

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA MECATRÓNICA**

“DISEÑO DE UN ROBOT DE RADIOFRECUENCIA
PARA EL ANÁLISIS DE TERRENOS DE CULTIVO
DE AGUACATE EN EL PERÚ”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Forma: Artículo científico

Autor:

Deivid Junior Yabar Gamarra

Asesor:

Mg. Ruth Aracelis Manzanares Grados

<https://orcid.org/0000-0002-1838-8598>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Neicer Campos Vasquez
	Nombre y Apellidos

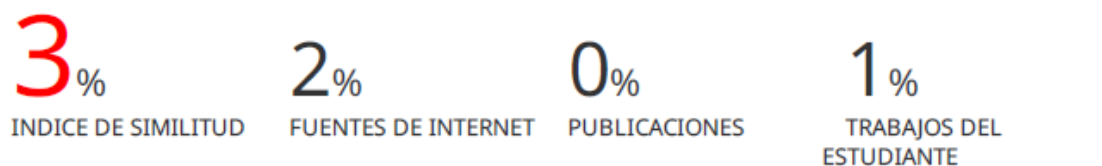
Jurado 2	Eduardo Martín Reyes Rodriguez
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Ruth Aracelis Manzanares Grados
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

Diseño de un robot de radiofrecuencia para el análisis de terrenos de cultivo de aguacate en el Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.dropbox.com Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi familia por el constante apoyo en mi formación profesional y personal, a mis amigos por compartir gratos momentos y afrontar diferentes desafíos a lo largo de esta travesía y a mi mentora por guiarme con su enseñanza y paciencia a desafiar mi potencial. Con gratitud dedico este logro por ser fuente de inspiración y motivo para superar mis límites y no rendirme.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Privada del Norte por ofrecerme un ambiente enriquecedor y su compromiso por la excelencia académica, al grupo de investigación GIADIPS por su guía y la oportunidad de contribuir a la investigación junto a personas tan dedicadas y apasionadas.

Tabla de Contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO III: RESULTADOS	19
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS	26

RESUMEN

El aguacate es una fruta con alta demanda de exportación, en el Perú con una economía basada en la agricultura, esta fruta ocupa el tercer lugar como producto agrícola de exportación. Para controlar una mejor calidad de producción de este fruto, es necesario un constante control de las características del suelo agrícola, sin embargo, en la actualidad esto se hace de forma lenta y costosa para el agricultor de baja o mediana producción, lo que genera mayores posibilidades de pérdida de plantaciones y en consecuencia, una disminución de las posibilidades de exportación y crecimiento económico. Por estas razones, se ha desarrollado un robot para el análisis de terrenos agrícolas en cultivos de aguacate mediante radiofrecuencia que permita un análisis de los diversos factores del suelo agrícola que influyen en el crecimiento de los aguacates, tales como: humedad, control de pH y macronutrientes como el Nitrógeno, Fósforo y potasio.

PALABRAS CLAVES: agricultura de precisión, robot, aguacate, radiofrecuencia.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El aguacate tiene una alta demanda en el mercado internacional, concentrado especialmente en América del Norte y Europa, que ha incrementado el 435% de la producción mundial entre 2000 y 2016 [1], de la cual el 90% proviene de México, Chile y Perú [2]. Perú es exportador de frutas, entre ellas: uvas, nueces, mangos, mandarinas, plátanos y aguacates [3], Perú ocupa el tercer lugar en la exportación de aguacates [4] teniendo dos temporadas principales de cultivo, la primera es de enero a marzo para el mercado local y el segundo es entre abril y junio para la exportación [5]. Solo en el mes de junio de 2022 la producción peruana de palta sumó 168.404 toneladas, con un crecimiento del 10,1% respecto a junio de 2021; con aumentos parciales del 42,5% al 4,5% en 13 departamentos del Perú [6].

Sin embargo, el aguacate es una fruta que merece especial atención debido al alto consumo de agua que requiere durante su ciclo de vida y con ello presenta un alto nivel de huella de carbono e hídrica [7]. Esto explica las diferencias en el destino de venta entre la primera y segunda temporada de cultivo en el Perú, ya que en la primera temporada, con destino al mercado local, se cosechan aguacates más pequeños, por el hecho de que se realiza entre los meses que consumen agua principalmente de las lluvias. Mientras que en el segundo período, se requiere agua de riego, para la producción de Europa, Gran Bretaña y América del Norte [5].

Es lógico pensar que el Perú, al tener el tercer lugar en exportación de palta a nivel mundial, deba enfatizar el análisis de las plantas en todo su ciclo de vida, principalmente en las primeras etapas y realizarlo de manera consistente, sin embargo, las plagas y los escasos

recursos económicos, provocan la disminución de la cosecha y rendimientos [8] generando pérdidas en los pequeños y medianos productores.

La medición de la humedad en el suelo agrícola de cultivos de aguacate es importante, para tener una medición constante para un mejor manejo del riego y sustentabilidad hídrica que se necesita más en lugares donde este elemento escasea [9]. Es muy importante controlar las propiedades del suelo agrícola por medio de sus características, un mal uso del agua provoca problemas de calidad del producto, maduración temprana y se incrementará la incidencia de plagas o posibles enfermedades de los frutos [10]. El requerimiento de agua de la planta se muestra en la Tabla 1.

TABLA I
REQUERIMIENTO DE AGUA - DENSIDAD DEL SISTEMA DE GOTEO DE 416 PLANTAS/HA, TEMPERATURA PROMEDIO 20-25OC [10]

Edad de la planta (Años)	Necesidad de agua (Litros/semana)
1 – 2	20 – 50
2 – 3	40 – 80
3 – 4	80 – 120
4 - 5	120 – 220
+5	400

El agua no es el único factor a monitorear en las plantaciones de aguacate, sino que se deben analizar otros factores, incluida la cantidad de macronutrientes, como Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), en la capa externa de los suelos, y el grado de acidez o basicidad mediante la medida del pH.

Los fertilizantes, especialmente aquellos que contienen nutrientes en NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) son una necesidad para el crecimiento de las plantas. El

nitrógeno (N) es fundamental para las reacciones químicas que ocurren en las células, y las plantas lo absorben para producir clorofila, a menudo el nitrógeno es la deficiencia nutricional más común en las plantas que no son leguminosas [11]. La deficiencia de este elemento produce un alargamiento anormal de la raíz que desencadena estrés hídrico con crecimiento de tallo atrofiado [12]. El fósforo (P) es un elemento básico de la vida, y para las plantas es un elemento esencial para la fotosíntesis [13], además es un componente fundamental del ácido ribonucleico (ARN) que, a su vez, es necesario para diversos procesos como la energética transferencia y metabolismo de proteínas [14]. El potasio (K) es necesario para las funciones fisiológicas de las plantas, con cantidades adecuadas ayudando al desarrollo de los árboles,

Se recomienda que el pH en suelos agrícolas esté en el rango entre 6 y 7.1, ya que presenta una mayor resiliencia al ciclo del Carbono (C), al ciclo del Nitrógeno (N), al cobre (Cu) y al estrés por calor. Es necesario mencionar que cuando un suelo tiene una medida menor a 6, se considera ácido, por lo que es más probable que tenga hongos desnaturalizantes que bacterias [17] con posibilidad de albergar Ca, Mn, Zn y Sr con una alta coeficiente de bioacumulación [18] evidencia de resistencia funcional.

Por otro lado, si la medición del pH del suelo es superior a 7,1, presenta un resultado alcalino, uno de los efectos es que puede reducir la absorción de metales pesados en las plantas, ya que el aumento de metales pesados altera la actividad normal de las comunidades microbianas del suelo [19]. Una acumulación excesiva de Cu puede afectar a las plantas al variar la absorción de minerales y la oxigenación de la misma planta, por lo que se debe monitorear constantemente el estado del suelo [20]. Esta acumulación de Cu no es la única razón por la que se debe tener un monitoreo constante del suelo, también incide en el

aumento de la industrialización, la población, el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes químicos, es la causa de que el suelo agrícola sea capaz de albergar metales tóxicos para las plantas, y consumidores [21]. Sin embargo, si la medida del pH llega a 7.8, la toxicidad del Cu se elimina por precipitación [22].

Respecto al cultivo del aguacate, tanto en la zona centroamericana como en el Perú, debido los cambios climáticos, se presentan dificultades que corresponden a dos criterios: el primero es que el suelo y el subsuelo se ven afectados por la compleja geografía y las pendientes que presenta, junto con la textura del suelo ante la diversidad de climas que esta tiene, y el segundo criterio es el bajo pH del suelo agrícola [23] por estas razones es importante la medición constante de la dosificación en los cultivos de aguacate.

Actualmente, existen dos formas de realizar un análisis de suelo agrícola en plantaciones de aguacate en el Perú, la primera es la toma de información in situ con personal especializado, sin embargo, este método se complica al tener plantaciones a gran escala, ya que requiere de personal más especializado, lo que incrementa los costos y tiempos de análisis de todo el terreno [24]. Otro método lo realizan vehículos aéreos no tripulados equipados con cámaras multiespectrales que son piloteados con personal especializado y con licencia de conducir. En ambas formas, se requiere personal calificado para realizar la recopilación y el análisis de datos.

Además, en cuanto a plagas que afectan al aguacate, se encuentran *Frankliniella occidentalis* o también llamados "trips" *Heliethrips hemorroidalis*, *Thrips tabaci*, o *Frankliniella* sp, que son los hospedadores naturales del aguacate [25] [26], alimentándose de tejidos blandos como la hoja yemas, hojas tiernas y frutos en desarrollo que afectan

inicialmente la superficie del fruto creando surcos o protuberancias, negándoles la posibilidad de exportación por su aspecto rugoso, provocando pérdidas importantes [27].

Por otro lado, las mejoras técnicas en la agricultura implican optimizar la eficiencia productiva, optimizar la calidad, minimizar el impacto ambiental y minimizar los riesgos relacionados con la producción, lo que corresponde a lo que se denomina la evolución hacia la agricultura 4.0, sin embargo, en la agricultura 4.0, no solo enmarca el desarrollo de robots, drones o tecnologías de la información y la comunicación (TIC), sino incorporar a los principales actores, los agricultores [28]

Este trabajo de investigación presenta el diseño de un robot que utiliza radiofrecuencia para el levantamiento y análisis de cinco factores: NPK (macronutrientes), humedad y pH en plantaciones de aguacate, dando como resultado mapas de colores graduados para una mejor comprensión del agricultor.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

En este documento se hará énfasis en el diseño electrónico del vehículo, sin embargo, se mencionarán las consideraciones que se han tenido durante el diseño mecánico del robot.

A. Diseño mecánico

El robot diseñado es un vehículo terrestre no tripulado con motores para tracción en viaje, con identificador de obstáculos para detectar y evadir objetos en medio del recorrido, Captura de imagen con cámaras instaladas para toma de datos de hojas, con toma de energía a través de paneles solares en la parte superior de la estructura externa del robot y baterías.

Para el diseño externo del robot se optó por utilizar biomimesis con la forma del Coccinellidae también conocida como mariquita, conocido insecto que además es un controlador natural de plagas, de *Frankliniella occidentalis*, sin embargo, se dispone de poca información sobre los efectos positivos de este insecto en el control de plagas [29]. En la figura 1. Se observa el uso de la biomimesis en el diseño exterior, con el fin de enseñar y concientizar a los agricultores sobre el uso de controladores naturales de plagas y evitar el uso de químicos que pueden traer efectos nocivos a la salud por su uso y por los efectos que pueden tener sobre los consumidores, también mitigar sus posibilidades de mejora económica y ser un producto exportable de acuerdo a los requerimientos de algunos países consumidores.



Fig. 1 Vista exterior del robot analizador de suelos de cultivos de aguacate.

B. Diseño eléctrico y electrónico

El robot debe registrar los datos necesarios de los cultivos de aguacate de cada planta, por lo que los lugares obligatorios de detección son cerca del tallo. Para que el robot realice su tarea de manera eficiente y con un mejor desempeño se consideraron dos sistemas, un sistema de radiocontrol y un sistema de almacenamiento de datos, ambos sistemas son alimentados por una sola fuente de energía. El sistema de radiocontrol se encargará de la interfaz del robot, mediante este se podrá controlar únicamente la locomoción del vehículo para maniobrar en casi cualquier dirección, por otro lado el sistema de almacenamiento se encargará únicamente de registrar las medidas del suelo, las cuales serán almacenadas para su posterior análisis en los diferentes programas y así obtener los datos específicos de cada sector del campo, obteniendo una mayor capacidad de almacenamiento para la toma de datos, Al dividirlo en dos sistemas se obtiene un rendimiento óptimo del robot, evitando sobrecargar la tarjeta de control con demasiados comandos, como se presenta en la Fig. 2

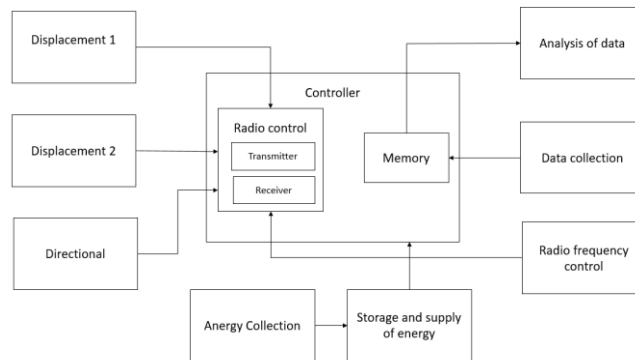


Fig. 2 Esquema electrónico de funcionamiento

La comunicación inalámbrica es una de las áreas de la tecnología que ha evolucionado con el tiempo y nos permite comunicarnos y procesar señales [30]. Los sistemas dinámicos pueden ser perturbaciones incontrolables o señales de control, estas últimas pertenecen a la parte continua del sistema, permitiéndonos controlar un robot de forma remota mediante sensores o manualmente [31]

Los dispositivos de radiofrecuencia nos permiten monitorear o controlar remotamente las acciones de otro dispositivo que tenga RF, [32]. Existen diferentes tipos de bandas, entre ellas la de 2.4 GHz, 868 MHz y 433 MHz, la más utilizada es la de 2.4 GHz, teniendo como características un uso libre a nivel mundial, sin embargo, al ser una de las más confiables suele ser una de las más saturadas, [33]. Es por eso que una alternativa confiable es la de 433 MHz, sin embargo, esta suele tener algunas restricciones en Europa, China, Australia y EE. UU.

Se decidió utilizar este método de comunicación, ya que nos permite hacer una conexión estable con el robot, teniendo un alcance de hasta 200 metros dependiendo de la antena, [32] Es posible comunicarse entre dos dispositivos de 433 MHz sin interferencia entre ellos, puesto que su frecuencia es inferior a 90 KHz [33]. Por otro lado,

se descartó el control remoto infrarrojo (IR) debido a que tiene un alcance menor, aproximadamente 5 metros, además de ser una transmisión lineal, por lo que debe apuntar directamente al dispositivo para realizar la conexión [32] siendo ineficiente para este trabajo de investigación.

C. Arquitectura del algoritmo

Para el funcionamiento del robot se consideró una secuencia al momento del análisis, como se muestra en la siguiente Fig. 3, el robot solo tomará medidas cuando esté parado y solo podrá avanzar cuando el sensor esté inactivo. Esto evitará cualquier tipo de accidente o mal funcionamiento que pueda afectar el correcto su desempeño o a la infraestructura del robot.

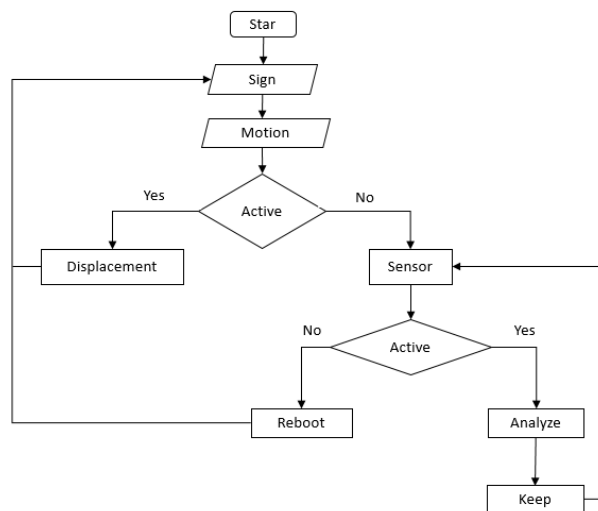


Fig. 3 Arquitectura del algoritmo operativo

D. Sistema de almacenamiento de datos

Se utilizó una memoria micro SD la cual permitió ampliar el almacenamiento para la recolección de datos, este realiza la toma cada vez que se detuvo el robot. La

información del sensor se obtuvo en formato .txt teniendo un reinicio en cada cambio de línea, lo que permite manejar la base de datos de una manera más ordenada y sencilla, en este caso se obtuvo un total de diez paquetes, con un total de diez muestras de datos por paquete, teniendo un total de 100 puntos de muestreo.

E. Viaje del robot de acuerdo con el arreglo de plantación

Gracias a las cámaras y al sistema inteligente de reconocimiento de obstáculos, el robot podrá hacer el recorrido en el cultivo de aguacates durante toda una hectárea. Se debe considerar que este robot ha sido diseñado teniendo en cuenta al pequeño o mediano productor, ya que es necesario una medición constante del suelo. En el mundo existen diversas matrices de cultivo de paltos de 20 x 20 metros, 10 x 10 metros, 5 x 5 metros hasta 2 x 2 metros [34], sin embargo, esto depende de la geografía y el clima. En el Perú, el Ministerio de Agricultura recomienda un sistema de plantación de marco rectangular,

Los puntos rojos significan parada o cambio de ruta del robot, la línea roja indica la ruta deseada del robot. Como es responsabilidad del agricultor tener los caminos o separaciones libres de posibles obstáculos, el robot ha sido diseñado para que solo se requiera una pista por cada dos columnas de árboles. Esto permite que el agricultor tenga más opciones para realizar el mantenimiento de forma constante.

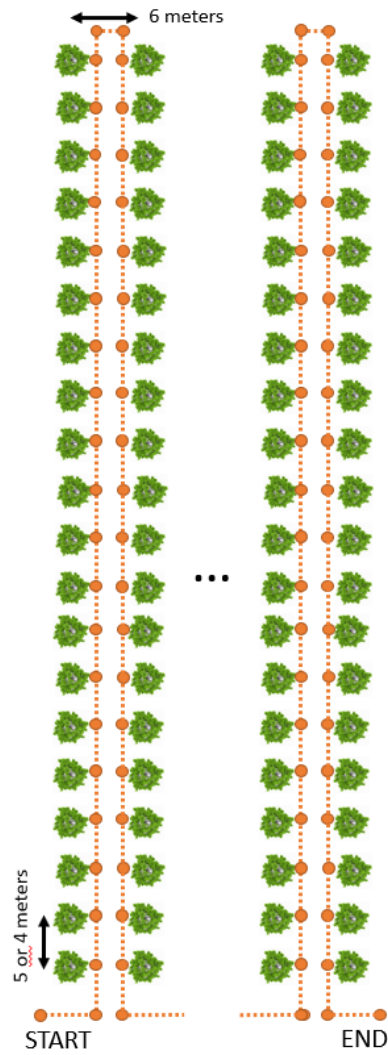


Fig. 4 Vista superior de la trayectoria del robot en una parcela de cultivo de aguacate

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Inicialmente, se creó un arreglo de los archivos con los diferentes datos, esto se hizo en el programa Excel, considerando que en las columnas se encuentran las diferentes características y en las filas el número de muestras que se obtuvieron, como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2
DATOS INICIALES

Point	Longitude_X	Latitude_Y	Nitrogen	Potassium	pH	Humidity	Phosphorus
1	-78.903	-7.219	676	2918	5.87	60.29	8.74
2	-78.906	-7.304	682	2926	5.65	60.68	9.13
3	-78.746	-7.21	694	2694	5.74	60.18	8.23
4	-78.744	-7.307	664	2630	5.82	60.66	7.08
5	-78.866	-7.215	645	2513	5.75	60.9	7.67
6	-78.779	-7.209	634	2714	5.56	60.76	9.12
7	-78.834	-7.213	681	2586	5.51	60.55	8.1
8	-78.811	-7.212	632	2865	5.63	60.63	9.62
9	-78.884	-7.217	655	2978	5.82	60.79	9.85
10	-78.758	-7.208	690	2855	5.9	60.27	9.02
11	-78.796	-7.21	620	2846	6.01	60.19	8.57
12	-78.849	-7.214	605	2975	6.13	61.93	9.37
13	-78.744	-7.283	616	2731	6.2	61.07	9
14	-78.744	-7.241	699	2757	5.58	60.79	7.77
15	-78.744	-7.226	678	2708	5.9	60.99	7.6

Con la información ya ordenada en Microsoft Excel, el programa ArcGIS puede importar los datos directamente. En cada punto donde se realizaron las lecturas se almacenaron 07 datos: los dos primeros datos geográficos (latitud y altitud) y los cinco restantes de las caracterizaciones del suelo (Humedad, pH, Nitrógeno, Fósforo y Potasio), generando una vista inicial sencilla de un mapa de puntos que simula el área del terreno, como se muestra en la Fig. 5.

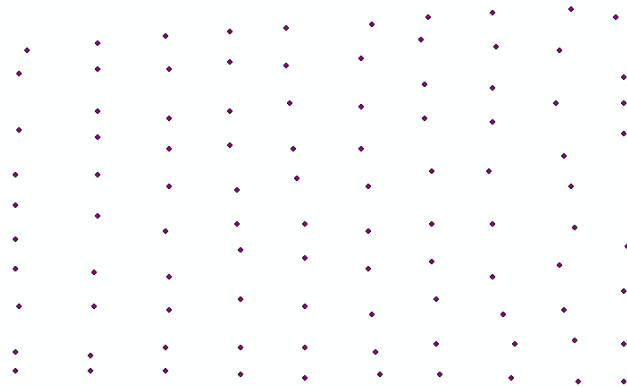


Fig. 5 Vista de mapa de puntos con datos recopilados

La Fig. 6 muestra cómo el programa ArcGIS almacena los datos, de modo que cada punto almacena el registro de los 7 datos mencionados anteriormente. Esto es de gran importancia para poder generar mapas multicapa en función de los datos que queramos observar.

FID	Shape *	Point	Longitud_X	Latitud_Y	Potasio	PH	Humedad	Fosforo
0	Point	1	-78.903	-7.219	2918	5.87	60.29	8.74
1	Point	2	-78.906	-7.304	2926	5.65	60.68	9.13
2	Point	3	-78.746	-7.21	2694	5.74	60.18	8.23
3	Point	4	-78.744	-7.307	2630	5.82	60.66	7.08
4	Point	5	-78.866	-7.215	2513	5.75	60.9	7.67
5	Point	6	-78.779	-7.209	2714	5.56	60.76	9.12
6	Point	7	-78.834	-7.213	2586	5.51	60.55	8.1
7	Point	8	-78.811	-7.212	2665	5.63	60.63	9.62
8	Point	9	-78.884	-7.217	2978	5.82	60.79	9.85
9	Point	10	-78.758	-7.208	2855	5.9	60.27	9.02
10	Point	11	-78.796	-7.21	2846	6.01	60.19	8.57
11	Point	12	-78.849	-7.214	2975	6.13	61.93	9.37
12	Point	13	-78.744	-7.283	2731	6.2	61.07	9
13	Point	14	-78.744	-7.241	2757	5.58	60.79	7.77
14	Point	15	-78.744	-7.226	2708	5.9	60.99	7.6
15	Point	16	-78.744	-7.297	2961	6.07	61.55	7.39
16	Point	17	-78.742	-7.251	2637	5.88	61.92	9.41
17	Point	18	-78.743	-7.271	2968	6	60.66	8.26
18	Point	19	-78.744	-7.233	2801	5.85	60.27	9.6
19	Point	20	-78.741	-7.26	2691	6.03	61.37	8.56
20	Point	21	-78.886	-7.304	2919	6.01	61.56	9.24
21	Point	22	-78.866	-7.304	2880	5.97	61.3	8.91
22	Point	23	-78.846	-7.305	2883	6	61.29	9.7
23	Point	24	-78.829	-7.306	2527	6.09	61.85	7.32
24	Point	25	-78.809	-7.305	2567	5.89	61.76	7.19
25	Point	26	-78.793	-7.305	2659	6.17	61.99	9.69
26	Point	27	-78.774	-7.306	2754	6.12	61.13	8.39
27	Point	28	-78.756	-7.307	2817	6.13	61	7.15
28	Point	29	-78.757	-7.296	2803	5.91	61.69	8.7
29	Point	30	-78.773	-7.297	2906	5.82	61.55	7.84
30	Point	31	-78.794	-7.297	2536	6.26	62.39	8.39
31	Point	32	-78.811	-7.212	2665	5.63	60.63	9.62

Fig. 6 Registro de los 7 datos para cada punto de recolección en el software ArcGIS

El primer dato que se puede observar es la concentración de nitrógeno en la tierra. Obteniendo una variación de la concentración dependiendo del lugar. Esto da como resultado un rango mínimo de 586 y una concentración máxima de 795 partes por millón (PPM), siendo los parámetros más bajos de color claro y un tono más oscuro como la concentración más alta, como se muestra en la fig. 7.

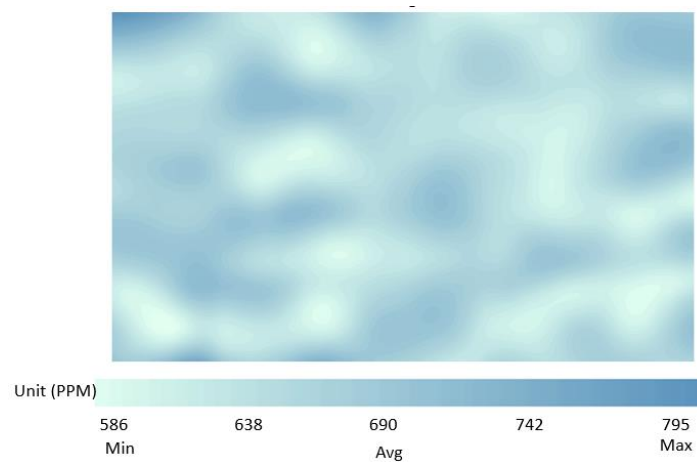


Fig. 7 Mapa de la concentración de nitrógeno

En la Fig. 8 se puede observar la variación de potasio en el suelo. Este nutriente es muy importante para las plantas ya que se absorbe en etapas tempranas y está asociado a su crecimiento, obteniendo lecturas mínimas de 2,29 y máximas de 3,56. Donde la menor concentración es de color claro y la mayor concentración de un tono más oscuro.

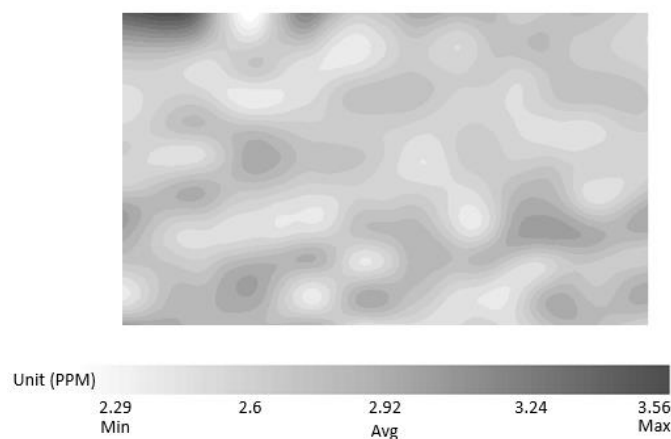


Fig. 8 Mapa de la concentración de potasio

En la Fig. 9 se puede observar que partes del terreno presentan una alta cantidad de acidez, para ello se consideró que la escala de colores de pH tiene una mejor lectura, teniendo como resultados mínimos 4.83 y 6.58 como máximos.

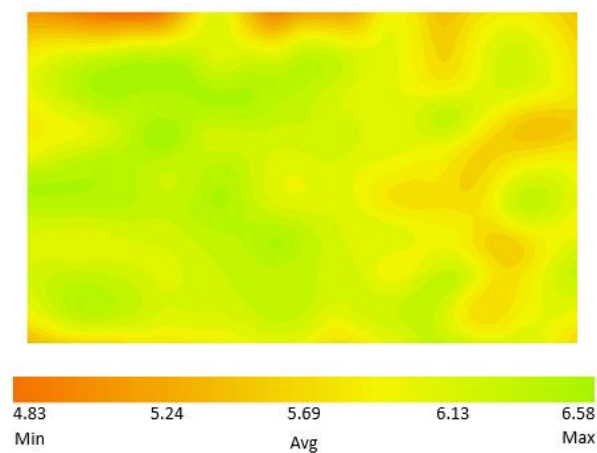


Fig. 9 Mapa de concentración de pH

La Fig. 10 muestra el porcentaje de humedad debajo de la capa superficial de la tierra a unos 3-5 cm, con una variación de rango de al menos 55% y un máximo de 67%. Teniendo menor humedad en las zonas de color claro y mayor porcentaje en las zonas oscuras.

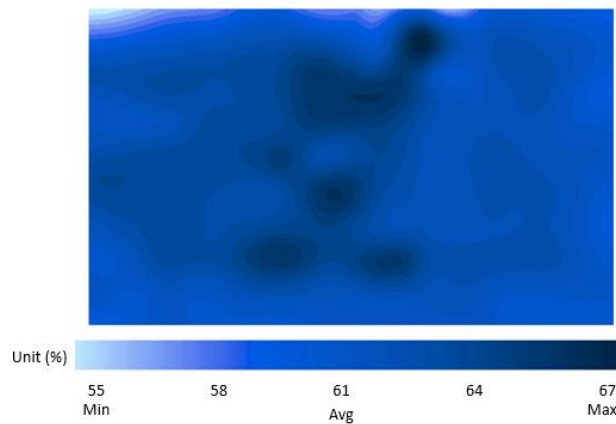


Fig. 10 Mapa de humedad superficial

La Fig. 11 muestra la concentración de fósforo en el suelo, resultando un mínimo de 6,15 ppm y un máximo de 12,19 ppm

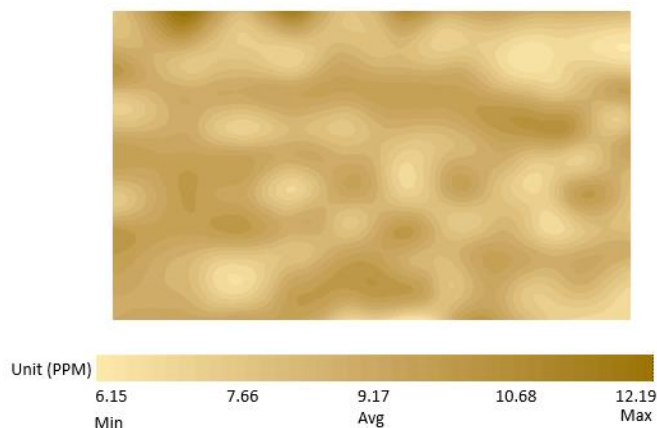


Fig. 11 Mapa de concentración de fósforo en tierras de cultivo

Con los resultados obtenidos se creó una interfaz fácil de usar, donde se puede visualizar con más detalle los diferentes datos recopilados, en la que se puede cambiar la información con solo hacer clic en el cuadro que necesita. Esta ventana muestra los datos máximos y mínimos en una escala de colores, así como el mapa del terreno, además de la desviación estándar, la suma y la media.

En la Fig. 12, se muestra la interface cuando se registran los resultados de Nitrógeno y Potasio, esto se verá de igual manera con pH, humedad y Fósforo.

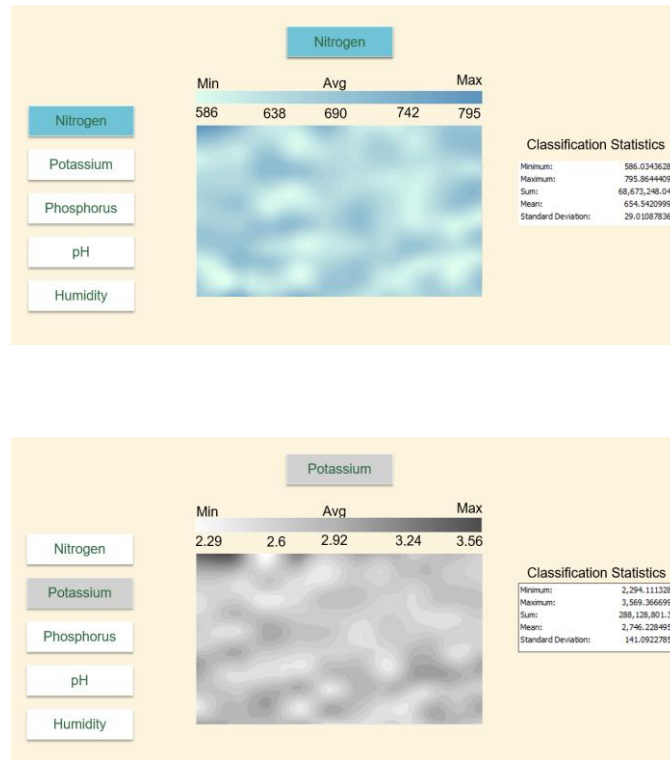


Fig.12 Vista de la interfaz que puede observar el agricultor al solicitar los resultados, en este caso, de Nitrógeno y Potasio

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

En el proceso de almacenamiento de datos, realizar la división de los datos por paquetes permite tener un mejor control sobre las mediciones, creando así una única matriz más ordenada que facilita su lectura y organización de los diferentes puntos de muestreo en el campo. Así se logró generar un mapa coroplejico de fósforo, potasio, nitrógeno, pH y humedad, ayudando a que se pueda visualizar con mayor claridad y rapidez los lugares más críticos del área de cultivo donde se requiere algún tipo de intervención por parte del especialista.

Las diferentes variaciones que presentan los diferentes datos, se debe a que el suelo no siempre está compuesto con la misma cantidad de nutrientes o concentración de minerales en toda el área, sino que esto puede variar debido a canales de riego, agua del subsuelo u otros desencadenantes. Lo que permite que esta forma de recolección de datos sea más confiable y efectiva, ya que se sabe cuál es el área afectada y se pueden tomar las acciones requeridas solo en esa parte, sin perjudicar otras partes del campo, por ende, mejor crecimiento de las plantas y se puede generar un ahorro económico para los agricultores.

Gracias al diseño y la interfaz del robot se consigue tener un manejo intuitivo que permite maniobrarlo con precisión y tener una conexión estable en todo momento, permitiéndonos recopilar datos de forma más rápida y segura, esto se debe a que los sistemas al estar formado por dos partes permite un mejor funcionamiento, además que interactúan entre sí, facilitando al robot realizar la toma de datos cuando se detiene, salvaguardando así la estructura y funcionamiento de este.

REFERENCIAS

- [1] D. Caro, A. Alessandrini, F. Sporchia y S. Borghesi, "Comercio mundial virtual de agua de aguacate", *Journal of Cleaner Production*, vol. 285, págs. 1-8, 2021.
- [2] R. Pedreschi, E. Ponce, I. Hernández, C. Fuentealba, A. Urbina, J. González-Fernández, J. Hormaza, D. Campos, R. Chirinos y E. Aguayo, "Short vs. Long-Distance Avocado Cadenas de suministro: impacto de la evaluación del ciclo de vida asociado con el transporte y el efecto del origen de la fruta y la cadena de condiciones de suministro en los metabolitos primarios y secundarios", *Foods*, vol. 11, n.º 12, 2022.
- [3] INEI, "EXPORTACIONES DE FRUTAS Y FRUTOS CRECIERON 805,4% EN LOS ÚLTIMOS 12 AÑOS," 15 Enero 2015. [En línea]. Disponible: https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/np_04_2015.pdf. [Último acceso: 15 de enero de 2023].
- [4] O. Ramirez, J. Cruz y W. Machaca, "Planta Agroindustrial para la Clasificación de Aguacates Hass en Tiempo Real con Arquitectura ResNet-18," 2021 5th International Conference on Robotics and Automation Sciences, ICRAS 2021, pp. 206-210, 2021.
- [5] I. Vásquez-Rowe, "En defensa del aguacate: una perspectiva del ciclo de vida", *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 27, nº 8, págs. 1035-1037, 2022.
- [6] INEI, "PRODUCCIÓN DE PALTA SE INCREMENTÓ EN 13 DEPARTAMENTOS Y CRECIÓ 10,1%," 24 agosto 2022 - N°140. [En línea]. Disponible: <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-140-2022-inei.pdf>. [Último acceso: 10 de enero de 2023].
- [7] X. Esteve-Llorens, D. Ita-Nagy, E. Parodi, S. González-García, M. Moreira y G. Feijoo, "Huella ambiental de productos agroexportadores críticos en la costa hiperárida peruana: un estudio de caso para espárragos verdes y aguacate", *Science of the Total Environment*, vol. 818, 2022.

- [8] B. Rivadeneyra y S. Huamán, "Método de detección de anomalías en hojas de Persea americana con imágenes térmicas y NGRDI", Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 202, págs. 287-296, 2021.
- [9] NN Kourgialas y Z. Dokou, "Gestión del agua y enfoques de adaptación a la salinidad de los árboles de aguacate: una revisión del clima mediterráneo de verano caluroso", Gestión del agua agrícola, vol. 252, 2021.
- [10] MINAGRI, Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas en el Cultivo de Palto, Lima: MINAGRI, 2010.
- [11] J. Havlin, S. Tisdale, W. Nelson y J. Beaton, Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management, 8th Edition ed., Pearson Education, 2013.
- [12] X. Sun, F. Chen, L. Yuan y G. Mi, "El mecanismo fisiológico subyacente al alargamiento de la raíz en respuesta a la deficiencia de nitrógeno en las plantas de cultivo", Planta, vol. 251, n.º 4, 2020.
- [13] H. Lambers, "Adquisición y utilización de fósforo en plantas", Revisión anual de biología vegetal, vol. 73, págs. 17-42, 2022.
- [14] ED Lawrence, Nutrición mineral y enfermedades de las plantas, Minnesota: Amer Phytopathological Society, 2007.
- [15] E. Lahav, M. Bareket y D. Zamet, "California Avocado Society," de EXPERIMENTO DE FERTILIZANTE DE POTASIO CON ÁRBOLES DE AGUACATE EN SUELOS PESADOS, California, Volumen 60, 1976, pp. 181-186.
- [16] J. Rawat, P. Sanwal y J. Saxena, "Potassium and Its Role in Sustainable Agriculture," 2016, pp. 235-253.
- [17] X. Shu, T. Daniell, P.-. Hallett, E. Baggs y B. Griffiths, "El pH del suelo modera la resistencia y resiliencia de los ciclos de C y N al estrés transitorio y persistente", Applied Soil Ecology, vol. 182, 2023.
- [18] S. Bravo, JA Amorós, C. Pérez-de-los-Reyes, FJ Gacría, MM Moreno, M. Sánchez-ORmeño y P. Higuera, "Influencia del pH del suelo en la absorción y bioacumulación de metales pesados (Fe, Zn, Cu,

Pb y Mn) y otros elementos (Ca, K, Al, Sr y Ba) en hojas de vid, Castilla-La Mancha (España)", *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 174, págs. 79-83, 2017.

[19] N. Kourgialas y Z. Dokou, "Gestión del agua y enfoques de adaptación a la salinidad de los árboles de aguacate: una revisión del clima mediterráneo de verano caluroso", *Gestión del agua agrícola*, vol. 252, 2021.

[20] X. Zheng, G. Han y B. Liang, "Distribución de Cu en suelos agrícolas con diferentes usos de la tierra a través del análisis de isótopos estables", *Indicadores ecológicos*, vol. 146, 2023.

[21] OT Kayode, AP Aizebeokhai y AM Odukoya, "Evaluación geofísica y de contaminación de la variabilidad espacial del suelo para una agricultura de precisión sostenible en la granja de Omu-Aran, centro norte de Nigeria," *Heliyon*, vol. 8, n.º 2, 2022.

[22] D. Fernández-Calviño y E. Bååth, "Interacción entre el pH y la toxicidad del Cu en el desempeño de hongos y bacterias en el suelo", *Biología y bioquímica del suelo*, vol. 96, págs. 20-29, 2016.

[23] R. Grüter, T. Trachsel, P. Laube y I. Jaisli, "Adecuación global esperada de café, anacardo y aguacate debido al cambio climático", *PLOS ONE*, vol. 17, n.º 1, 2022.

[24] M. Castillo-Guevara, F. Palomino-Quispe, A. Alvarez y R. Coaquira-Castillo, "Análisis del estrés hídrico utilizando imágenes aéreas multiespectrales de un cultivo de aguacate", *Actas de la Conferencia Internacional de Investigación de Ingeniería IEEE 2020, EIRCON 2020*, 2020 .

[25] G. Bara y M. Laing, "Determinación del estado de huésped natural de la fruta del aguacate para los trips (Thysanoptera: Thripidae) en KwaZulu-Natal, Sudáfrica", *African Entomology*, vol. 27, núm. 1, págs. 245-253, 2019.

[26] H. Espino, A. Mendoza, J. Espino y V. Gómez, "Comportamiento de búsqueda y capacidad depredadora de *Chrysoperla externa* en *Frankliniella occidentalis*", *Southwestern Entomologist*, vol. 42, núm. 2, págs. 463-476, 2017.

- [27] F. Maldonado, J. Ramírez, M. Rubí, X. Antonio, A. Lara , A. Acosta , R. Rivera y A. Ávila, "Modelado del comportamiento espacial de *Frankliniella occidentalis* (thysanoptera: Thripidae) en cultivo de aguacate," *Phyton-Revista internacional de botánica experimental*, vol. 86, págs. 97-111, 2017.
- [28] S. Santos Valle y J. Kienzle, *Agricultura 4.0 - Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible*, Roma: FAO, 2021.
- [29] GC Orta, HA Álvarez, F. Madeira y R. Albajes, "La influencia de los períodos de siembra en la abundancia de herbívoros y enemigos naturales en las trampas pegajosas amarillas en los campos de maíz Bt", *Insectos*, vol. 13, n.º 4, 2022.
- [30] SM a. CKMA Maiti, RF Laboratory for Engineering Education, India: IEEE Cuarta Conferencia Internacional sobre Tecnología para la Educación, 2012.
- [31] MO a. AA Ammo, "Diseño y desarrollo de un sistema de control de retroalimentación híbrido para un robot controlado a distancia por RF", Beirut: Conferencia internacional sobre avances en herramientas computacionales para aplicaciones de ingeniería, 2009.
- [32] SKAK a. RAT Ramachandran, "Control y operación basados en radiofrecuencia (RF) de aparatos eléctricos/electrónicos en el hogar/oficinas", Delhi: Conferencia internacional IEEE, 2018.
- [33] KZNM a. PJMHG Yang, "Encontrar la configuración óptima para una radio de 433 MHz para comunicación de largo alcance, Shanghai", II Congreso Internacional de Ciencias de la Información e Ingeniería de Control, 2015.
- [34] MH Idris, S. Latifah, B. Setiawan, IML Aji y DP Sari, "Vegetación y carbono del suelo bajo varios tipos de gestión forestal: caso del bosque comunitario Karang Sidemen en Lombok, Indonesia oriental", *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, vol. 16, núm. 6, págs. 641-648, 2021.