 Prueba de Comparación	18
	3.6.3 Análisis de datos	18
	3.7. Campo experimental	24
	3.8 Preparación de terreno	24
	3.9 Siembra	25
	3.10. Riego	25
	3.11. Fertilización	25
	3.12 Raleo	25
	3.13 Variables a medir	25
	3.13.1. Morfología de la planta	25
	3.13.2 Cosecha	26
	3.13.3 Variables de rendimiento	26

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1 Rendimiento	28
4.2 Rentabilidad	34
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
VII. BIBLIOGRAFIA.....	40
VIII. ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Temperaturas en diferentes etapas del cultivo de maíz amarillo duro	6
Tabla 2: Resultados del análisis de suelo	16
Tabla 3: Tratamientos a evaluar	17
Tabla 4. Esquema del análisis de varianza	18
Tabla 5: Cantidad de nitrógeno (kg/ha) para la fertilización	23
Tabla 6: Cantidad de urea (kg/ha) para la fertilización	24
Tabla 7. Variable del Rendimiento en grano (t/ha)	28
Tabla 8: Promedio de variables evaluadas	29
Tabla 9. Variable de ahorro total por hectárea (S/.)	35
Tabla 10. Prueba Tukey del ahorro total por hectárea (S/.)	35
Tabla 11: Rentabilidad promedio en diferentes provincias de Lima (2016-2020)	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa satelital del área utilizada para la presenta investigación	14
Figura 2: Medidor de humedad agraTronix	15
Figura 4: Medición de NDVI con el sensor GreenSeeker	22
Figura 5: Peso y volumen de 100 semillas	27
Figura 6: Cosecha de los tratamientos de estudio	31
Figura 7: Temperaturas mínimas, máximas y promedio desde la fecha de siembra hasta la cosecha (°C)	33

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1: Producción, superficie cosechada y rendimiento de maíz amarillo duro a nivel nacional (2018-2021)	49
Anexo2: Rendimiento (t/ha) de maíz amarillo duro a nivel nacional (2018 -2021).....	49
Anexo 3: Rendimiento (t/ha) en principales provincias de Lima (2016-2020)	50
Anexo 4: Caracterización y análisis de Suelo	51
Anexo 5: Requerimiento de unidades de nitrógeno y urea por tratamiento	52
Anexo 6: Rendimiento del grano por bloque y tratamiento	53
Anexo 7: Variable del número de mazorcas	54
Anexo 8. Variable del peso de 100 semillas (gr)	54
Anexo 9: Variable del volumen de 100 semillas (ml)	54
Anexo 10: Variable de número de plantas por unidad experimental	54
Anexo 11: Variable de altura de planta (m)	55
Anexo 12: Variable de altura de inserción de mazorca (m)	55
Anexo 13: Variable de número de mazorcas por planta	55
Anexo 14: Variable de número de hojas por planta	55
Anexo 15: Variable del diámetro del tallo (cm)	56
Anexo 16: Peso promedio de unidad de mazorca (kg)	56
Anexo 17: Variable de longitud de mazorca (cm)	56
Anexo 18: Variable de diámetro de mazorca (cm)	56
Anexo 19: Variable de número de hileras por mazorca	57
Anexo 20: Granos por hilera	57
Anexo 21: Número de ranos	57
Anexo 22: Valores de temperatura (°C) durante la campaña	57
Anexo 23: Costos de producción de maíz amarillo duro variedad DK- 7088	60
Anexo 24: Ahorro por tratamiento.....	61
Anexo 25: Rentabilidad en provincias de Lima sin emplear el sensor GreenSeeker ...	62
Anexo 26: Rentabilidad en provincias de Lima con el empleo del sensor GreenSeeker	63

RESUMEN

El cultivo de maíz amarillo duro en el Perú requiere cada vez de mayor demanda, pero esta es satisfecha en su gran mayoría por las importaciones, debido a los menores costos de producción, perjudicando al agricultor nacional. Ante esto, la investigación está basada en el uso del sensor óptico GreenSeeker para dosificar la segunda fertilización para maíz amarillo duro variedad DK-7088, utilizando el protocolo de la Universidad de Oklahoma (Oklahoma University). Se utilizó el algoritmo obtenido especialmente para costa central en un campo en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina en siembra de invierno, donde a partir de las mediciones del NDVI el índice INSEY genera dosis de nitrógeno para los tratamientos. Las mediciones recomendaron entre 0 kg/ha a 5.12 kg/ha de urea, fertilizante nitrogenado más utilizado. Los rendimientos no presentaron diferencias significativas, se comprobó que el uso del GreenSeeker homogeniza los rendimientos cuyos valores fueron entre 7.77 t/ha a 8.75 t/ha. Debido al ahorro del uso de fertilizante y mano de obra la rentabilidad del cultivo incrementó entre 19.3 y 25.9 por ciento en diferentes provincias de la provincia de Lima.

Palabras clave: GreenSeeker, Maíz, fertilización nitrogenada, Rendimiento, Rentabilidad, DK-7088

ABSTRACT

The hard yellow corn crop in Peru is increasingly demanded, but this demand is mostly satisfied by importations, due to lower production costs, harming the local farmer. For that reason, this research is based on the use of the GreenSeeker optical sensor to dose the second nitrogen fertilization of the hard yellow corn crop, variety DK-7088, using the Oklahoma University's protocol. The formula obtained specifically for the Peruvian central coast was used in a field at the Fundo Agrícola of the Universidad Nacional Agraria La Molina in winter sowing, from the NDVI measurements the INSEY index generates nitrogen doses for the treatments. The doses were recommended between 0 kg/ha to 5.12 kg/ha of urea, the most widely used nitrogenous fertilizer. The yields did not present significant differences, this proves that the use of the GreenSeeker homogenizes the yields whose values were between 7.7 t/ha to 8.75 t/ha. Due to the savings in the use of fertilizer and labor, the profitability of the crop increased between 19.3 and 25.9 percent in different regions of Lima's province.

Key words: GreenSeeker, corn, nitrogen fertilization, yield, profitability, DK-708

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, el cultivo de maíz tiene gran importancia, siendo el maíz amarillo duro el más producido a nivel nacional, con 1 121 885 toneladas el 2019 (Barandiarán, 2020). La demanda de este insumo a nivel nacional está en constante aumento como consecuencia del incremento del consumo de carne de pollo, con un consumo *per cápita* de 50.4 kg en 2019. Sin embargo, la producción interna no logra satisfacer la demanda, por ello se recurre a la importación para compensar este déficit.

En los últimos 20 años la tendencia de las importaciones ha crecido 320 por ciento; desde el año 2019 Argentina desplazó a Estados Unidos como principal importador de Perú pasando de 205 441 toneladas el 2018 a 2 533 336 toneladas el 2019 (Moreyra, 2020). El maíz amarillo nacional está en una competencia desigual con los países importadores, considerando que en varios casos el gobierno de estos les subvenciona parte de la producción. Por ejemplo, en Estados Unidos del 2015 al 2017 el costo de producción se redujo de 222.3 a 194.7 dólares por tonelada, haciendo que la producción nacional no pudiera competir, lo que trajo una reducción de ventas del 35 al 27 por ciento en ese mismo periodo (Agronoticias, 2018).

Rusia es el principal exportador mundial de fertilizantes nitrogenados y el segundo en fertilizantes fosforados y potásicos, a raíz del conflicto bélico con Ucrania se generó un déficit de 180 mil toneladas de urea y los sacos de esta pasaron de costar S/. 65 a S/. 270 (ComexPerú, 2022). Ante esto el agricultor nacional debe emplear herramientas para adaptarse a las circunstancias actuales y pueda mejorar su competitividad en el mercado peruano.

La aplicación de herramientas tecnológicas para superar las limitaciones de factores bióticos y/o abióticos es uno de los factores que permiten el incremento de los promedios nacionales de productividad de un cultivo. Por eso el uso de tecnologías accesibles para el agricultor es necesario para incrementar la competitividad del maíz amarillo duro nacional.

Una de las prácticas de manejo agronómico fundamentales para el incremento de la producción del maíz amarillo duro es la fertilización, en donde se aplica el fertilizante nitrogenado de manera fraccionada: En la primera fertilización se aplica la mitad del nitrógeno y en el aporque se aplica la segunda fertilización nitrogenada; el fósforo y el potasio deben aplicarse a la brevedad por lo que se recomienda aplicarlo junto con la primera dosis de nitrógeno (GDEL, 2016).

El uso de tecnologías puede contribuir a disminuir los costos de producción y evitar excesos de fertilizante nitrogenado, como el GreenSeeker, que mide el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), para determinar las condiciones nutricionales del cultivo. Carneiro *et al.* (2017) realizaron mediciones del cultivo con este instrumento, producto de este trabajo se ha obtenido un algoritmo en base a la metodología de regresión exponencial. Lo que nos puede permitir con mediciones en el maíz determinar la cantidad de nitrógeno que necesita la planta tomando en cuenta las condiciones ambientales de un lugar determinado.

El objetivo del trabajo de investigación fue determinar la eficacia del algoritmo generado en base a los datos obtenidos con el sensor GreenSeeker para la fertilización nitrogenada (urea) en el cultivo de maíz amarillo duro en condiciones de invierno de costa central. Cuenta con dos objetivos específicos:

- Validar el algoritmo matemático usando el NDVI en la estimación nutricional, para la segunda fertilización de urea en maíz amarillo duro.
- Determinar la rentabilidad de cada uno de los tratamientos utilizados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del Cultivo

2.1.1 Clasificación botánica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: Zea

Especie: Mays

Nombre Científico: *Zea mays*

L.

2.1.2 Fenología del cultivo

Un sistema de clasificación de estadios fenológicos para describir el desarrollo del maíz es el utilizado por la Universidad de Iowa (Iowa University of Science and Technology).

Según Pioneer (s.f.):

Estadios vegetativos:

- a) Germinación y Emergencia (VE): Comprende desde la imbibición de la semilla hasta la aparición del coleóptilo sobre el suelo.
- b) Primera hoja desarrollada (V1)
- c) Segunda hoja desarrollada (V2)
- d) Tercera hoja desarrollada (V3): Es a los 12 días después de la emergencia de la planta. Respecto al tallo, el ápice aún está ubicado por debajo de la superficie. Las hojas y las espigas potenciales son determinadas en esta etapa.

- e) Sexta hoja desarrollada (V6): Se da 24 días después de la emergencia, comienza un periodo de rápida elongación del tallo. Inicia el macollamiento.
- f) Novena hoja desarrollada (V9): A los 32 días después de la emergencia, cada mudo aéreo desarrolla una espiga potencial. Los entrenudos del tallo continúan alargándose.
- g) Décima hoja desarrollada (V10): Aproximadamente 35 días después de la emergencia. Comienza un rápido incremento de la materia seca, se necesita altas cantidades de nutrientes y agua del suelo.
- h) Decimoquinta hoja desarrollada (V15): Aproximadamente a los 56 días después de la emergencia, a partir de este punto surge un nuevo estadio cada uno o dos días.
- i) Decimoctava hoja desarrollada (V18): Las barbas de los óvulos basales se desarrollan antes que la de los superiores. Se desarrollan los órganos reproductivos durante 8 o nueve días, cualquier deficiencia puede generar desincronización entre la emergencia de las barbas y la caída del polen.
- j) Panojamiento (VT): El maíz ha alcanzado su altura final y comienza la producción de polen.

Estadios reproductivos:

- a) Emergencia de barbas (R1): En un aproximado de 66 tras la siembra, la totalidad de pistilos (barba) de la espiga son polinizados en t3 días. La mayor reducción de rendimiento se da si existe estrés hídrico dos semanas antes y dos semanas después del inicio de etapa.
- b) Ampolla (R2): Entre 10 a 14 días de la emergencia de los pistilos. El embrión se desarrolla paulatinamente con coleóptilo, radícula y ya se formó la primera hoja embrionaria. Pasada la floración, los pistilos se secan y los granos llegan a 85 por ciento de humedad.
- c) Grano lechoso (R3): De 18 a 22 días después de la emergencia de barbas el grano es de color amarillo.
- d) Grano pastoso (R4): Acumulación de almidón en el endospermo.
- e) Grano dentado (R5): Los granos van secándose desde el exterior, esto es visible porque va apareciendo una cubierta dura de almidón de color blanco.

- f) Madurez fisiológica (R6): Los granos han alcanzado la menor humedad posible (30-35 por ciento), formándose una abscisión en la zona de inserción del grano a la mazorca.

2.2 Maíz amarillo duro en el Perú

El maíz, ubicado dentro del grupo alimenticio de los cereales, representa el componente más importante en la alimentación pecuaria dirigida a la producción de carne y pollo (Barandiarán, 2020). En el año 2020 tuvo una demanda de 5.1 millones de toneladas, principalmente para la alimentación de pollo, el 77 por ciento está cubierta con importaciones y el 23 por ciento con producción nacional (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2021). A la fecha, la mayor cantidad de importaciones de maíz amarillo duro al país provienen de Argentina con 2.6 millones de toneladas en el periodo enero - octubre del 2022, representando el 94 por ciento de lo importado, seguido de Estados Unidos y Brasil (Dirección de Estadística Agraria, 2022). A pesar de ello, el maíz amarillo duro nacional es altamente requerido ya que su calidad es muy superior al importado ya que cuenta con alto contenido de caroteno y micotoxinas (Moreyra, 2022).

El IV Censo Nacional Agropecuario del 2012 registra que existen 198 mil 563 productores dedicados a este cultivo en donde los pequeños productores representan el 63.7 por ciento del total, el 80 por ciento del área total va a la comercialización (Moreyra, 2022). Los pequeños productores, con un área menor a 5 hectáreas, cuentan con escasa dotación de activos y menos integración al mercado y los medianos productores (5 a 19.9 hectáreas) representan el 26 por ciento de productores y presentan mayor inclusión en el comercio y emplean más tecnologías (Huamanchumo, 2013).

La producción de maíz amarillo duro se realiza principalmente en la costa y en la selva. Las mayores zonas productoras en el país son Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima e Ica en la costa y en la selva de Cajamarca, Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto y Ucayali (Barandiarán, 2020).

2.3 Rendimiento del maíz amarillo duro

Según el Sistema Integrado de Estadística Agraria del MIDAGRI, en la costa se evidencia mayor rendimiento del cultivo, siendo en el 2021 las regiones Ancash (10.75 t/ha), Lima

(10.22 t/ha) e Ica (9.24 t/ha) las de valores más elevados, el promedio nacional ese año fue de 5.04 t/ha (Anexo 2). Si bien las regiones de mayor superficie dedicada al maíz amarillo duro son San Martín (43 914 ha) y Loreto (37 058 ha), ambas regiones obtuvieron un rendimiento de 3.14 t/ha y 4.92 t/ha respectivamente (Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2021). La diferencia entre ambas regiones radica en que la costa presenta mejores condiciones climáticas y emplea un mejor manejo agronómico, así como el uso de semillas híbridas.

Existen dos épocas de siembra, la siembra de verano y la de invierno. Más del 55 por ciento de las siembras son hechas entre agosto y enero ya que aprovecha las temperaturas a favor del cultivo y presenta disponibilidad para el riego (Moreyra, 2022). Según el SENASA (2020) en la siembra de primavera -verano (de setiembre a marzo) se obtienen plantas precoces, pero con mayor incidencia de plagas y patógenos; en la siembra de otoño – invierno (de abril a agosto), se generan plantas tardías pero con mayores rendimientos. Plagas como gusano picador (*Elasmopalpus lignosellus*), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), y la plaga del barreno (*Diatraea saccharalis*) aumentan su incidencia en los meses entre enero y marzo, lo que ocasiona la disminución del rendimiento en las siembras de verano (Sánchez, 2004).

Según el Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (SENASA, 2020), dentro de la fase de crecimiento las temperaturas ideales van entre los 24 y 30°C, por encima de esta se afecta el desarrollo radicular. Hidalgo (2013) hace mención que las temperaturas superiores a los 30°C en época de floración la inflorescencia masculina aparece más temprano que la femenina y a temperaturas menores a 20°C ocurre lo opuesto, además que en temperaturas altas inducen a una madurez fisiológica más temprana.

Tabla 1: Temperaturas en diferentes etapas del cultivo de maíz amarillo duro

Estado	Temperatura mínima (°C)	Temperatura óptima (°C)	Temperatura máxima (°C)
Germinación	10	20 – 25	40
Crecimiento vegetativo	15	20 – 30	40
Floración	20	21 – 30	30

Fuente: (Hidalgo, 2013)

Según Yzarra *et al.* (2010), cuando las temperaturas están fuera del rango del cultivar ocurren efectos negativos en la fotosíntesis, translocación, fertilidad de flor, éxito en la polinización, entre otros aspectos del metabolismo. Este efecto está vinculado también con la duración del cultivo, cuando el ciclo es mayor se intercepta más radiación y permite mayor producción. En épocas muy cálidas las unidades térmicas acumuladas por día son mayores pero la radiación absorbida es menor lo que genera rendimientos por debajo de la media. Por otro lado, el maíz sufre daños a temperaturas entre los 0°C y 10°C, afectando negativamente las funciones enzimáticas reduciendo el tamaño de las hojas, menor fotosíntesis, crecimiento y consumo de nutrientes y agua.

Para la siembra del maíz se pueden usar semillas provenientes de la polinización libre o emplear semillas de híbridos. Un híbrido proviene del cruce de una línea de alta endogamia de plantas que aporta solo polen y otro que solo recibe dicho polen, la primera generación de este cruce (F1) presenta heterosis (vigor híbrido), haciéndola superior a sus padres (Barandiarán, 2020).

Bolaños (citado en Torres, 2017) menciona que las variedades de polinización libre tienen un menor rendimiento que los híbridos, generado por una menor eficiencia en llenado del grano y la duración de este, a medida que el genotipo es más precoz este pasa más tiempo llenando el grano y menor tiempo produciendo hojas.

2.4. Maíz híbrido variedad DK -7088

Este híbrido de maíz se caracteriza por presentar color de grano amarillo anaranjado, 54 días a floración, 135 días a cosecha, medir 2.32 metros de altura, la altura de inserción de la mazorca está a 1.45 metros, muy tolerante a la pudrición de mazorca, de 16 a 20 hileras por mazorca y una relación de 81% grano y 19% tuza. (Equaquímica C.A., s.f).

Torres (2017), realizó la siembra del DK- 7088 tanto en La Molina como en Cañete con la generación F1 y la F2. Los rendimientos de la F1 obtenidos fueron de 9.98 t/ha en La Molina y 9.7 t/ha en Cañete, sin embargo, la generación F2 presentó una disminución de rendimientos con 7.07 t/ha y 6.04 t/ha respectivamente, por lo que no se recomienda utilizar las semillas F2 para la producción de grano.

Fabián *et al.* (2020), elaboraron un estudio en el valle de Pativilca, región de Barranca, Lima. Donde se evaluó el rendimiento de tres híbridos nacionales (INIA 611, PM-213 y Megahíbrido 619) y tres híbridos internacionales (DK- 7088, Atlas 10 y Pioneer 30F35) en la siembra de setiembre del 2019 a enero del 2020. En esta el DK- 7088 tuvo mayores valores en el número de mazorcas por parcela, longitud (19.03 cm) y diámetro de mazorca (5.91 cm), hileras por mazorca (16.78) y granos por hilera (44.23). Su rendimiento fue 14.44 t/ha, seguido de la variedad Pioneer 30F35 (13.15 t/ha) y Megahíbrido (11.66 t/ha). Demostrando que la variedad presenta características ideales en este valle de costa central.

Martinez (2022) evaluó siembra de cuatro híbridos de maíz amarillo duro en tres densidades diferentes en condiciones de La Molina. En caso del híbrido DK-7088 el rendimiento de grano fue mayor a una densidad de 90 mil plantas por hectárea con 11.13 t/ha, a 70 mil plantas por hectárea obtuvo 9.21 t/ha y a 50 mil plantas, el rendimiento fue de 5.81 t/ha observándose que el incremento de la densidad de siembra favorece el rendimiento del cultivo.

2.5 Fertilización nitrogenada

El nitrógeno es un macronutriente de gran importancia en el desarrollo y funcionamiento de las plantas, es uno de los principales constituyentes de aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, paredes celulares y clorofila. Es el nutriente que más influye en el rendimiento y calidad de un cultivo (Perdomo y Barbazán, s.f.).

Las principales fuentes de nitrógeno en la naturaleza son la atmósfera y la materia orgánica, pero deben pasar por una serie de transformaciones edáficas, químicas, físicas y biológicas para estar disponibles para las plantas. Estas absorben nitrógeno inorgánico, en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), y las formas tóxicas para las plantas, amoníaco (NH_3) y nitrito (NO_2^-). Sin embargo, en el ciclo del nitrógeno existen varias pérdidas de este elemento ocasionadas por la volatilización del amoníaco, lixiviación del nitrato y la fijación en minerales de arcillas (Verhulst *et al.*, 2015).

El nitrógeno es, después del agua, el factor limitante de crecimiento más importante de las plantas, esta es más probable en condiciones de excesiva humedad y suelos arenosos deficientes de materia orgánica, como ocurre en la costa peruana (Barandiarán, 2020)

El abonamiento nitrogenado del maíz debe hacerse en forma fraccionada, la primera fertilización se hace en la preparación del terreno, la emergencia o en la siembra; la segunda se realiza en el momento del aporque, donde el cultivo tiene entre 7 a 8 hojas, que es aproximadamente 25 a 30 días después de la siembra (GDEL, 2016). El fraccionamiento evita las pérdidas de nitrógeno por volatilización.

Barandiarán (2020) señala que la falta de nitrógeno antes del estado V6 ocasiona amarillamiento en las hojas y crecimiento lento. Durante la fase de crecimiento rápido, su deficiencia se manifiesta en las hojas inferiores que se tornan de color verde pálido o con un amarillamiento que comienza en el ápice y va moviéndose a lo largo de la nervadura central en forma de “V”. En caso falte en la madurez las mazorcas son pequeñas y con poco llenado de grano. Por otro lado, aplicaciones excesivas de nitrógeno ocasiona mayor competencia del cultivo con las malezas y daños ambientales como la contaminación de acuíferos por lixiviación y la generación de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (Asociación Geoinnova, 2016).

El fertilizante nitrogenado más utilizado es la urea, se caracteriza por ser el fertilizante nitrogenado sólido de mayor concentración con 46 por ciento de nitrógeno. Esta al ser aplicada a la solución suelo se disuelve en el agua y se hidroliza por acción de la enzima ureasa a carbonato de amonio, luego se descompone una porción a NH_3 como pérdida o a NH_4^+ para posteriormente pasar por el proceso de mineralización aeróbica y ser de utilidad para la planta (Ruis S. y Vidal S, s.f.).

Generalmente unos de los productos más usados para la fertilización nitrogenada en el maíz es la urea, que es un producto altamente demandado para la agricultura nacional, el año 2020 fue el fertilizante de mayor volumen importado con 373 mil toneladas, seguido de sulfato de amonio con 238 mil toneladas y nitrato de amonio con 178 mil toneladas (Valdivia D., 2022). Perú ocupa el puesto 37 en el mundo como importador de fertilizantes, sus principales proveedores son Rusia, 37 por ciento, seguido de China, 20 por ciento y Estados Unidos con 20 por ciento (León C, 2022).

2.6 Incremento del costo de la urea a nivel mundial y nacional

Según la FAO (2022), a lo largo el 2021 el precio de la urea se ha triplicado, pasando de un costo a granel en el Mar Negro de 245 USD por tonelada en noviembre del 2020 a 901 USD por tonelada en noviembre del 2021, este cambio se le atribuye a tres factores: El incremento del costo del gas natural, el cual desempeña un papel importante en la producción y precio de los fertilizantes nitrogenados; a las restricciones de exportación de los países productores de fertilizantes ocasionado por la demanda creciente de estos y el incremento de precios en mercados locales y por la elevación en los costos de transportes generados por las perturbaciones en las cadenas de suministros internacionales tras la pandemia COVID-19.

El Banco Central de Reserva del Perú (2022) detalla que los conflictos internacionales han intensificado incremento de precios, desde el inicio del conflicto bélico en Ucrania se ha generado sanciones a Rusia y Bielorrusia que limitan la oferta de fertilizantes provenientes de estos dos países, importantes importadores de fertilizantes nitrogenados. En consecuencia, dentro del mercado minorista peruano, urea ha incrementado un 186 por ciento su valor.

Según Ortiz (2022), un saco de urea de 50 kilos pasó de tener un costo de S/. 65 en octubre del 2021 a S/. 270 en mayo del 2022, sumado a esto hay un déficit de 180 mil toneladas de urea lo cual afecta en gran medida al agricultor nacional. La FAO (2022), comenta que actualmente, ante el incremento de precios de los fertilizantes, los agricultores pueden disponer de instrumentos para racionalizar la aplicación sin perjudicar su producción por medio de métodos de aplicación de dosis variable o la agricultura de precisión.

2.7 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Se han propuesto muchos métodos para identificar un nivel óptimo de nitrógeno en la producción de maíz, uno de ellos es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), que actúa acorde a la consistencia de la respuesta de las plantas a la reflectancia de las luces rojas e infrarrojas. Siendo la luz roja absorbida y la infrarroja reflejada por la biomasa de las plantas (Miller et. al., 2017).

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Donde, NIR: reflectancia del cultivo en el infrarrojo cercano (725- 1020 nm) Red: reflectancia del cultivo en el rojo (570-680 nm). Las plantas sanas y vigorosas absorben la luz roja y reflejan la luz del infrarrojo cercano, y el valor de NDVI se acercará a 1 (Best et al, 2014). De los índices de vegetación que utilizan los rayos rojos e infrarrojos, el más empleado es el NDVI, ya que aborda los cambios en la vegetación (Ruiz *et al.*, 2000). Es de los índices de mayor uso para indicar la productividad por tener fuertes relación con características de la vegetación como el índice de área foliar, cobertura y biomasa (Girimonte *et al.*, 2020).

Se ha demostrado que este índice puede ser útil a la hora de obtener información sobre la eficiencia fotosintética, productividad y rendimiento potenciales. Del mismo modo, varios estudios comprobaron que con este se puede hallar el requerimiento de nitrógeno del maíz (Ali *et al.*, 2017).

2.8 Algoritmo basado en sensores ópticos para la fertilización nitrogenada

Se han creado sensores ópticos que permiten calcular el NDVI de las plantas y por medio de un algoritmo obtener la dosis precisa de nitrógeno que el cultivo necesita. Desde 1992 la Universidad Estatal de Oklahoma en Estados Unidos ha estado desarrollando un algoritmo para mejorar la eficiencia de la aplicación de nitrógeno en cereales mediante el uso de estos sensores. En uno de sus estudios, realizados por Raun *et al.* (2005) diseñaron uno que recibió el nombre de “WheatN.1.0” y consiste en tres componentes: Predicción del rendimiento del grano, estimando la dependencia del nitrógeno aplicado y determinando la variabilidad del área, este obtuvo como resultado un 15 por ciento de mejora en el rendimiento. Este algoritmo fue desarrollado utilizando el sensor portátil GreenSeeker, el cual opera con luces LED que captan la luz refractada por la planta y posee un microprocesador que analiza la luz. Desde ese entonces se han desarrollado algoritmos aplicados para cada cultivo y según las condiciones de cada territorio.

2.8.1 Sensor portátil GreenSeeker

Al usar este sensor, a diferencia de otras tecnologías relacionadas a la medición de NDVI permite que se tomen los datos del cultivo en cualquier momento, no depende de días claros para las medidas, puede calibrarse para tomar lecturas de diversos cultivos y genera ahorros en la fertilización del cultivo. Dhital y Raun (2016) observaron que la optimización de

nitrógeno en el maíz varía según el año y la localización, debido a las condiciones ambientales, es por ello que se recomienda hacer mediciones anuales con utilizando sensores ópticos para estimar la dosis que el cultivo necesita. Concluye que el GreenSeeker, al ser un sensor óptico de mano y de fácil uso, es una alternativa para que el agricultor pueda utilizarlo con frecuencia.

Ali *et al.* (2017) utilizaron el sensor GreenSeeker en el cultivo de maíz en suelos calcáreos de Egipto para la generación y validación de un algoritmo para maíz en el cual los tratamientos en el que usó esta tecnología tuvieron rendimientos similares a los fertilizados con una dosis convencional, sin embargo, utilizaron menor cantidad de fertilizante, lo que incrementa la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

Prakasha *et al.* (2020) compararon el efecto del empleo de diferentes métodos de agricultura de precisión basados en la medición de la cantidad de clorofila por el método SPAD (Soil Plant Analysis Development), de manejo de nutrientes de sitio específico (SSNM), el cual provee de nutrientes al suelo según mediciones realizadas con teledetección o GPS; en el análisis de suelo (STCR) y en la aplicación de nitrógeno según los valores de NDVI medidos por el GreenSeeker en un campo de maíz en Bengaluru, India. El uso del GreenSeeker generó valores significativamente mayores en el rendimiento de grano (10.73 t/ha) a comparación del testigo (4.30 t/ha) y de la dosis usualmente utilizada por los agricultores de la zona (8.61 t/ha), sin embargo, los tratamientos STCR mostraron valores ligeramente superiores. No obstante, el uso del GreenSeeker generó una destacada eficiencia del uso de nitrógeno de 85.87 kg de grano por kg de nitrógeno aplicado y una eficiencia de recuperación del 79.79% de nitrógeno. Concluyendo que, en un balance entre rendimiento y eficiencia del nitrógeno, el GreenSeeker es un instrumento de agricultura de precisión recomendado y con una mayor ventaja monetaria.

Quiñonez (2022) estudió la eficiencia del uso del GreenSeeker en el cultivo de maíz amarillo duro en condiciones de La Molina para una siembra de verano de dicho cultivo (de setiembre del 2018 a marzo del 2019). La dosis de nitrógeno recomendada para cada tratamiento surgió a partir de la medición del NDVI cuando las plantas contaban con 9 hojas, estos valores oscilaron entre 0 kg/ha hasta los 25 kg/ha de urea. El rendimiento de grano de los tratamientos resultó entre los 5.8 a 6.9 t/ha, sin diferencias estadísticamente significativas.

Lo que significó que el uso del sensor optimizó la fertilización nitrogenada ya que su uso ahorró en promedio 213 soles/ha en los tratamientos, incrementando la rentabilidad entre un 20 a 30 por ciento en comparación a la rentabilidad sin utilizar el aparato.

III. METODOLOGÍA

3.1 Ubicación

El ensayo se realizó entre los meses de agosto del año 2019 hasta febrero del 2020. Su localización fue en el Fundo Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado a $12^{\circ}05'05.6''S$, $76^{\circ}57'12.2''O$ a 238 m.s.n.m, en el distrito de La Molina de la ciudad de Lima Metropolitana, región Lima en la costa central peruana.



Figura 1. Mapa satelital del área utilizada para la presenta investigación.

Fuente: Google Earth, 2020.

3.2 Material genético

Se utilizó la semilla del híbrido de maíz amarillo duro DK- 7088.

3.3 Instrumentos y equipos

- GreenSeeker Handheld Crop Sensor
- Balanza electrónica.
- Vernier

- Medidor de humedad de grano
- Cuaderno de campo
- Bolsas de plástico, costales, rafias
- Útiles de escritorio
- Regla de madera
- Desgranadora



Figura 2: Medidor de humedad agraTronix

3.4 Análisis de suelo

Los resultados del análisis de suelo del campo experimental indican un pH de 7.66, indicando ligera alcalinidad. Presenta una conductividad eléctrica en el extracto de la pasta de saturación es de 2.42 dS/m (ligeramente salino). Materia orgánica a un nivel de 0.99 por ciento, equivalente a bajo. Un contenido de potasio de 181 ppm, un valor medio. Contenido de fósforo de 15.9 ppm, considerado como alto.

La relación catiónica de K/Mg es de 0.21, considerándose normal y una relación Ca/Mg de 5.21, también clasifica como normal. La clase textural del suelo es Franco arcillo arenosa.

Tabla 2: Resultados del análisis de suelo

Item	Valor
pH (1:1)	7.66
C.E. (1 :1) dS/m	2.42
CaCO ₃ (%)	3.1
M.O. (%)	0.99
P (ppm)	15.9
K (ppm)	181
Arena (%)	59
Limo (%)	21
Arcilla (%)	20
Clase textural	Franco Arcillo Arenoso
CIC	9.92
Ca ⁺²	7.66
Mg ⁺²	1.47
K ⁺	0.31
Na ⁺	0.48
Al ⁺³ + H ⁺	0
Suma de cationes	9.92
Suma de Bases	9.92
% Sat. De bases	100

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM

3.5. Tratamientos

Para conocer la utilidad del GreenSeeker se evaluaron 7 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, tomando en cuenta solo la mitad de la dosis inicial nitrogenada aplicada en la siembra para luego utilizar lo indicado por el algoritmo (valores de NDVI obtenidos en campo) como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3: Tratamientos a evaluar

	Código	Primera fertilización nitrogenada (kg/ha)	Segunda fertilización nitrogenada (kg/ha)
Testigo 1	T1	0	0
Testigo 2	T2	0	Indicado por el algoritmo
Tratamiento 3	T3	40	Indicado por el algoritmo
Tratamiento 4	T4	60	Indicado por el algoritmo
Tratamiento 5	T5	80	Indicado por el algoritmo
Tratamiento 6	T6	100	Indicado por el algoritmo
Franja Rica (FR)	FR	120	120

3.6. Análisis estadístico

3.6.1 Diseño experimental

En el experimento se utilizó el diseño de bloques completamente al azar. Con 7 tratamientos y 4 repeticiones. El modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad j = 1, 2, 3, 4$$

Dónde:

Y_{ij} = Rendimiento del cultivo de maíz con la i -ésima dosis de nitrógeno aplicada en la segunda fertilización en el j -ésimo campo.

μ = Efecto de la media general del rendimiento del cultivo.

τ_i = Efecto de la i -ésima dosis de nitrógeno aplicada en la segunda fertilización

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = Efecto del error experimental en la i -ésima dosis de nitrógeno aplicada en la segunda fertilización en el j -ésimo bloque.

3.6.2 Prueba de Comparación

Se realiza la prueba Tukey con un nivel de significancia de 0.05 y de 0.01 para la variable de kilogramos de nitrógeno aplicado por hectárea y de los componentes de rendimiento.

3.6.3 Análisis de datos

Posterior al momento de medición del NDVI se introdujeron los datos al algoritmo para establecer la dosis adecuada de nitrógeno.

Luego se la cosecha se utilizaron los análisis de variancia y la relación de Tukey para determinar si algún tratamiento se diferencia del resto, para el procesamiento de todos los datos se empleó el software R Studio.

Tabla 4: Esquema del análisis de varianza

F. de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
Bloques	$r - 1$	s.c. de los bloques	c.m. de los bloques c.m. de los
Tratamientos	$t - 1$	s.c. de los tratamientos	tratamientos
Error	$(r-1) * (t-1)$	s.c. del error	c.m. del error
Total	$r*t-1$		

3.7 Uso del Greenseeker

Para que el NDVI medido por el GreenSeeker sea utilizado para recomendar las dosis de nitrógeno a aplicar al campo se debe pasar por una fase de calibración, en la cual se obtiene un algoritmo en base a las condiciones de un lugar determinado, en este caso la costa central.

Luego de ello, se valida el resultado en parcelas para luego promover la adopción de esta tecnología por los productores. Esta etapa consiste en comprobar si las recomendaciones otorgadas por el sensor basadas en el algoritmo generado en la fase anterior hacen la

fertilización más eficiente y trae beneficios a nivel comercial en comparación con el manejo convencional de los agricultores. Esta fase es la que se realizará en esta investigación

3.7.1 Calibración y Validación de Fórmula de GreenSeeker

Algoritmo obtenido al seguir los pasos señalados por el Departamento de Ciencias del Suelo y Plantas de la Universidad de Oklahoma (Oklahoma University, s.f.). En la fase de calibración se realiza el primer paso donde se formula el Potencial de Rendimiento a media temporada (YP_0), el cual es utilizado en la fase de validación en donde se realizan los pasos posteriores para generar la recomendación de la dosis de nitrógeno y se estudia su efectividad.

a. Predicción del Potencial de Rendimiento a media temporada (YP_0)

- i. Lecturas de NDVI utilizando el GreenSeeker: Se realizan cuando el cultivo llega al estado fisiológico en donde se suelen hacer las aplicaciones nitrogenadas (De 7 a 9 hojas).
- ii. Estimando potencial de rendimiento: Se divide el NDVI entre el número de días de la siembra hasta la medición, con ello se estima la biomasa producida por día. Este índice se le llama INSEY por sus siglas en inglés que significa (In Season Estimated Yield). Esta estimación del rendimiento es básicamente lo obtenido sin añadir nitrógeno.
- iii. Generación de la Ecuación de Predicción del Rendimiento: Una vez se ha realizado la cosecha de cada uno de los tratamientos en donde se registra el NDVI, fecha de siembra, fecha de medición y el INSEY. Se hace la correlación entre el rendimiento versus INSEY.
- iv. Registrar el Índice de Respuesta (RI) en cada sitio: en cada localización es vital que los RI sean grabados. Este se halla dividiendo el promedio de las lecturas de NDVI de las franjas ricas entre el promedio de las lecturas de NDVI de todos los tratamientos.
- v. Determinación del % de Grano en el cultivo: Generalmente el porcentaje de nitrógeno removido en cada cultivo de grano para las regiones es conocido.

b. Predicción de la Respuesta Potencial del Nitrógeno Aplicado

- i. Franjas ricas de Nitrógeno: Es necesario que el algoritmo pueda predecir con precisión si hay o no una respuesta al fertilizante nitrogenado. Para ello se necesita colocar Franjas Ricas de Nitrógeno, esta debe ser lo suficientemente alta para garantizar que la disponibilidad de nitrógeno no sea un limitante.
- ii. Franjas controles: Para predecir la respuesta al fertilizante nitrogenado se utilizan franjas controles, a mitad de temporada se realizan las lecturas de NDVI de cada uno de los tratamientos.
- iii. Computarización del Índice de Respuesta (RI): Este índice se calcula dividiendo el promedio de NDVI de la franja rica entre el NDVI del campo. Normalmente tiene valores entre 1.0 y 3.0. Indica la probabilidad de obtener una respuesta y qué tanto de esta puede ser esperada.

c. Potencial de Rendimiento Lograble con Fertilización Nitrógeno (YP_N)

- i. Hallando el YP_N : Se calcula multiplicando el Potencial de Rendimiento del Testigo (sin fertilización nitrogenada) por el Índice de Respuesta:

$$YP_N = YP_0 * RI$$

d. Generando una dosis recomendada de fertilizante nitrogenado

- i. Se registra el YT_0 y el YP_N en la computadora:
- ii. Absorción de nitrógeno del grano YP_0 ($GNUP_YP_0$) = Rendimiento del grano (YP_0) * %N esperado en el grano
- iii. Absorción de nitrógeno del grano YP_N ($GNUP_YP_N$) = Rendimiento del grano (YP_N) * %N esperado en el grano

e. Hallar la dosis final de Fertilizante Nitrogenado:

Esta se obtiene removiendo el valor del $GNUP_YP_0$ del $GNUP_YP_N$, esta diferencia se divide entre el nivel de eficiencia de uso esperado, normalmente este es 70 por ciento, pero este valor suele estar entre el 50 y 80 por ciento.

Para predecir el potencial de rendimiento en la mitad de temporada (YP_0), se realizaron lecturas de NDVI y se determinó el potencial de rendimiento (INSEY), con ello se generó la ecuación que predice el rendimiento. La información necesaria se obtuvo de la siembra en La Molina-INIA, el cultivo fue sembrado el 26/09/2013

y la cosecha el 10/02/2014, la medición del NDVI fue el 15/11/2013 (Ramos, 2014). La ecuación generada es la mostrada a continuación, en esta investigación se validará su uso para la siembra de invierno en la costa central:

$$Y_{P0} = 136.09e^{288.82 \cdot INSEY}$$

En la fase de validación se emplea esta fórmula para hallar el potencial de Rendimiento a media temporada según el INSEY obtenido con la medición del NDVI de cada unidad experimental. Y con ello se calculó la dosis recomendada de nitrógeno, como se explica en el siguiente punto.

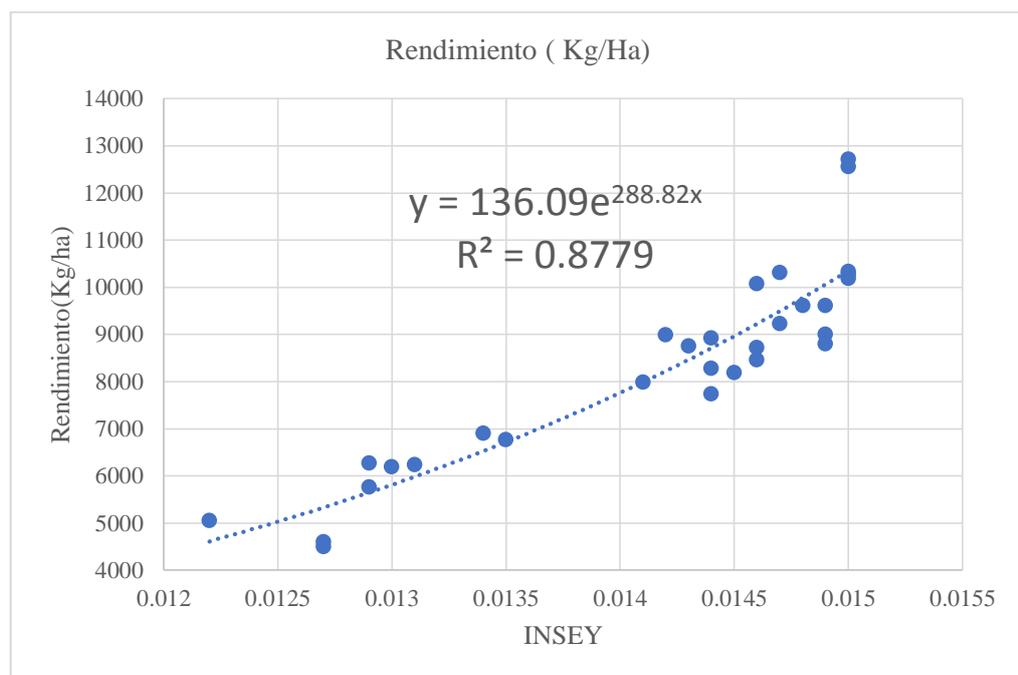


Figura 3: Ecuación realizada con el protocolo de la Universidad de Oklahoma del cálculo de dosis de nitrógeno (Ramos, 2014).

En el presente estudio, la primera fracción de fertilización fue de 0 kg/ha en T1, 0 kg/ha en T2 el cual recibió nitrógeno en el momento del aporque, y el resto de los tratamientos recibieron 40 kg/ha, 60 kg/ha, 80 kg/ha, 100 kg/ha y 120 kg/ha respectivamente, siendo este último designado como la franja rica en el elemento nitrógeno.

Las lecturas de NDVI con el GreenSeeker se detectaron durante el estado V7 y V9, entre 7 y 9 hojas, con dicha información se predice la respuesta potencial del nitrógeno aplicado. La

fecha de la siembra fue el 24/08/2019, la fecha de cosecha fue el 01/02/2020 y la fecha de detección fue 7/11/2019, contaba con 8 hojas las plantas.

Se calculó el Índice de Respuesta dividiendo el promedio del NDVI de la franja rica entre el promedio de los tratamientos. Luego, el Potencial de Rendimiento Lograble con fertilización de nitrógeno (Y_{PN}) fue obtenido usando como base el algoritmo obtenido en la etapa anterior por medio de la multiplicación del RI por el Y_{P0} , calculado en la etapa previa.



Figura 4: Medición de NDVI con el sensor GreenSeeker

Para hallar la dosis recomendada de fertilizante nitrogenado, primero se multiplicó el rendimiento del grano esperado (Y_{PN}) por el porcentaje de nitrógeno esperado en grano, luego se resta el producto del potencial de Rendimiento a media temporada (Y_{P0}) por el mismo porcentaje. Para esta investigación se toma el valor de 1.25 como porcentaje esperado de grano según el portal del Departamento de Ciencias del Suelo y Plantas de la Universidad de Oklahoma (Nitrogen Uptake in Corn and Wheat, nitrogen use efficiency, s/f), el porcentaje varía según el cultivo, tras varios ensayos realizados por esta institución se utiliza este porcentaje como referencia para el cultivo de maíz (Bean *et al.* 2018; Franzen y Bu, 2022).

La eficiencia del uso de nitrógeno puede tomar varios valores, Raun y Johnson (1999) mencionan que la eficiencia de las fertilizaciones nitrogenadas en los cereales varía entre el 50 y 80 por ciento debido a pérdidas por desnitrificación, volatilización y lixiviación. Esta depende también de las condiciones del cultivo y del manejo de este, implementar mejores prácticas agronómicas contribuye a incrementar dicha eficiencia (Lassaletta *et al.*, 2014). En esta investigación se utiliza el valor 0.70 ya que se toma como referencia los valores de los estudios de la Universidad de Oklahoma en los cuales, usando su metodología, la eficiencia esperada de uso de nitrógeno en una fertilización nitrogenada es aproximadamente 70 por ciento (Raun *et al.*, 2002; Tubaña *et al.*, 2008).

Según el algoritmo empleado, al seguir la metodología anteriormente descrita, la cantidad de nitrógeno a aplicarse en el segundo abonamiento estuvo en un rango entre 0.00 kg/ha hasta 2.35 kg/ha (Tabla 5). Lo que significó la aplicación de urea en un rango entre 0.00 kg/ha hasta 5.12 kg/ha (Tabla 6).

Tabla 5: Cantidad de nitrógeno (kg/ha) para la fertilización

Tratamiento	Primer	Segundo abonamiento (kg/ha)			
	abonamiento (kg/ha)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
T1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
T2	0	1.85	0.79	0.27	0.52
T3	40	2.35	0.53	2.05	0.78
T4	60	0.00	0.53	1.81	0.78
T5	80	1.60	1.05	0.00	0.00
T6	100	0.81	0.27	0.79	1.03
FR	120	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 6: Cantidad de urea (kg/ha) para la fertilización

Tratamiento	Primer	Segundo abonamiento (kg/ha)			
	abonamiento (kg/ha)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
T1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
T2	0	4.03	1.72	0.58	1.14
T3	40	5.12	1.15	4.46	1.69
T4	60	0.00	1.15	3.93	1.69
T5	80	3.47	2.27	0.00	0.00
T6	100	1.77	0.58	1.73	2.25
FR	120	0.00	0.00	0.00	0.00

3.7. Campo experimental

Se realizó en la estación de invierno, la duración de la campaña fue 161 días después de la siembra. El experimento se llevó a cabo en un área de 386.4 m², cada uno de los cuatro bloques con un área de 96.6 m y los 7 tratamientos se sembraron aleatoriamente en unidades experimentales de 6.9 m². Esta contó con 4 surcos por tratamiento, cada uno con 12 golpes que, luego del desahije, contuvo 24 plantas. La distancia entre cada golpe fue de 0.3 metros, de surco fue de 0.8 metros, el largo del surco de 4 metros y la distancia de calle de 1 metro. La cantidad de plantas por hectárea fue de 83 333, luego del raleo.

3.8 Preparación de terreno

La labor ocurrió el 13 de agosto del 2019, para preparar el suelo para el arado se realizó riego machaco, esto también permite el control de plagas como el gusano de tierra y proporciona humedad al suelo. Una semana después se utilizó el arado de discos, rasta de puntas, el gradeo para eliminar los terrones del suelo y se procedió a realizar el surcado y la elaboración de tomeos.

Las parcelas y calles fueron delimitadas con cal, esta marcación se realizó cuatro días antes de la siembra. Se utilizó un cordel de siembra para determinar la distancia entre los golpes.

3.9 Siembra

Fue realizada el 24 de agosto del 2019, con un distanciamiento de 30 cm, se sembró tres semillas por golpe en el fondo del surco.

3.10. Riego

Se realizaron 14 riegos por gravedad, el rango de riego fue dejando 10 días. Respecto a los riegos luego de las fertilizaciones nitrogenadas, el primer riego se realizó el 29/08/2019, 5 días después de la siembra y de la primera fertilización nitrogenada; luego de la segunda fertilización nitrogenada se realizó el riego el día 16/11/2019.

3.11. Fertilización

La fertilización de fósforo se realizó el mismo día de la siembra, se aplicó 161 kg/ha de fósforo equivalente a 350 kg/ha de superfosfato triple. Siete días después se aplicó 150 kg/ha de potasio, lo que equivale a 250 kg/ha de cloruro de potasio. En caso del nitrógeno se utilizó urea, la primera fertilización de nitrógeno se realizó el 31/08/2019 y la segunda fertilización nitrogenada se realizó el 16/11/2019, 77 días después de la primera dosis. Las dosis que se aplicaron a cada uno de los tratamientos se observan en los Tablas 4 y 5.

3.12 Raleo

La labor fue hecha a los 45 cm de altura, quedando 2 plantas por cada golpe.

3.13 Variables a medir

3.13.1 Morfología de la planta

La evaluación se realizó en campo poco antes de la cosecha, se evaluó una de las hileras de los extremos.

Altura de planta: Se midió 10 plantas por parcela, desde la parte baja del tallo hasta el ápice de la espiga.

Altura de inserción de mazorca: Se midió 10 plantas por parcela, tomando en cuenta desde la parte baja del tallo de la planta hasta la altura de inserción de la mazorca superior.

Mazorcas por planta: Se cuentan el número de mazorcas formadas.

Hojas totales: Se cuenta el número de hojas con lígula y aurícula visibles desde la base del tallo hasta la parte superior de la planta. Se realizó en 10 plantas por parcela.

Hojas sobre mazorca: Se cuenta el número de hojas localizadas sobre la mazorca que cuenten con lígula y aurícula visibles, realizado en 10 plantas por parcela.

Diámetro del tallo: Se mide el diámetro de del primer entre nudo emergente del suelo, se realizó en 10 plantas por parcela.

3.13.2 Cosecha

Número de mazorcas cosechadas: Se contó el total de mazorcas en cada parcela

Peso de cosecha: Se pesaron todas las mazorcas cosechadas por parcela.

3.13.3 Variables de rendimiento

De las hileras centrales de cada tratamiento se seleccionaron 10 mazorcas, luego del secado, de forma aleatoria como muestra.

Peso de mazorcas: Se pesa en gramos la mazorca sin hojas.

Longitud de mazorca: Distancia en centímetros comprendida desde la base hasta el ápice.

Diámetro de mazorca: Se mide en centímetros en la parte media de la mazorca.

Hileras por mazorca: Se cuenta el número de hileras de granos en la parte media de la mazorca.

Número de granos por hilera: Se cuenta el número de granos, por hilera, desde la punta hasta el ápice de la mazorca.

Peso de grano: Luego del desgranado se pesa cada mazorca en gramos.

Humedad de grano: Se mide en porcentaje utilizando un medidor de humedad.

Peso de 100 semillas: Luego del desgranado se evalúa este dato en gramos.

Volumen de 100 semillas: Se mide en mililitros (ml) haciendo uso de una probeta.

Índice de cosecha: Materia seca de grano por planta respecto a la materia seca total, medido en porcentaje.



Figura 5: Peso y volumen de 100 semillas

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento

Los rendimientos en los tratamientos han sido en T1: 8.25 t/ha, T2: 8.75 t/ha, T3: 7.31 t/ha, T4: 8.60 t/ha, T5: 8.69 t/ha, T6: 7.77 t/ha y FR: 8.09 t/ha. Una vez comprobando los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se realizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) mostrada en la Tabla 7, indica que no hay diferencia significativa en los bloques ni en los tratamientos de estudio, lo que indica que los rendimientos son estadísticamente similares. Los resultados indican que el uso del sensor GreenSeeker, al predecir la cantidad de nitrógeno que requirió la planta por medio de la fórmula elaborada con los datos de la siembra La Molina – INIA 2013, optimizó la aplicación de este elemento ya que en el análisis estadístico el efecto de los tratamientos no fue significativo.

Tabla 7: Variable del Rendimiento en grano (t/ha)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	3.515	1.172	0.821	0.499
Tratamiento	6	6.783	1.130	0.792	0.588
Residual	18	25.684	1.427		
CV (%)		14.55			
Promedio (t/ha)		8.21			

Al igual que el rendimiento las variables del índice de cosecha, número de mazorcas, peso de mazorca, longitud, diámetro, hileras, grano por hileras, peso y volumen de 100 semillas no obtuvieron diferencias significativas. Mismo caso con las variables de altura de planta, altura de inserción de mazorca, número de mazorcas por planta, número de hojas promedio, hojas sobre mazorca y diámetro de tallo. En los siguientes párrafos se detallan los valores obtenidos por tratamiento, que también son observados en la Tabla 8.

Tabla 8: Promedio de variables evaluadas

Prome- dios	Rendi- miento (t/ha)	Núme- ro mazor- cas	Índice de cosecha (%)	Peso 100 semillas (g)	Volumen 100 semillas (ml)	Núme-ro de plantas	Altura de planta (m)	Altura de inser- ción de mazorca (m)	Núme- ro de mazor- cas por planta	Nume- ro de hojas	Núme-ro de hojas sobre mazor-ca	Diá- metro tallo (cm)	Peso ma- zorca (kg)	Longi- tud ma- zorca (cm)	Diáme- tro mazor- ca (cm)	Hile- ras por ma-zorca (cm)	Gra- nos por hilera	Número de granos
T1	8.25	53.5	73.96	24.02	31.25	71.00	2.07	1.19	1.13	17.13	7.33	2.54	0.14	13.46	4.46	16.60	33.50	554.90
T2	8.75	52.3	75.26	24.74	33.00	68.25	2.07	1.24	1.13	17.53	7.43	2.52	0.15	13.18	4.47	16.90	32.35	545.10
T3	7.31	47.5	66.92	23.97	30.25	65.00	2.05	1.19	1.18	17.05	7.23	2.56	0.15	12.47	4.54	17.00	33.28	562.75
T4	8.60	54.3	68.97	25.21	33.75	68.25	2.09	1.24	1.35	16.93	7.35	2.55	0.15	13.53	4.48	16.10	32.85	531.30
T5	8.69	54.3	78.17	25.64	34.25	67.75	2.08	1.19	1.20	16.93	7.28	2.49	0.15	13.09	4.37	17.03	32.68	555.63
T6	7.77	54.0	67.16	23.43	31.50	69.75	2.07	1.14	1.23	16.70	7.28	2.48	0.15	13.22	4.24	16.45	33.58	551.20
FR	8.09	51.0	73.39	24.08	32.00	66.50	2.01	1.15	1.18	17.35	7.43	2.56	0.15	13.32	4.32	16.03	33.45	535.68

El primer testigo, T1, obtuvo un rendimiento de 8.25 t/ha, un índice de cosecha del 73.96%, produjo en promedio 53.5 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.14 kg, 13.46 cm de longitud, 4.46 cm de diámetro, desarrolló 16.6 hileras con 33.5 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 24.02 gramos en un volumen de 31.25 ml. Contó con una altura de planta de 2.07 metros con altura de inserción de mazorca de 1.19 metros, con 1.13 mazorcas por planta y 17.13 hojas en promedio, de estas 7.33 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.54 cm.

El testigo T2 obtuvo un rendimiento de 8.75 t/ha, un índice de cosecha del 75.26%, produjo en promedio 52.3 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.15 kg, 13.18 cm de longitud, 4.47 cm de diámetro, desarrolló 16.9 hileras y 32.35 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 24.74 gramos en un volumen de 33.00 ml. Contó con una altura de planta de 2.07 metros con altura de inserción de mazorca de 1.24 metros, con 1.13 mazorcas por planta y 17.53 hojas en promedio, de estas 7.43 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.52 cm.

El tratamiento T3, obtuvo un rendimiento de 7.31 t/ha, un índice de cosecha del 66.92%, produjo en promedio 47.5 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.15 kg, 12.47 cm de longitud, 4.54 cm de diámetro, desarrolló 17.0 hileras y 33.28 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 23.97 gramos en un volumen de 30.25 ml. Contó con una altura de planta de 2.05 metros con altura de inserción de mazorca de 1.19 metros, con 1.18 mazorcas por planta y 17.05 hojas en promedio, de estas 7.23 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.56 cm.

El tratamiento T4 obtuvo un rendimiento de 8.60 t/ha, un índice de cosecha del 68.97%, produjo en promedio 54.3 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.15 kg, 13.53 cm de longitud, 4.48 cm de diámetro, desarrolló 16.10 hileras y 32.85 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 25.21 gramos en un volumen de 33.75 ml. Contó con una altura de planta de 2.09 metros con altura de inserción de mazorca de 1.24 metros, con 1.35 mazorcas por planta y 16.93 hojas en promedio, de estas 7.35 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.55 cm.

El tratamiento T5 obtuvo un rendimiento de 8.69 t/ha, un índice de cosecha del 78.17%, produjo en promedio 54.3 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.15 kg, 13.09 cm de longitud, 4.37 cm de diámetro, desarrolló 17.03 hileras y 32.68 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 25.64 gramos en un volumen de 34.25 ml. Contó con una altura de planta de 2.08 metros con altura de inserción de mazorca de 1.19 metros, con 1.20 mazorcas por planta y 16.93 hojas en promedio, de estas 7.28 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.49 cm.

El tratamiento T6, obtuvo un rendimiento de 7.77 t/ha, un índice de cosecha del 67.16%, produjo en promedio 54.0 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.15 kg, 13.22 cm de longitud, 4.24 cm de diámetro, desarrolló 16.45 hileras y 33.58 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 23.43 gramos en un volumen de 31.50 ml. Contó con una altura de planta de 2.07 metros con altura de inserción de mazorca de 1.14 metros, con 1.23 mazorcas por planta y 16.70 hojas en promedio, de estas 7.28 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.48 cm.

El tratamiento FR, obtuvo un rendimiento de 8.09 t/ha, un índice de cosecha del 73.39%, produjo en promedio 51.0 mazorcas en la unidad experimental. Por mazorca el peso fue de 0.15 kg, 13.32 cm de longitud, 4.32 cm de diámetro, desarrolló 16.03 hileras y 33.45 granos por hilera. Por 100 semillas se obtuvo un peso de 24.08 gramos en un volumen de 32.00 ml. Contó con una altura de planta de 2.01 metros con altura de inserción de mazorca de 1.15 metros, con 1.18 mazorcas por planta y 17.35 hojas en promedio, de estas 7.43 situadas sobre la mazorca, el diámetro de tallo fue de 2.56 cm.



Figura 6: Cosecha de los tratamientos de estudio

De acuerdo con los protocolos de la Universidad de Oklahoma, la medición del GreenSeeker debe ser realizada entre las etapas V7 a V9. Según Best *et al.* (2014), el NDVI obtenido en campo oscila entre 0.7 y 0.8 para indicar que el cultivo cuenta con suficiente nitrógeno y está sano, pero si el rango obtenido es entre 0.25 y 0.3 existe deficiencia de nitrógeno. La medición en campo se realizó el día 7/11/2019, estando el cultivo en la fase respectiva según el protocolo. Los valores obtenidos se situaron en un rango entre 0.73 y 0.78, lo que significa que las plantas presentaban una cantidad óptima de nitrógeno.

Rimski- Korsakov *et. al.*, (2015) investigaron el destino del nitrógeno aplicado durante el ciclo del maíz, en condiciones sin estrés hídrico el 47 por ciento del nitrógeno suministrado fueron destinados para la planta y el 37 por ciento para la fracción orgánica del suelo en forma de nitratos. En condiciones de estrés hídrico la fracción orgánica del suelo recibió el 56 por ciento del nitrógeno, seguido de la planta con 24 por ciento. Esto no supone una pérdida ya que queda como residualidad y será aprovechada por otro cultivo. Añaden que en condiciones ideales la recuperación del nitrógeno no supera el 60 por ciento.

Hidalgo (2013) menciona que las temperaturas óptimas para la germinación están en un rango entre 10°C y 40°C, el crecimiento vegetativo entre 15°C y 40°C y la floración entre 20°C y 30°C. Muchow y Paulsen (como se citó en Yzarra, Trebejo, & Noriega, 2010) indican que las temperaturas mayores a 35 °C acortan la duración del llenado de grano afectando negativamente el rendimiento; sin embargo, el efecto puede aminorarse cuando hay suficiente abastecimiento de agua y radiación constantes. La data recopilada de la base meteorológica VON HUMBOLT del SENAMHI muestra las temperaturas máximas, mínimas y promedios de agosto del 2019 a febrero del 2020, el tiempo de duración del experimento (Anexo 22). Dentro de la duración de la investigación la temperatura promedio por día ha estado dentro de los valores aptos para el desarrollo del cultivo, sin tener inconveniente con la floración, viabilidad del polen y llenado de grano.

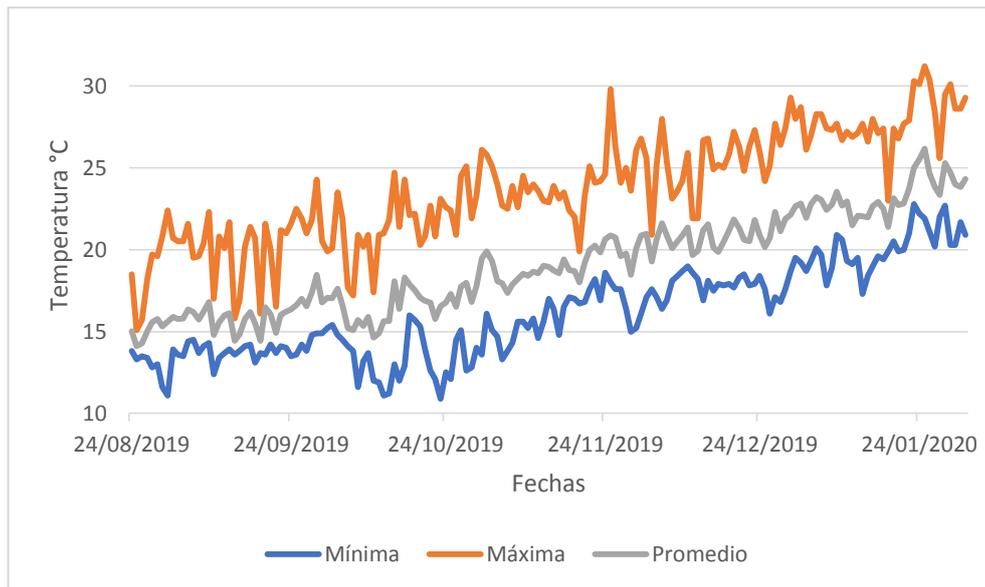


Figura 7: Temperaturas mínimas, máximas y promedio desde la fecha de siembra hasta la cosecha (°C). Fuente: SENAMHI

Se manejó el cultivo en condiciones similares a un mediano agricultor, se realizaron las labores de desmalezado, aporque, aplicaciones de fertilización y para el control de *Spodoptera frugiperda* con una tecnología baja a media. Huamanchumo (2013) menciona que el uso de tecnología influye en los rendimientos en la misma zona, en la costa norte el rendimiento utilizado en producciones con alta tecnología es de 10.8 t/ha y en caso de un nivel medio de tecnología es de 8.82 t/ha, en comparación, las herramientas tecnológicas utilizadas en este estudio pueden catalogarse como tecnología baja a media utilizada por un agricultor que trabaja menos de 20 hectáreas.

El manejo agronómico realizado en la campaña de invierno y con los niveles de temperatura registrados generaron rendimientos entre 7.31 t/ha y 8.75 t/ha, son semejantes a los obtenidos en Lima (Anexo 2 y 3), donde el nivel tecnológico es medio.

Al realizarse la siembra en invierno utilizando el GreenSeeker en condiciones de costa central se generaron rendimientos de 7.31 y 8.75 t/ha entre los tratamientos. Quiñonez (2022) al realizar la siembra en costa central en la temporada de primavera-verano con la misma tecnología obtuvo rendimientos entre 5.8 a 6.9 t/ha. La diferencia del rendimiento se debe a los efectos de la temperatura sobre el cultivo, las plagas incrementan su incidencia en los meses cálidos (Sánchez, 2004), la autora explica que se tuvo que controlar el ataque de

Spodoptera frugiperda a las 5 semanas de siembra. Por otro lado, la diferencia entre los rendimientos se debe a que el periodo entre la siembra y la cosecha en la siembra de verano fue de 4 meses y 6 días, a diferencia de los 5 meses y 9 días de duración en la siembra de invierno. SENASA (2020) señala que en la siembra de primavera – verano se obtienen plantas precoces con menos rendimiento, cuando el ciclo es mayor se intercepta más radiación y permite mayor producción (Yzarra *et al.*, 2010).

Rogers (2016), desarrolló un algoritmo para maíz en condiciones de las planicies costeras de Estados Unidos con los datos de una primera campaña en el año 2015, este algoritmo fue validado en una campaña en el 2016 en donde se comparó su uso con el manejo usual de los granjeros de la zona, el incremento de rendimiento no fue estadísticamente significativo al usar el GreenSeeker, sin embargo, se redujeron las cantidades de nitrógeno aplicado entre un 21 a 34 por ciento. El uso de esta tecnología trae como principal beneficio aplicar la cantidad necesaria de fertilizante nitrogenado en cada campaña y evitar aplicar más de lo que realmente necesita la planta, disminuyendo los costos de la producción.

4.2 Rentabilidad

Se ha elaborado el análisis económico del experimento, en el cual se ha considerado el manejo del cultivo de maíz semejante al de un mediano agricultor. Al usar del GreenSeeker se consideró las diferencias que puede haber en el rendimiento, el costo de la urea y la mano de obra.

El costo de producción ha sido elaborado en base a la aplicación de 200 unidades de nitrógeno por hectárea. Chura *et al.* (2019), evaluaron en La Molina el rendimiento de grano a 180, 200 y 220 kg/ha de nitrógeno, siendo el segundo tratamiento el de mayor rendimiento en grano con 10.93 kg/ha, se aplicó dos fracciones en partes iguales en los estadios V3 y V7.

El costo total de producción fue de S/. 6797.96 (Anexo 23), en base a ello se elaboró el cálculo del ahorro total para los tratamientos T3, T4, T5 y T6 generado por el uso del GreenSeeker en el anexo 25.

Una vez los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza y autocorrelación mostraron conformidad, se realizó el análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo diferencias

estadísticamente significativas entre dichos tratamientos (Tabla 9). En consecuencia, se realizó la prueba Tukey mostrada en el Tabla 10.

Tabla 9: Variable de ahorro total por hectárea (S/.)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	281	94	0.1056	0.9551
Tratamiento	1	250249	250249	281.6084	***
Residual	11	9775	889		
CV (%)		5.16			
Promedio (S./ha)		576.82			

Tabla 10: Prueba Tukey del ahorro total por hectárea (S/.)

Tratamientos	Suma de los rangos	Grupos
T6	731.46	A
T5	649.24	B
T4	527.35	C
T3	399.23	D

La Tabla 10 determina que el máximo valor en el ahorro total es de 731.46 soles por hectárea. Este dato fue utilizado junto al promedio de los rendimientos del anexo 3 para obtener la rentabilidad generada por el GreenSeeker y sin emplear el sensor en diferentes provincias de Lima entre el año 2016 al 2020, para ello se tomaron los datos del rendimiento y el valor del grano para dichas provincias del Sistema Integrado de Estadística Agraria del MIDAGRI (SIEA). Este es el resultado del porcentaje del beneficio neto entre la inversión total usada para producir una tonelada de maíz amarillo duro (anexo 24 y 25).

Tabla 11: Rentabilidad promedio en diferentes provincias de Lima (2016-2020).

PROVINCIA	Rendimiento (t/ha)	Rentabilidad sin uso del Green Seeker (%)	Rentabilidad con uso de GreenSeeker (%)	Incremento de rentabilidad (%)
BARRANCA	10.54	113.70	139.68	25.98
CAÑETE	9.12	85.39	107.92	22.54
HURARAL	8.68	76.36	97.80	21.44
HUAURA	7.84	59.35	78.72	19.37
LIMA	8.37	70.03	90.70	20.67

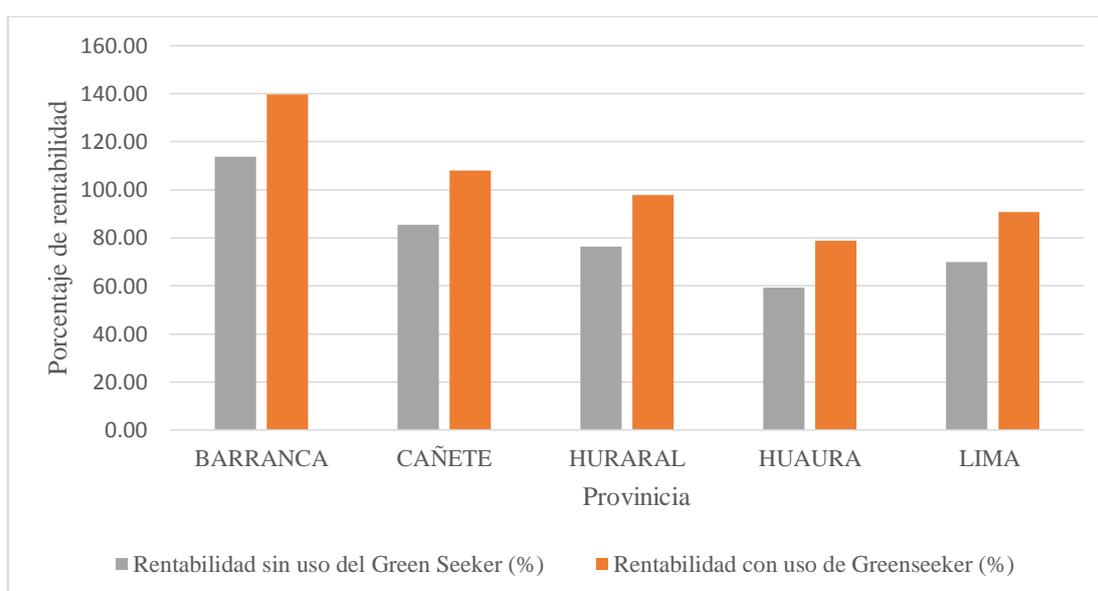


Figura 8: Rentabilidad sin y con el uso de GreenSeeker

Los resultados del Tabla 9 graficados en la figura 8 demuestran que el uso del GreenSeeker en la segunda fertilización nitrogenada ha generado mayor rentabilidad en todos los casos, esta ha incrementa entre 19.3 y 25.9 por ciento ya que hubo ahorro al reducir la cantidad de urea aplicada y al haber menor cantidad de fertilizante se requirió menor cantidad de mano de obra para aplicarlo.

Quiñonez (2022) utilizando el sensor GreenSeeker para el cultivo de maíz amarillo duro en una campaña de verano generó un ahorro hasta de 510.79 soles aplicando las dosis recomendadas desde 0 kg/ha a 25 kg/ha. Lo que indica que, en ambos ensayos realizados en

condiciones de costa central peruana generaron ahorros en los costos de producción. Se debe seguir realizando investigaciones en otras provincias de Lima y en otras regiones de la costa central con el fin de probar su efectividad en diferentes condiciones para que en investigaciones futuras se trabaje directamente con los medianos agricultores.

En el presente estudio no se consideró la inversión del precio del equipo, aproximadamente 500 USD (Hatzenbuehler y Peña-Lévano, 2022) dentro de los costos de producción ya que el análisis se está realizando en base a una hectárea. Los medianos agricultores al trabajar en campos entre 5 a 19.9 hectáreas (Huamanchumo, 2013) pueden recuperar su inversión en la primera campaña. Al trabajar en las estrategias de adopción se debe estudiar si el uso de esta tecnología logra obtener mayor aceptación y rentabilidad cuando el propio agricultor adquiere el equipo y es capacitado para determinar la dosis recomendada o si se debe utilizar un personal especializado.

El GreenSeeker es una tecnología actualmente utilizada por agricultores de Estados Unidos y Europa, se desea que esta tecnología sea adoptada por los agricultores de los países del hemisferio sur (Hatzenbuehler y Peña-Lévano, 2022). Lapidus *et al.* (2022) estudiaron los efectos económicos del uso de las recomendaciones del GreenSeeker en casi 2000 campos de agricultores en tres regiones de México para motivar la adopción de la tecnología a nivel práctico para los cultivos de maíz y trigo. La ganancia adicional se calculó restando los ingresos netos del campo menos el que habría recibido utilizando las prácticas convencionales. En caso del maíz en dos campañas (2014-2015), el uso del GreenSeeker generó un ahorro promedio al equivalente de 448.9 soles por hectárea. Sin embargo, la implementación del sensor fue apoyado por subsidios y se debe seguir desarrollando estrategias de adopción ya que no todos los agricultores siguieron las recomendaciones dadas. Es por ello que, después de realizar múltiples ensayos que demuestren ahorro en fertilizante nitrogenado y mano de obra en el cultivo de maíz para costa central peruana, se tiene que diseñar las estrategias adecuadas para un correcto uso por parte del agricultor.

V. CONCLUSIONES

- El uso de la fórmula obtenida por el protocolo de la Universidad de Oklahoma para maíz amarillo duro en condiciones de costa central logró recomendar, según el índice de vegetación de diferencia normalizada, cantidades de nitrógeno para la segunda fertilización de maíz amarillo duro variedad DK-7088 que resultaron en la homogenización de los rendimientos en los tratamientos utilizados, optimizando la aplicación de fertilizante nitrogenado.
- El uso del GreenSeeker permitió un ahorro entre 399 a 731 soles por hectárea, dependiendo de las unidades de nitrógeno que se deseen aplicar, lo que incrementa la rentabilidad en un rango de 19.3 a 25.9 por ciento en diferentes provincias de Lima. Favoreciendo al agricultor por la reducción de los costos en los requerimientos de mano de obra y fertilizante nitrogenado.

VI. RECOMENDACIONES

- Probar la eficiencia de las recomendaciones dadas por el GreenSeeker en campos con alto requerimiento de nitrógeno para observar los beneficios económicos que genera al agricultor en el cultivo de maíz amarillo duro.
- Realizar ensayos con el híbrido DK-7088 en esta investigación para campañas de maíz chala y comprobar si hay una reducción significativa en los costos de producción.
- Se sugiere comparar con otros híbridos comerciales de maíz amarillo duro para producción de grano en siembra de invierno.
- Investigar los efectos del uso del GreenSeeker en otras provincias de Lima como Barranca y Cañete, que tienen rendimientos mayores a Lima Metropolitana.
- Como el GreenSeeker se ha aplicado al maíz amarillo duro, se recomienda realizar estudios in situ en zonas productoras de otras especies como el trigo, cebada, sorgo, entre otros que son demandantes de fertilizantes nitrogenados.
- Se recomiendan realizar ensayos para identificar la eficiencia de fuentes nitrogenadas y en diferentes ambientes y momentos de aplicación, sin dejar de prestar atención al efecto de los micronutrientes en la producción final.

VII. BIBLIOGRAFIA

Agüera, J. y Pérez, M. (2013). *Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria*. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/Ambienta_2013_10_5_16_27.pdf

Ali, A. M.; Abou-Amer, I. y Ibrahim, S.M. (2017): Using GreenSeeker Active Optical Sensor for Optimizing Maize Nitrogen Fertilization in Calcareous Soils of Egypt, *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2017.1411589

Banco Central de Reserva del Perú. (Junio de 2022). Reporte de Inflación. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2022/junio/ri-junio-2022-recuadro-7.pdf>

Barandiarán, M. (2020). *Manual Técnico del Cultivo de Maíz Amarillo D* [Libro electrónico]. Instituto Nacional de Innovación Agraria <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/1057>

Bean, G.M., Kitchen, N.R., Camberato, J.J., Ferguson, R.B., Fernandez, F.G., Franzen, D.W., Laboski, C.A.M., Nafziger, E.D., Sawyer, J.E., Scharf, P.C., Schepers, J. and Shanahan, J.S. (2018), Active-Optical Reflectance Sensing Corn Algorithms Evaluated over the United States Midwest Corn Belt. *Agronomy Journal*, 110: 2552-2565. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0217>

Becerra, L. (15 de enero de 2019). El sector avícola reportó un crecimiento de 4.8% en 2018 con relación al año anterior. *Diario La República*. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/economia/de-acuerdo-con-fenavi-la-produccion-de-huevos-llego-a-14606-unidades-el-ano-pasado-2815431>.

Best, S., León, L., Méndez, A., Flores, F. y Aguilera, H. (2014). Adopción y Desarrollo de tecnologías en Agricultura de Precisión. Recuperado de: <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Tecnologia-Agricultura-Precision.pdf>

Carneiro, T. J., Hahn, E. O., Pivotto, R., Dalla, D., Bragagnolo, J., y Benítez, E. A. (2017). Yield and nutritional efficiency of corn in response to rates and splits of nitrogen fertilization. *Vicosa*, 351-359.

Chura, J., Mendoza-Cortez, W., & de la Cruz, J. (2019). Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 241-248. doi:<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.09>

CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México D.F.: CIMMYT.

ComexPerú. (29 de Abril de 2022). Fertilizantes en el Perú: Amenaza para Nuestra Agricultura. Obtenido de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/escasez-de-fertilizantes-en-el-peru-amenaza-para-nuestra-agricultura#:~:text=En%20nuestro%20pa%C3%ADs%20existe%20un,masivo%20en%20el%20pa%C3%ADs%20seg%C3%BA>

Dhital, S.; Raun, W.R. (2016). Variability in Optimum Nitrogen Rates for Maize. *Agronomy Journal*, 108: 2165-2173.

Dirección de Estadística Agraria . (28 de Febrero de 2022). Boletín de comercialización de Maíz Amarillo Duro (MAD) - Febrero 2022. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2729909-boletin-de-comercializacion-de-maiz-amarillo-duro-mad-febrero-2022>

Ecuaquímica C.A. (s.f.). Maíz híbrido DK 7088: su excelencia. [Folleto]. Ecuador: Autor. Recuperado de: http://ecuanoticias.com.ec/pdf_semillas/DEKALB7088.pdf

Fabián, N., Luis, D., & Tirado, R. (2020). Comparativo de rendimiento en híbridos nacionales e internacionales de maíz bajo condiciones del valle de Pativilca, Lima, Perú. Peruvian Agricultural Research, 8. doi.: <https://doi.org/10.51431/par.v2i2.643>

FAO. (2022). El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades . Recuperado de <https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf>

FAO. (2022). EVOLUCIÓN DE LOS MERCADOS MUNDIALES DE FERTILIZANTES. Roma. Obtenido de <https://www.fao.org/3/nj408es/nj408es.pdf>

Franzen, D.; Bu, H. 2022. Active- optical Sensor Algorithms for Corn Yield Prediction and as a a Corn Side- dress Nitrogen Rate Aid. North Dakota State University. Recuperado de : https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-09/sf1176-5_0.pdf

Gerencia de Desarrollo Económico Local [GDEL]. (2016). Guía Práctica: Cultivo de Maíz. GDEL. Primera Edición, Satipo.

Ginés, J., & Mariscal, I. (2002). Incidencia de los fertilizante sobre el suelo. Fertiberia S.A., 1-9.

Girimonte, P. & García Fronti, J. (2020). EL INDICE NDVI Y LA CLASIFICACION DE ÁREAS SEMBRADAS APRENDIZAJE AUTOMÁTICO NO SUPERVISADO “K-MEANS”. Revista de Investigación en Modelos Matemáticos aplicados a la Gestión y la Economía, 7(1), 39-52.

González, J. (2018). CORRECCIÓN DEL PH EN SUELOS ALCALINOS APLICANDO MATERIA ORGÁNICA, UREA Y ENMIENDAS DE SULFATO DE CALCIO Y ROCA FOSFÓRICA BAJO DOS ESTADOS DE HUMEDAD, PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN LA HACIENDA SAN MATEO, LASSO . Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Gutiérrez, M., Cadet, E., Rodríguez. W & Araya, J. (2011). El GreenSeeker y el diagnóstico de estado de salud de los cultivos. Agronomía Mesoamericana, 22 (2), 397-

403.

Hatzenbuehler, P.; Peña-Lévano, L. (2022). Adoption Potential of Sustainability-Related Agriculture Technologies for Smallholder Farmers in the Global South *Sustainability*, 14, 13176. <https://doi.org/10.3390/su142013176>

Hidalgo, E. (2013). *Manejo Técnico del Cultivo de Maíz Amarillo Duro en la Región de San Martín*. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Huamanchumo, C. (2013). *La Cadena de Valor de Maíz en el Perú*. Lima: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Importación de maíz amarillo duro de EE.UU. desplaza a la producción nacional. (11 de setiembre del 2018). *Revista Agronoticias* N°451. Recuperado de: <https://agronoticias.pe/noticias/importacion-de-maiz-amarillo-duro-de-ee-uu-desplaza-a-la-produccion-nacional/>

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (1 de Diciembre de 2021). MIDAGRI presenta nueva variedad de maíz amarillo duro con alto valor genético, INIA 626 - AKIRA. Obtenido de Plataforma digital única del Estado Peruano: <https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/565998-midagri-presenta-nueva-variedad-de-maiz-amarillo-duro-con-alto-valor-genetico-inia-626-akira>

Kumar, M y Kumar, P. (2011). *Guía para la identificación y el manejo de la deficiencia de nutrientes en cereales*. Recuperado de: [http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/1BCFF09902C918F2852581E900640822/\\$FILE/Libro%20IPNI%20final.PDF](http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/1BCFF09902C918F2852581E900640822/$FILE/Libro%20IPNI%20final.PDF) .

Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J., & Garnier, J. (2014). 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105011. doi:10.1088/1748-9326/9/10/105011

La tasa de crecimiento de la industria avícola peruana se modelará el 2016. (04 de julio de 2016). Recuperado de: <http://www.elsitioavicola.com/poultrynews/31553/la-tasa-de-crecimiento-de-la-industria-avicola-peruana-se-moderara-el-2016/>

Lapidus, D., Salem, M., Beach, R. *et al.* Greenhouse gas mitigation benefits and profitability of the GreenSeeker Handheld NDVI sensor: evidence from Mexico. *Precision Agric* 23, 2388–2406 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09925-z>

León C, J. (01 de Febrero de 2022). Perú importa 1.2 millones de toneladas de fertilizantes sintéticos al año. *Agraria.pe*. Obtenido de <https://agraria.pe/noticias/peru-importa-1-2-millones-de-toneladas-de-fertilizantes-sint-26839>

Martines, S. J. (2022). Rendimiento de Cuatro Híbridos de Maíz Amarillo para Grano y Forraje, Bajo Tres Densidades de Siembra. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5388/martinez-vidal-sandro-joe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, O., Salas, M., & Díaz, J. (2018). Curva de crecimiento poblacional de *Spodoptera frugiperda* en maíz en Irapuato, Guanajuato, México. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 315-323.

Miller, E., Bushong, J., Raun, W., M., A. J., & Arnall, D. (2017). Predicting Early Season Nitrogen Rates of Corn Using Indicator Crops. *Agronomy Journal*, 8.

Ministerio de Agricultura y Riego. (08 de mayo de 2019). Boletín de maíz amarillo duro: informe de 2019. Recuperado de: <https://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-de-maiz-amarillo-duro/maiz-2019?start=40>

Ministerio de Agricultura y Riego. (Diciembre de 2017). Boletín Estadístico de Medios de Producción Agropecuarios: iv trimestre 2017. Recuperado de: https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/prod-agropecuarios/2017/medios-produccion-agropecuario-ivtrimestre2017_070318.pdf

Moreyra, J. (2020). Observatorio de Commodities: Maíz Amarillo Duro. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.

Moreyra., J. (2022). Observatorio de las Siembras y Perspectivas de la Producción: Maíz Amarillo Duro. Lima: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

Nitrogen Uptake in Corn and Wheat, nitrogen use efficiency. (s/f). Okstate.edu. Recuperado el 30 de diciembre de 2022, de https://www.nue.okstate.edu/Nitrogen_Uptake.htm

Noriega, V. (2001). Siembra y Abonamiento del Maíz Amarillo Duro Recuperado de: http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/900/1/NoriegaSiembra_Abonamiento_Maiz.pdf

Oklahoma University. (s.f.). Outline for Generating New Crop Algorithms for N Fertilization Patents. Obtenido de http://nue.okstate.edu/Algorithm/Algorithm_Outline.htm

Ortiz, M. (02 de Mayo de 2022). Crece preocupación entre productores por escasez y altos precios de la urea. Redagrícola. Obtenido de <https://www.redagricola.com/pe/crece-preocupacion-entre-productores-por-escasez-y-altos-precios-de-la-urea/>

Perdomo, C., & Barnazán, M. (s.f.). Cátedra de Fertilidad: Nitrógeno. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.

Pioneer, D. (s.f.). Maíz: Crecimiento y Desarrollo. Recuperado de: https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf

Prakasha, G., Mudalagiriappa, Somashekar, K., & Shivanand, G. (2020). A novel approach for increasing productivity under precision nitrogen management in maize (*Zea mays* L.) through crop sensors. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 97-103.

Quiñonez, J.D. (2022). UTILIZACIÓN DEL INSTRUMENTO GREENSEEKER PARA DOSIFICAR LA SEGUNDA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays* L.) LA MOLINA (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina) Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5536/qui%C3%B1ones-vasquez-josselyn-daniela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramos, H. (2014). Obtención de Fórmula para Fertilización Nitrogenada para Costa Central. [Investigación inédita]. Universidad Nacional Agraria La Molina- INIA.

Raun, W.R., Solie, J.B., Johnson, G.V., Stone, M.L., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Thomason, W.E., & Lukina, E.V. (2002). Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application. *Agronomy Journal*, 94, 815-820.

Raun, W.R., Solie, J.B., Stone, M.L., Martin, K.L., Freeman, K.W., Mullen, R.W., Zhang, H., Schepers J.S & Johnson, G.V. (2005). Optical Sensor- Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 2759-2781.

Rimski- Korsakov, H., Rubio, G., Pino, I., & Lavado, S. (2008). Destino del Nitrógeno del Fertilizante en un Cultivo de Maíz. *Informaciones Agornómicas del Cono Sur*, 2-5.

Rimski- Korsakov, H., Zubillaga, M., Landrinscini, M., & Lavado, R. (2015). ¿A dónde va el nitrógeno de la fertilización del maíz cuando hay estrés hídrico? *Informaciónes Agronómicas de Hispanoamérica*, 2-4.

Rogers, N.G., "Sensor Based Nitrogen Management for Corn Production in Coastal Plain Soils" (2016). *All Theses*. 2579. Recuperado de : https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/2579

Ruis S., R., & Vidal S., M. (s.f.). Manejo de la Fertilización Nitrogenada en Maíz. Obtenido de Centro Regional de Investidaciones Agropecuarias: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4475/NR38913.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, H. (2004). Manual Tecnológico del Maíz Amarillo Duro y de Buenas Practicas

Agrícolas para el Valle de Huaura - Departamento de Lima. Lima: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Obtenido de <http://repiica.iica.int/docs/b0343e/b0343e.pdf>

Santillano, J., López, A., Ortiz, I. & Raun, W. (2013). Uso de sensores ópticos para la fertilización en trigo (*Triticum aestivum*, L.). *Terra Latinoamericana*, 31, 95-103.

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú [SENASA]. (2020). Guía para la Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el Cultivo de Maíz Amarillo Duro. Obtenido de <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2020/07/Guia-BPA-MAIZ-AMARILLO-DURO.pdf>

Sistema Integrado de Estadística Agraria-SIEA. (2020). Encuesta Nacional de Intenciones de Siembra 2019. Ministerio de Agricultura y Riego –MINAGRI. Recuperado de http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/Libro%20Resultado%20ENIS%202019-2020_260719.pdf

Sistema Integrado de Estadística Agraria-SIEA. (s.f.). Costo de Producción e Índice de Competitividad por Una Hectárea. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzI3NWExYjctNWExMC00MTU0LTk0ZGMtN2I1NjExMDI1M2RIIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9&pageName=ReportSection041d28a44730bc562bd7>

Soria Ruiz, J., Ortiz Solorio, C. A., Islas Gutiérrez, F., & Volke Haller, V. (2000). Sitios de ocurrencia y predicción de rendimientos de maíz a través de índices de vegetación de imágenes de satélite. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 27-34.

Sotomayor, R., Chura, J., Calderón, C., Sevilla, R., & Blas, R. (2017). Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad de maíz amarillo duro en dos densidades de siembra. *Anales Científicos*, 78(2), 232-240. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1061>

Torres, M. G. (2017). Respuesta agroeconómica de las F1 y F2 de dos híbridos de maíz amarillo (*Zea mays* L.) en la costa central. (Tesis de maestría, Universidad Nacional

Agraria La Molina). Recuperada de:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3498/torres-vargas-mirna-gloria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Tubaña, B.S.; Arnall, D.B; Walsh, O; Chung, B; Solie, J.B; Girma, K. y Raun, W.R. (2008) Adjusting Midseason Nitrogen Rate Using a Sensor-Based Optimization Algorithm to Increase Use Efficiency in Corn, *Journal of Plant Nutrition*, 31:8, 1393-1419, DOI: 10.1080/01904160802208261

Valdivia D., R. (2022). *Desarrollo del Mercado Peruano de Fertilizantes bajo un Enfoque Global y Sostenible*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Verhulst, N., Francois, I., Grahmann, K., Cox, R. y Goaverts, B. (2015). Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación. D.F, México: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Vetsch, J. A., & Randall, G. W. (2004). Corn Production as Affected by Nitrogen Application Timing and Tillage. *Agronomy Journal*, 96(2), 502. doi:10.2134/agronj2004.5020

Yanqui, F., Alrcón, J., Carrasco, H., Caballero, S., Chávez, D., Moreno, S., . . . N. (2022). Umbral de tratamiento del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays L. ssp amiláceo*). *Manglar*, 19(3), 291 - 297.

Yzarra, W., Trebejo, I., & Noriega, V. (2010). Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*, 90.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Producción, superficie cosechada y rendimiento de maíz amarillo duro a nivel nacional (2018-2021)

Año	Producción (miles toneladas)	Superficie Cosechada (miles hectáreas)	Rendimiento (t/ha)
2018	1265.84	256.36	4.94
2019	1270.76	254.54	4.99
2020	1126.96	236.20	4.77
2021	1272.61	252.67	5.04

Fuente: SIEA

Elaboración: Propia

Anexo2: Rendimiento (t/ha) de maíz amarillo duro a nivel nacional (2018 -2021)

Departamento	Año			
	2018	2019	2020	2021
Lima	9.50	9.99	9.73	10.22
Lima Metropolitana	8.87	8.01	8.11	8.07
Ancash	10.65	11.23	10.82	10.75
Ica	10.17	9.97	9.20	9.24
La Libertad	8.58	8.76	8.81	9.01
Lambayeque	6.71	6.01	6.40	6.57
Cajamarca	3.64	3.83	3.44	3.47
Huánuco	3.89	3.77	4.12	3.87
Piura	3.70	4.37	3.71	4.30
Loreto	2.94	2.93	2.92	2.92
Ucayali	2.38	2.38	2.31	2.78
San Martín	2.46	2.53	2.82	3.14
PROMEDIO NACIONAL	4.94	4.99	4.77	5.04

Fuente: SIEA

Elaboración: Propia

Anexo 3: Rendimiento (t/ha) en principales provincias de Lima (2016-2020)

Provincia	2016	2017	2018	2019	2020
Barranca	10.89	10.21	10.20	10.81	10.45
Cañete	8.18	8.33	8.31	8.09	8.15
Huaral	7.83	4.84	6.14	7.45	5.87
Huaura	7.20	7.24	7.30	7.62	7.70
Lima	8.48	8.36	8.43	8.11	8.37

Fuente: SIEA

Elaboración: Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : KARINA FLORES ALVA
 Departamento : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Referencia : H.R. 69803-106C-19

Provincia : LIMA
 Predio :
 Fecha : 13/09/19

Bolt : 3454

Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dSm	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	C/C	Cationes Cambiables			Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases		
							Areña %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺² meq/100g	K ⁺			Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺
7283	7.66	2.42	3.10	0.99	15.9	181	59	21	20	Fr.Ar.A.	9.92	7.66	1.47	0.31	0.48	0.00	9.92	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Ing. Braylio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

Anexo 5: Requerimiento de unidades de nitrógeno y urea por tratamiento

Bloque	Tratamiento	NDVI	INSEY	Requerimiento de nitrógeno (kg/ha)	Requerimiento de urea (kg/ha)
B1	T1	0.7600	0.0100	0.0000	0.0000
B1	T2	0.7575	0.0100	1.8529	4.0281
B1	T3	0.7525	0.0099	2.3530	5.1153
B1	T4	0.7775	0.0102	0.0000	0.0000
B1	T5	0.7600	0.0100	1.5981	3.4741
B1	T6	0.7675	0.0101	0.8141	1.7698
B1	FR	0.7750	0.0102	0.0000	0.0000
B2	T1	0.7375	0.0097	0.0000	0.0000
B2	T2	0.7550	0.0099	0.7892	1.7157
B2	T3	0.7575	0.0100	0.5294	1.1509
B2	T4	0.7575	0.0100	0.5294	1.1509
B2	T5	0.7525	0.0099	1.0458	2.2735
B2	T6	0.7600	0.0100	0.2664	0.5790
B2	FR	0.7625	0.0100	0.0000	0.0000
B3	T1	0.7650	0.0101	0.0000	0.0000
B3	T2	0.7625	0.0100	0.2680	0.5826
B3	T3	0.7450	0.0098	2.0533	4.4636
B3	T4	0.7475	0.0098	1.8077	3.9298
B3	T5	0.7675	0.0101	0.0000	0.0000
B3	T6	0.7575	0.0100	0.7941	1.7263
B3	FR	0.7650	0.0101	0.0000	0.0000
B4	T1	0.7350	0.0097	0.0000	0.0000
B4	T2	0.7525	0.0099	0.5229	1.1367
B4	T3	0.7500	0.0099	0.7795	1.6946
B4	T4	0.7500	0.0099	0.7795	1.6946
B4	T5	0.7675	0.0101	0.0000	0.0000
B4	T6	0.7475	0.0098	1.0330	2.2456
B4	FR	0.7575	0.0100	0.0000	0.0000

Elaboración: Propia

Anexo 6: Rendimiento del grano por bloque y tratamiento

Bloque	Tratamiento	Rendimiento (t/ha)
B1	T1	9.56
	T2	8.56
	T3	5.63
	T4	8.09
	T5	8.20
	T6	6.15
	FR	7.38
B2	T1	7.79
	T2	8.39
	T3	7.25
	T4	10.40
	T5	8.98
	T6	8.38
	FR	9.13
B3	T1	7.50
	T2	11.20
	T3	8.54
	T4	7.98
	T5	7.98
	T6	8.18
	FR	7.19
B4	T1	8.16
	T2	6.83
	T3	7.81
	T4	7.93
	T5	9.59
	T6	8.39
	FR	8.65

Elaboración: Propia

Anexo 7: Variable del Número de Mazorcas

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	57.82	19.274	0.6541	0.5908
Tratamiento	6	146.43	24.405	0.8282	0.5633
Residual	18	530.43	29.468		
CV (%)		10.36			
Promedio		1.20			

Anexo 8: Variable del Peso de 100 Semillas (gr)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	21.772	7.2574	2.1737	0.1265
Tratamiento	6	14.655	2.4425	0.7316	0.6305
Residual	18	60.096	3.3387		
CV (%)		7.47			
Promedio		24.44			

Anexo 9: Variable del Volumen de 100 Semillas (ml)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	38.571	12.8571	2.005	0.1494
Tratamiento	6	49.714	8.2857	1.2921	0.3101
Residual	18	115.429	6.4127		
CV (%)		7.84			
Promedio		32.28			

Anexo 10: Variable de Número de Plantas por unidad experimental

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	89.286	29.762	1.9221	0.1622
Tratamiento	6	93.857	15.643	1.0103	0.4493
Residual	18	278.714	15.484		
CV (%)		5.78			
Promedio		68.07			

Anexo 11: Variable de Altura de Planta (m)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.266089	0.088696	6.3622	0.00395 ***
Tratamiento	6	0.014094	0.002349	0.1685	0.98202
Residual	18	0.250942	0.013941		
CV (%)		6.76			
Promedio		2.06			

Anexo 12: Variable de Altura de Inserción de Mazorca (m)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.203904	0.067968	10.468	0.0003267 ***
Tratamiento	6	0.033191	0.005532	0.852	0.5473502
Residual	18	0.11687	0.006493		
CV (%)		6.76			
Promedio		1.19			

Anexo 13: Variable de Número de Mazorcas por Planta

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.52107	0.17369	12.687	0.0001077 ***
Tratamiento	6	0.14214	0.02369	1.7304	0.1711627
Residual	18	0.24643	0.01369		
CV (%)		9.77			
Promedio		1.20			

Anexo 14: Variable de Número de Hojas por Planta

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.1514	0.05048	0.0488	0.9853
Tratamiento	6	1.8643	0.31071	0.3004	0.9286
Residual	18	18.6186	1.03437		
CV (%)		5.95			
Promedio		17.08			

Anexo 15: Variable del Diámetro del Tallo (cm)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.06149	0.0204968	1.7698	0.1889
Tratamiento	6	0.024559	0.0040931	0.3534	0.8986
Residual	18	0.20846	0.0115811		
CV (%)		4.25			
Promedio		2.52			

Anexo 16: Peso promedio de Unidad de Mazorca (kg)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.06149	0.0204968	1.7698	0.1889
Tratamiento	6	0.024559	0.0040931	0.3534	0.8986
Residual	18	0.20846	0.0115811		
CV (%)		8.06			
Promedio		0.14			

Anexo 17: Variable de Longitud de Mazorca (cm)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	2.6683	0.88944	0.7037	0.5621
Tratamiento	6	2.9273	0.48789	0.386	0.8784
Residual	18	22.751	1.26394		
CV (%)		8.53			
Promedio		13.18			

Anexo 18: Variable de Diámetro de Mazorca (cm)

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.09002	0.030007	0.712	0.5575
Tratamiento	6	0.26261	0.043769	1.0385	0.4333
Residual	18	0.75863	0.042146		
CV (%)		4.65			
Promedio		4.41			

Anexo 19: Variable de Número de Hileras por Mazorca

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	0.5971	0.19905	0.5142	0.6777
Tratamiento	6	4.1293	0.68821	1.7779	0.1605
Residual	18	6.9679	0.3871		
CV (%)		3.75			
Promedio		16.58			

Anexo 20: Granos por Hilera

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	16.067	5.3556	2.4932	0.09288
Tratamiento	6	5.377	0.8962	0.4172	0.85796
Residual	18	38.666	2.1481		
CV (%)		4.42			
Promedio		33.09			

Anexo 21: Número de Granos

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr(>F)
Bloque	3	4127.2	1375.75	1.4682	0.2566
Tratamiento	6	3090.9	515.14	0.5498	0.7639
Residual	18	16866.7	937.04		
CV (%)		5.58			
Promedio		548.08			

Anexo 22: Valores de temperatura (°C) durante la campaña

Fecha	Temperatura (°C)			Fecha	Temperatura (°C)		
	Mínima	Máxima	Promedio		Mínima	Máxima	Promedio
24/08/2019	13.8	18.5	15.0	14/11/2019	16.4	23.9	18.7
25/08/2019	13.3	15.1	14.1	15/11/2019	14.8	23.1	18.6
26/08/2019	13.5	15.7	14.3	16/11/2019	16.5	23.5	19.4
27/08/2019	13.4	18.2	15.0	17/11/2019	17.1	22.4	18.8
28/08/2019	12.8	19.7	15.6	18/11/2019	17	22	18.7
29/08/2019	13	19.6	15.8	19/11/2019	16.7	19.9	18.0
30/08/2019	11.6	20.8	15.3	20/11/2019	16.8	23.3	19.2
31/08/2019	11.1	22.4	15.6	21/11/2019	17.6	25.1	20.0

1/09/2019	13.9	20.7	15.9	22/11/2019	18.2	24.1	20.3
2/09/2019	13.6	20.5	15.8	23/11/2019	16.9	24.2	19.8
3/09/2019	13.5	20.5	15.8	24/11/2019	18.6	24.6	20.6
4/09/2019	14.4	21.6	16.3	25/11/2019	18	29.8	20.9
5/09/2019	14.5	19.5	16.2	26/11/2019	17.6	26.3	20.8
6/09/2019	13.7	19.6	15.7	27/11/2019	17.6	24.1	19.6
7/09/2019	14.1	20.4	16.2	28/11/2019	16.4	25	19.8
8/09/2019	14.3	22.3	16.8	29/11/2019	15	23.6	18.5
9/09/2019	12.4	17	14.8	30/11/2019	15.2	26.1	20.1
10/09/2019	13.4	20.8	15.6	1/12/2019	16.1	26.8	20.9
11/09/2019	13.7	20.1	16.0	2/12/2019	17.1	25.6	21.0
12/09/2019	13.9	21.7	16.1	3/12/2019	17.6	20.9	19.3
13/09/2019	13.6	15.8	14.4	4/12/2019	17.1	25.2	20.7
14/09/2019	13.8	16.9	14.8	5/12/2019	16.4	28	21.6
15/09/2019	14.1	20.2	15.8	6/12/2019	16.9	25.4	20.9
16/09/2019	14.2	21.4	16.2	7/12/2019	18.1	23.1	20.1
17/09/2019	13.1	20.7	15.5	8/12/2019	18.4	23.6	20.5
18/09/2019	13.7	16.1	14.4	9/12/2019	18.7	24.2	20.9
19/09/2019	13.6	21.6	16.5	10/12/2019	19	25.9	21.4
20/09/2019	14.2	20	16.1	11/12/2019	18.6	21.9	19.7
21/09/2019	13.7	16.5	14.9	12/12/2019	18.2	21.9	19.9
22/09/2019	14.1	21.2	16.0	13/12/2019	16.9	26.7	21.2
23/09/2019	14	21	16.2	14/12/2019	18.1	26.8	21.5
24/09/2019	13.5	21.6	16.3	15/12/2019	17.5	24.9	20.1
25/09/2019	13.6	22.5	16.6	16/12/2019	17.9	25.2	19.9
26/09/2019	14.2	21.9	17.0	17/12/2019	17.8	25	20.5
27/09/2019	13.8	21	16.6	18/12/2019	17.9	25.8	21.2
28/09/2019	14.8	21.8	17.4	19/12/2019	17.7	27.2	21.9
29/09/2019	14.9	24.3	18.5	20/12/2019	18.3	26.3	21.3
30/09/2019	14.9	20.5	16.8	21/12/2019	18.5	24.8	20.6
1/10/2019	15.2	19.9	17.1	22/12/2019	17.8	26.3	20.5
2/10/2019	15.4	20.1	17.0	23/12/2019	17.9	27.3	21.8
3/10/2019	14.8	23.5	17.6	24/12/2019	18.4	26	20.9
4/10/2019	14.5	21.9	16.6	25/12/2019	17.6	24.2	20.2
5/10/2019	14.1	17.7	15.2	26/12/2019	16.1	25.1	20.7
6/10/2019	13.8	17.2	15.1	27/12/2019	17.1	27.7	22.3
7/10/2019	11.6	20.9	15.7	28/12/2019	16.8	26.4	21.1
8/10/2019	13.2	20.2	15.4	29/12/2019	17.6	27.4	21.9
9/10/2019	13.7	20.9	15.9	30/12/2019	18.7	29.3	22.2
10/10/2019	12	17.4	14.6	31/12/2019	19.5	28	22.6
11/10/2019	11.9	20.9	14.9	1/01/2020	19.2	28.7	22.8
12/10/2019	11.1	21	15.6	2/01/2020	18.7	26.1	21.9
13/10/2019	11.2	21.8	15.7	3/01/2020	19.3	27	22.8
14/10/2019	13	24.7	18.1	4/01/2020	20.1	28.3	23.2
15/10/2019	12	21.4	16.4	5/01/2020	19.7	28.3	23.1
16/10/2019	12.9	24.3	18.3	6/01/2020	17.8	27.4	22.4

17/10/2019	16	22.1	17.9	7/01/2020	18.9	27.3	22.7
18/10/2019	15.7	22.2	17.5	8/01/2020	20.9	27.7	23.5
19/10/2019	15.3	20.3	17.1	9/01/2020	20.6	26.7	22.7
20/10/2019	13.9	20.8	16.9	10/01/2020	19.3	27.2	22.9
21/10/2019	12.6	22.7	16.8	11/01/2020	19.1	26.9	21.5
22/10/2019	12.1	20.8	15.8	12/01/2020	19.5	27.1	22.1
23/10/2019	10.9	23.1	16.5	13/01/2020	17.3	27.7	22.1
24/10/2019	12.5	22.6	16.8	14/01/2020	18.4	26.6	22.0
25/10/2019	12.1	22.4	17.3	15/01/2020	19	28	22.7
26/10/2019	14.5	20.9	16.5	16/01/2020	19.6	27.1	22.9
27/10/2019	15.1	24.5	17.7	17/01/2020	19.4	27.4	22.5
28/10/2019	12.6	25.1	18.0	18/01/2020	19.9	23	21.4
29/10/2019	12.8	21.9	16.8	19/01/2020	20.5	27.4	23.1
30/10/2019	14	23.3	17.8	20/01/2020	19.9	26.8	22.7
31/10/2019	13.6	26.1	19.5	21/01/2020	20	27.7	22.8
1/11/2019	16.1	25.8	19.9	22/01/2020	21	27.9	23.7
2/11/2019	15.1	25.1	19.3	23/01/2020	22.8	30.3	25.0
3/11/2019	14.7	24	18.1	24/01/2020	22.2	30.1	25.5
4/11/2019	13.3	22.7	17.9	25/01/2020	21.9	31.2	26.2
5/11/2019	13.8	22.5	17.4	26/01/2020	21.1	30.4	24.7
6/11/2019	14.3	23.9	17.9	27/01/2020	20.2	28.4	23.8
7/11/2019	15.6	22.6	18.2	28/01/2020	22	25.6	23.3
8/11/2019	15.6	24.5	18.5	29/01/2020	22.7	29.5	25.3
9/11/2019	15.2	23.5	18.4	30/01/2020	20.3	30.1	24.7
10/11/2019	15.8	24	18.6	31/01/2020	20.3	28.6	24.0
11/11/2019	14.6	23.6	18.6	1/02/2020	21.7	28.6	23.8
12/11/2019	15.6	23	19.0	2/02/2020	20.9	29.3	24.3
13/11/2019	17	22.9	19.0				

Fuente: SENAHMI

Elaboración: Propia

Anexo 23: Costos de producción de maíz amarillo duro variedad DK- 7088

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL S/.	TOTAL S/.
A. COSTOS DIRECTOS					6536.5
MANO DE OBRA					2100
1. PREPARACION DE TERRENO					
Riego machaco0	Jornal	2	50	100	
2. SIEMBRA				0	
Siembra y abonamiento	Jornal	6	50	300	
3. LABORES AGRICOLAS				0	
Aplicación de plaguicidas	Jornal	6	50	300	
Abonamiento	Jornal	5	50	250	
Tomeo	Jornal	1	50	50	
Riego machaco0	Jornal	6	50	300	
Deshierbo	Jornal	2	50	100	
4. COSECHA					
Corte		4	50	200	
Despanque y desgrane	kg	10000	0.05	500	
MAQUINARIA E INSTRUMENTOS AGRICOLAS					4436.5
Aradura	Hora	4	80	320	
Gradeo	Hora	1	80	80	
Surcado	Hora	1	80	80	
INSUMOS					
1. SEMILLA	Kg	6.25	18	112.5	
2. FERTILIZANTE (50 KG)					
Urea	Bolsas	9	270	2430	
Cloruro potasio	Bolsas	5	70	350	
Super fosfato triple	Bolsas	7	100	700	
3. AGROQUIMICOS				0	
Granolate	kg	1	14	14	
4. AGUA					
Agua	m3	7000	0.05	350	
B. COSTOS INDIRECTOS	%				261.46
Gastos administrativos		2	Costos directos	130.73	
Asistencia técnica		2	Costos directos	130.73	
			TOTAL		6797.96

Fuente: MINAGRI

Elaboración: Propia

Anexo 24: Ahorro por tratamiento.

Segunda fertilización							
Bloques	Tratamientos	Según tratamiento dosis urea (kg/ ha)	Dosis según GreenSeeker de urea (kg/ha)	Ahorro en la aplicación de urea (kg/ha)	Costo de la urea (S/.)	Ahorro en Mano de Obra (S/.)	Ahorro Total (S/.)
B1	T3	40	5.12	34.88	188.38	200.00	388.38
B1	T4	60	0.00	60.00	324.00	200.00	524.00
B1	T5	80	3.47	76.53	413.24	200.00	613.24
B1	T6	100	1.77	98.23	530.44	200.00	730.44
B1	FR	120	0.00	120.00	648.00	200.00	848.00
B2	T3	40	1.15	38.85	209.79	200.00	409.79
B2	T4	60	1.15	58.85	317.79	200.00	517.79
B2	T5	80	2.27	77.73	419.72	200.00	619.72
B2	T6	100	0.58	99.42	536.87	200.00	736.87
B2	FR	120	0.00	120.00	648.00	200.00	848.00
B3	T3	40	4.46	35.54	191.90	200.00	391.90
B3	T4	60	3.93	56.07	302.78	200.00	502.78
B3	T5	80	0.00	80.00	432.00	200.00	632.00
B3	T6	100	1.73	98.27	530.68	200.00	730.68
B3	FR	120	0.00	120.00	648.00	200.00	848.00
B4	T3	40	1.69	38.31	206.85	200.00	406.85
B4	T4	60	1.69	58.31	314.85	200.00	514.85
B4	T5	80	0.00	80.00	432.00	200.00	632.00
B4	T6	100	2.25	97.75	527.87	200.00	727.87
B4	FR	120	0.00	120.00	648.00	200.00	848.00

Elaboración: Propia

Anexo 25: Rentabilidad en provincias de Lima sin emplear el sensor GreenSeeker

AÑO	PROVINCIA	RENDIMIENTO (kg/ha)	PRECIO (S./kg)	GANANCIA BRUTA (S./)	COSTO DE PRODUCCION (S./)	AHORRO (S./)	INVERSIÓN TOTAL (S./)	GANANCIA NETA (S./)	RENTABILIDAD (%)
2016	BARRANCA	10894	1.31	14271.14	6797.96	0.00	6797.96	7473.18	109.93
	CAÑETE	8177	1.31	10711.87	6797.96	0.00	6797.96	3913.91	57.57
	HURARAL	7828	1.31	10254.68	6797.96	0.00	6797.96	3456.72	50.85
	HUAURA	7201	1.31	9433.31	6797.96	0.00	6797.96	2635.35	38.77
	LIMA	8480	1.31	11108.80	6797.96	0.00	6797.96	4310.84	63.41
	BARRANCA	10250	1.39	14247.50	6797.96	0.00	6797.96	7449.54	109.58
	CAÑETE	9350	1.39	12996.50	6797.96	0.00	6797.96	6198.54	91.18
	HURARAL	8910	1.39	12384.90	6797.96	0.00	6797.96	5586.94	82.19
2017	HUAURA	7730	1.39	10744.70	6797.96	0.00	6797.96	3946.74	58.06
	LIMA	8400	1.39	11676.00	6797.96	0.00	6797.96	4878.04	71.76
	BARRANCA	10270	1.45	14891.50	6797.96	0.00	6797.96	8093.54	119.06
	CAÑETE	9350	1.45	13557.50	6797.96	0.00	6797.96	6759.54	99.43
2018	HURARAL	9040	1.45	13108.00	6797.96	0.00	6797.96	6310.04	92.82
	HUAURA	7810	1.45	11324.50	6797.96	0.00	6797.96	4526.54	66.59
	LIMA	8870	1.45	12861.50	6797.96	0.00	6797.96	6063.54	89.20
	BARRANCA	10940	1.27	13893.80	6797.96	0.00	6797.96	7095.84	104.38
2019	CAÑETE	9330	1.27	11849.10	6797.96	0.00	6797.96	5051.14	74.30
	HURARAL	8880	1.27	11277.60	6797.96	0.00	6797.96	4479.64	65.90
	HUAURA	8170	1.27	10375.90	6797.96	0.00	6797.96	3577.94	52.63
	LIMA	8010	1.27	10172.70	6797.96	0.00	6797.96	3374.74	49.64
2020	BARRANCA	10360	1.48	15332.80	6797.96	0.00	6797.96	8534.84	125.55
	CAÑETE	9390	1.48	13897.20	6797.96	0.00	6797.96	7099.24	104.43
	HURARAL	8730	1.48	12920.40	6797.96	0.00	6797.96	6122.44	90.06
	HUAURA	8300	1.48	12284.00	6797.96	0.00	6797.96	5486.04	80.70
2020	LIMA	8090	1.48	11973.20	6797.96	0.00	6797.96	5175.24	76.13

Fuente: SIEA

Elaboración: Propia

Anexo 26: Rentabilidad en provincias de Lima con el empleo del sensor GreenSeeker

AÑO	PROVINCIA	RENDI- MIENTO (kg/ha)	PRECIO (S/. /kg)	GANAN- CIA BRUTA (S/.)	COSTO DE PRODUC- CION (S/.)	AHORRO(S/.)	INVER- SIÓN TOTAL (S/.)	GANAN- CIA NETA (S/.)	RENTA- BILIDAD (%)
2016	BARRANCA	10894	1.31	14271.14	6797.96	731.46	6066.50	8204.64	135.46
	CAÑETE	8177	1.31	10711.87	6797.96	731.46	6066.50	4645.37	76.73
	HURARAL	7828	1.31	10254.68	6797.96	731.46	6066.50	4188.18	69.19
	HUAURA	7201	1.31	9433.31	6797.96	731.46	6066.50	3366.81	55.64
	LIMA	8480	1.31	11108.80	6797.96	731.46	6066.50	5042.30	83.28
	BARRANCA	10250	1.39	14247.50	6797.96	731.46	6066.50	8181.00	135.06
	CAÑETE	9350	1.39	12996.50	6797.96	731.46	6066.50	6930.00	114.43
	HURARAL	8910	1.39	12384.90	6797.96	731.46	6066.50	6318.40	104.33
2017	HUAURA	7730	1.39	10744.70	6797.96	731.46	6066.50	4678.20	77.27
	LIMA	8400	1.39	11676.00	6797.96	731.46	6066.50	5609.50	92.64
	BARRANCA	10270	1.45	14891.50	6797.96	731.46	6066.50	8825.00	145.69
	CAÑETE	9350	1.45	13557.50	6797.96	731.46	6066.50	7491.00	123.68
	HURARAL	9040	1.45	13108.00	6797.96	731.46	6066.50	7041.50	116.26
2018	HUAURA	7810	1.45	11324.50	6797.96	731.46	6066.50	5258.00	86.84
	LIMA	8870	1.45	12861.50	6797.96	731.46	6066.50	6795.00	112.20
	BARRANCA	10940	1.27	13893.80	6797.96	731.46	6066.50	7827.30	129.23
	CAÑETE	9330	1.27	11849.10	6797.96	731.46	6066.50	5782.60	95.49
	HURARAL	8880	1.27	11277.60	6797.96	731.46	6066.50	5211.10	86.07
2019	HUAURA	8170	1.27	10375.90	6797.96	731.46	6066.50	4309.40	71.19
	LIMA	8010	1.27	10172.70	6797.96	731.46	6066.50	4106.20	67.84
	BARRANCA	10360	1.48	15332.80	6797.96	731.46	6066.50	9266.30	152.97
	CAÑETE	9390	1.48	13897.20	6797.96	731.46	6066.50	7830.70	129.29
	HURARAL	8730	1.48	12920.40	6797.96	731.46	6066.50	6853.90	113.17
2020	HUAURA	8300	1.48	12284.00	6797.96	731.46	6066.50	6217.50	102.67
	LIMA	8090	1.48	11973.20	6797.96	731.46	6066.50	5906.70	97.54

Fuente: SIEA

Elaboración: Propia