

Mapeo de la variabilidad del suelo y posibles impactos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Enviado - 25 jun. 2021

Aprobado - 21 jul. 2021

Publicado - 06 ago. 2021



<http://dx.doi.org/10.52755/sas.v2i2.121>

Diego Javier Perez Ortega

Docente y director del grupo de investigación ESLINGA de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Pasto. Correo electrónico: diego.perezortega@campusucc.edu.co.

Jorge Andres Segovia Ortega

Estudiante de maestría del programa de Ciencias Ambientales de la "Universidad Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho" Sorocaba Sao Paulo, Brasil. Correo electrónico: jorgesegovia2206@gmail.com.

Fabio Andres Bolaños

Decano de la facultad de Ingeniería de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Pasto. Correo electrónico: fabio.bolanos@ucc.edu.co.

Edgar Dario Obando

Docente de la facultad de Ingeniería de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Pasto. Correo electrónico: edgar.obandop@campusucc.edu.co.

Alexandre Marco Da Silva

Profesor de la UNESP Universidad Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho" en el Instituto de Ciencia Tecnología e Innovación de Sorocaba, Brasil. Correo electrónico: alexandre.m.silva@unesp.br.

RESUMEN

La papa es un alimento básico en la dieta diaria de la población Colombiana y de Latinoamérica, donde en Nariño su producción es masiva y es un muy importante producto agrícola y base de la seguridad alimentaria en toda Colombia, de allí su estimación, donde, debido a los extensos monocultivos se ha convertido en el cultivo con mayor cantidad de incidencia de plagas y enfermedades. Aquí radica, la urgencia e importancia de esta metodología que plantea soluciones al implementar tecnologías y dispositivos como drones y sensores de diferentes tipos que ayuden a determinar variables que influyan en esta incidencia de estas plagas, y que reduzcas las pérdidas tanto en producción cuanto en calidad. De allí que este estudio realizado en el corregimiento de Obonuco, tuvo como finalidad analizar algunas variables simples del cultivo de papa, encontrando así valores de temperatura promedio de 15.7 °C, un rango de pH de 7.3, una conductividad promedio muy baja de 0.07 $\mu\text{S/m}$, la humedad relativa fue de 57,18%, donde al mapear estas variables se generaron varios segmentos de fácil comprensión al productor que genero buenas recomendaciones para la toma decisiones al momento de controlar plagas, enfermedades y contrarrestar la mal formación de los tubérculos, sobre todo en el segmento donde se tenía mayor valor de humedad ya que al mantener esta variable moderada se asegura un buen control de plagas por podrición del cultivo de papa que es muy incidente en la zona de estudio.

Palabras clave: insumos; sensores; plagas y enfermedades; monocultivo.

Mapping of soil variability and possible impacts on the potato crops (*Solanum tuberosum*)

Este es un trabajo de acceso abierto y distribuido bajo los Términos de Creative Commons Attribution Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.



ABSTRACT

The potato is a staple in the daily diet of the Colombian and Latin American population, where in Nariño its production is massive and it is a very important agricultural product and the basis of food security throughout Colombia, hence its estimate, where, due to the extensive monocultures it has become the crop with the highest incidence of pests and diseases. Herein lies the urgency and importance of this methodology that proposes solutions when implementing technologies and devices such as drones and sensors of different types that help determine variables that influence this incidence of these pests, and that reduce losses both in production and in quality. Hence, this study carried out in the Obonuco district, aimed to analyze some simple variables of the potato crop, thus finding average temperature values of 15.7 °C, a pH range of 7.3, a very low average conductivity of 0.07 $\mu\text{S} / \text{m}$, the relative humidity was 57.18%, where when mapping these variables, several segments were generated that could be easily understood by the producer, which generated good recommendations for making decisions when controlling pests, diseases and counteracting the bad formation of tubers, especially in the segment where there was a higher humidity value since by keeping this variable moderate, a good control of pests due to rotting of the potato crop is ensured, which is very incident in the study area.

Keywords: *inputs; sensors; pests and diseases; monoculture.*

Mapeamento da variabilidade do solo e possíveis impactos sobre a cultura da batata (*Solanum tuberosum*)

RESUMO

A batata é um alimento básico na dieta diária da população colombiana e latino-americana. No Departamento de Nariño sua produção é massiva, sendo um produto agrícola muito importante e base da segurança alimentar na Colômbia. Pelo fato de ser cultivada extensivamente como monocultura, tornou-se a cultura com maior incidência de pragas e doenças na região. Assim se justifica a urgência e a importância desta metodologia que propõe soluções na implementação de tecnologias e dispositivos como drones e sensores de diferentes tipos que ajudam a determinar variáveis que influenciam a incidência destas pragas, e que reduzem as perdas tanto na produção como na qualidade do produto. Assim, este estudo realizado no distrito de Obonuco, teve como objetivo analisar algumas variáveis simples da cultura da batata. Observou-se valores médios de temperatura de 15,7 °C, um intervalo de pH de 7,3, uma condutividade média muito baixa de 0,07 $\mu\text{S}/\text{m}$, umidade relativa do ar de 57,18%. Por meio do mapeamento dessas variáveis foram gerados diversos segmentos que podem ser facilmente compreendidos pelo produtor, gerando recomendações para a tomada de decisões no controle de pragas, doenças e no combate à má formação de tubérculos, principalmente no segmento onde observou-se maior umidade, pois ao manter essa variável moderada, é garantido um bom controle de pragas, além de evitar o apodrecimento da cultura da batata, o que é muito incidente na área de estudo.

Palavras-chave: *insumos; sensores; pragas e doenças; monocultura.*

Introducción

La agricultura de precisión se enfoca en maximizar los rendimientos del suelo, donde actualmente el indiscriminado uso del uso de pesticidas y fertilizantes químicos en cierta medida ha ayudado a alimentar la población humana en auge y creciente. solo que con graves consecuencia para el medio ambiente ya que esto acelera la pérdida del ecosistema, lo que ha conllevado a impactos macro como el calentamiento global, la aparición y

reaparición de nuevos parásitos que antes se consideraban "controlados", la deforestación tropical en búsqueda de nuevas tierras aptas para monocultivos, la matanza de insectos y plantas beneficiosos para todo el ecosistema global que trae consigo la degradación y agotamiento del mismo suelo del que dependen todas las especies (NIKOLA *et al.*, 2019).

La agricultura sumada con la tecnología vanguardista proporciona diferentes métodos que mejoran la toma de decisiones y gestión de los cultivos, aumenta así la productividad de los cultivos, y disminuyendo el uso de recursos como tiempo, agua, espacio y fertilizantes químicos. Esto es lo que actualmente se conoce como la agricultura de precisión la cual su aplicación ha tenido un gran impacto y está en continuo crecimiento (GAGO *et al.*, 2015).

En Nariño el cultivo de papa conjuga a 25 mil familias, de las cuales se derivan 3.600.000 jornales anuales y mas de 350 mil empleos indirectos. Este es el mayor empleador del sector rural, debido a su alto requerimiento de mano de obra y por la alta participación de todos los integrantes de la familia. El cultivo de la papa en Nariño es caracterizado por ser un sistema de producción de economía campesina minifundista donde el 80% de los productores posee explotaciones de entre 0.5 a 3.0 hectáreas localizadas en mas de un 70% en zonas de laderas Secretaria De Agricultura y Desarrollo Rural (2019).

La tecnología de agricultura de precisión está diseñada para proporcionar información y datos para ayudar a los agricultores a tomar decisiones de gestión específicas del sitio, al tomar decisiones de manejo más informadas y actualizadas, los agricultores pueden ser más eficientes, reducir los costos y ser más rentables, sabiendo que en Nariño esto es urgente debido a que los productores son minifundistas (MAHAJAN; RAJ, 2017).

El cultivo de papa es uno de los más destacados en la producción agrícola de Nariño ya que por su ubicación geográfica, es un departamento con un clima templado- frio. La planta de papa necesita una temperatura en

torno a los 13 y 18°C, para poderse desarrollar y dar un fruto de calidad, (AMÉNDOLA *et al.*, 2005).

Con este trabajo se realizaron la toma de datos durante el 3 al 5 mes la fase de llenado de los tubérculos del cultivo de papa, donde se buscó generar información de la dinámica de los predios de los productores de papa, ya que al implementar los mapas generados en el software como ArcGIS, se incrementaron tanto la eficiencia en el uso de insumos, conllevando así un aumento en la productividad por medio del estudio y entendimiento de las variables que interfieren en la producción como: pH, conductividad eléctrica, humedad del suelo.

Material y métodos

Área de estudio: Ubicación y características ambientales

Según el Plan de Ordenamiento Territorial - POT. El corregimiento de Obonuco tiene 26,4 km² y de la cual su extensión agrícola es más del 90%. Se encuentra localizado al occidente de la ciudad de Pasto, por aquí se abren paso la quebrada del río Mijitayo el cual tiene su nacimiento en el volcán galeras y que abastece de agua a Empopasto, desde este mismo punto nace la quebrada Mideros que recorre los predios del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, en la parte conocida como el sismógrafo del ICA es aprovechada de la siguiente manera:

El corregimiento de Obonuco limita de la siguiente manera: Al norte limita con los lirios y la planta de acueducto urbano Empopasto, al sur limita con los corregimientos de gualmatan y jongobito. al oriente: limita con los barrios altamira y las palmas y al occidente limita con la reserva natural de las galeras. Su cabecera Obonuco Centro. Veredas: Santander, San Felipe Alto, San Felipe Bajo, San Antonio, Bellavista, La Playa, Mosquera, su Latitud: 1.1981, Longitud: -77.3096, y donde su ubicación en coordenadas es 1°12'36" N, 77°16'29" W. (POT, 2014) (**Figura 1**).

Referente al régimen climático del corregimiento de Abonuco y el de la región Andina de Nariño está regulado por las variaciones de los

fenómenos ecuatoriales. La importancia del clima es tan elevada y alcanza a tantos aspectos de la vida humana, que su consideración resulta imprescindible en estos estudios. Para el análisis climatológico del corregimiento de Abonuco, se utilizó información meteorológica suministrada por el DANE (2018).

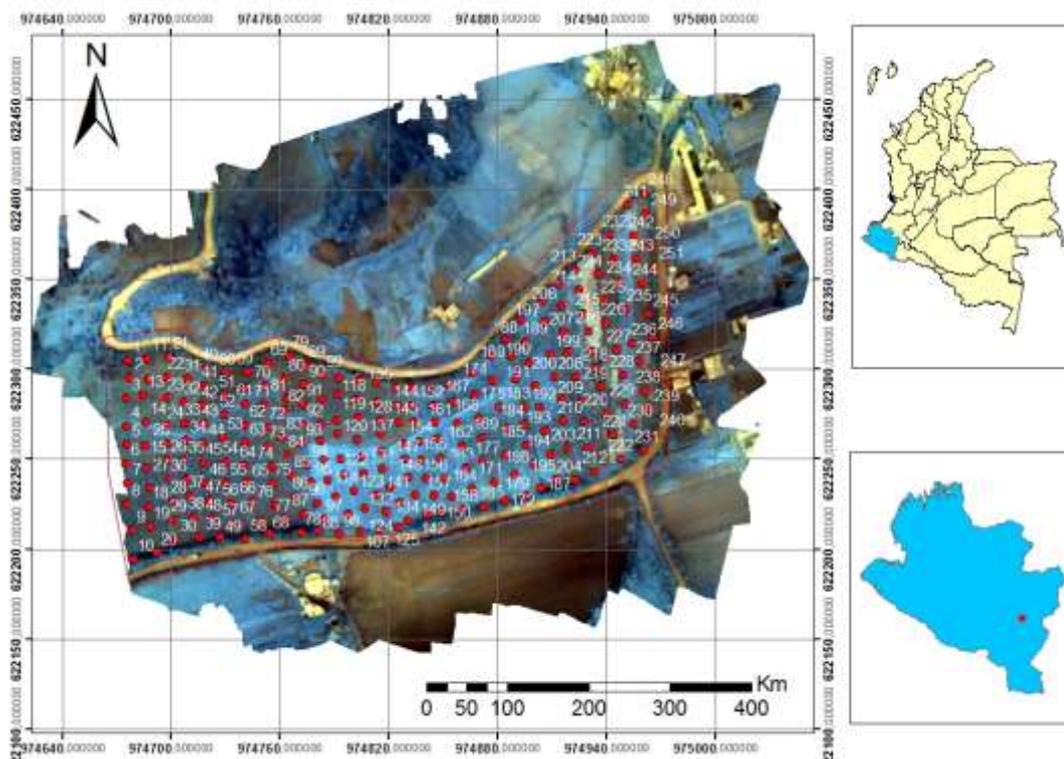


Figura 1. Localización del corregimiento de Obonuco en el Departamento de Nariño, Colombia. Sistema de coordenadas cartesianas MAGNA-SIRGAS Origen Cali.

Sobre el clima de Obonuco, este está regulado la región andina de Nariño con variaciones de fenómenos ecuatoriales identificados por la estación meteorológica localizada en Obonuco, situada a 2,790 msnm, tiene una precipitación media anual de 815,4 mm, una temperatura media de 13,1°C y la humedad relativa promedio es de 73%, respectivamente. Sobre el registro de los vientos se tiene valores promedio de 17.1 m/s (DANE, 2018).

Referente a los suelos, estos son de relieves ondulados con pendientes entre los 3 y 20% donde su origen es volcánico con altos contenidos de materia orgánica que varían entre 8 y 19%. Los suelos de

esta región son muy profundos y muy bien drenados y de alta fertilidad pertenecientes al grupo textural franco (POT, 2014; IGAC, 2004).

Esta investigación se realizó con lo objetivo de implementar modelos descriptivos, inferenciales y si posible predictivos en el cultivo de papa creando un nuevo método de recolección de información, e identificación de variables que influyen en los sistemas de producción agrícola en Nariño, además de comprender el uso de técnicas para el tratamiento y análisis de la información generada en campo mediante los sistemas de información geográfica y la especialización de datos.

Inspección de la zona

Antes de empezar el levantamiento de información se hizo necesario realizar una inspección de la zona en donde se llevó a cabo el estudio, esto con el objetivo de identificar las condiciones del terreno como nivel de vegetación, pendientes, amplitud de la zona, así mismo identificar los peligros para el vuelo como cableado eléctrico, postes, árboles, etc. Así mismo es recomendable realizar una inspección digital por medio de un archivo Kmz, en la plataforma de Google Earth.

A continuación, se enuncian los equipos y sensores utilizados para cumplir los objetivos de este trabajo (**Tabla 1**).

Tabla 1. Equipos necesarios para esta investigación.

EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
DRON DJI Mavic Pro	Drone plegable, cámara de grabación 4K estabilizada, alcance 65Km/h radio control distancia de 7 Km, transmisión en directo de 1080P/ 20P, 5 sensores visuales, GPS, Glonass, 2 sensores telemétricos, sensores redundantes.	1
Cámara de inspección de cultivos Sentera NDVI Single Sensor (DJI Mavic Pro /	Modelo Sentera NDVI Single Sensor, senso 1.2MP CMOS con una instantánea global, dimensiones 25.4 mm x 33.8 mm x 37.3 mm, peso 30 gramos, rango de voltaje de entrada. El sensor Sentera ofrece información sobre el estado de los cultivos con una resolución 4K. índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y las imágenes RGB de alta	1

Platinum)	<p>resolución.</p> <p>Captura de datos - Resolución: Imágenes fijas de 12.3MP, Vídeo 4K Ultra HD a 30 fps, Vídeo de 1080p / 720p, Codificación H.264</p> <p>Bandas espectrales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Azul: 446nm x 60 nm de ancho • Verde: 548 nm x 45 nm de ancho • Rojo: 650 nm x 70 nm de ancho • Borde rojo: 720 nm x 40 nm de ancho • Infrarrojo cercano (NIR): 840 nm x 20 nm de ancho <p>Interfaces:</p> <p>Ethernet, serie / UART. USB 3.0, I2C, GPIO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Configuración de cámara basada en web • Control de botón para una sola foto y seleccionar modo <p>De 5 V a 40 V, formato de imagen JPEG, TIFF, número de cuadros por segundo a una resolución de 1.2MP: 15 cuadros por segundo, con video 720p: 24 cuadros por segundo, ranura para tarjeta de memoria tarjeta SD, hasta 32GB, campo de visión 60° HFOV, configurable en la aplicación, las interfaces Ethernet, serial / UART, USB 3.0, I2C, GPIO, botón de imagen única y selección de modo.</p>	
Medidor de pH, metro sensor SONKIR 3 en 1.	<p>El medidor 3 en 1: Prueba la humedad del suelo, el valor de pH y el nivel de luz solar de la planta con nuestro medidor MS02, te ayuda rápidamente a especializarte en el agarre cuando necesites agua tu planta, controlar el valor de pH en el suelo y saber si obtiene suficiente luz solar.</p>	120
Sensor de conductivida d - agro line HI98331	<p>El HI98331 cuenta con un electrodo de penetración de acero inoxidable que proporciona la capacidad de tomar medidas directas en el suelo. Cuando se necesita calibración, simplemente sumergir la punta del electrodo en la solución de calibración e ingresar al modo de calibración para la calibración automática de 1 punto.</p>	120
Sensor HALTHEN	<p>El HALTHEN ideal para medir la temperatura y la humedad relativa en espacios cerrados. Implementado para la conservación de medicamentos o de alimentos.</p>	120

Procedimientos de interpolación de los datos recopilados en campo con los sensores

Se realizó un sistema para la recolección de datos de variables elegidas para esta investigación, como: la temperatura del suelo y del ambiente, humedad relativa, humedad del suelo, pH, conductividad eléctrica y brillo solar de la zona. Se muestrearon 251 puntos autenticados para la obtención de esta información, utilizando herramientas como el servicio web, sensores de fenómenos físicos vinculados a la red y aplicaciones para comunicación entre estos, paralelo a esto se hicieron lecturas manuales de los sensores que no tenían conectividad. La recolección de datos se dio durante 3 meses del año siendo los meses de noviembre, diciembre del 2020 y enero del 2021, meses de épocas de lluvias en el Departamento de Nariño, generando información de una manera rápida (**Figura 1**).

Referente a la interpolación se utiliza el software ArcGIS 10.3 donde en su caja de herramientas contiene la interpolación de Raster y la herramienta utilizada para esta interpolación fue (interpolación mediante distancia) IDW la cual es inversa ponderada que determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra.

Esta ponderación fue la más acorde, respecto de las otras que contiene el Software de las cuales se nombran (Kriging, Natural Neighbor, Spline, Topo Raster y Trend) esta ponderación es una función de la distancia inversa, la cual la superficie que se interpola es una variable dependiente de la ubicación, además, este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. (ArcGIS Desktop On line, 2021).

Calibrado del dron

El modelo utilizado fue el Phantom 4 advance de la marca DJI es un dron profesional de simple manejo y ajustarlo con la cámara multispectral Single-NIR de Sentra, se utilizó la App DroneDeploy, donde se estableció la ruta automática de vuelo autónomo para el dron, además se calibró la altura a 65 m de altura y velocidad de vuelo dependido del detalle de las imágenes de

2.3 m.s⁻¹, ángulo de inclinación de la cámara, porcentaje de sobre posición de las fotografías y cantidad de las mismas (FAO *et al.*, 2021).

El objetivo principal de este paso fue cubrir cada parte del terreno para llevar a cabo un levantamiento de imágenes correcto (**Figura 2**).



Figura 2. Calibrado del vuelo con DroneDeploy.

Levantamiento de fotografías

En esta etapa se colocó en marcha el plan de vuelo, con todos los aspectos observados anteriormente, el vuelo se llevó a cabo con todos los parámetros establecidos anteriormente ya que de lo contrario podía echarse a perder esta actividad, una de las ventajas es que si se cometen errores solo basta con entrar a memoria del dron y eliminar las imágenes capturadas y de esta forma nuevamente iniciar con el plan de vuelo correcto. Una vez terminó este proceso se obtuvo imágenes RGB e imágenes multiespectrales que fueron el principal insumo para trabajar en la creación del ortomosaico tridimensional en el software Agisoft Matashape.

Procesamiento de las fotografías

El objetivo principal de este proceso fue la obtención de un ortomosaico de calidad, ya que este fue el insumo principal para realizar los análisis en el software ArcGIS. Para lograrlo se pasó por las siguientes etapas.

1-Configuración del software, aquí se estableció el sistema de medidas a utilizar, el idioma y se calibra las cámaras.

2-Cargar fotografías y optimizar orientación de las mismas

3- Cambio de sistema de coordenadas a MAGNA-SIRGAS.

3-Creación de marcadores Georreferenciales.

4- Incorporación de marcadores a imágenes.

5- Creación de nube de puntos sencilla y densa.

6- Creación de malla.

7-Creación de modelo digital de elevaciones MDE.

8- Curvas de nivel.

Resultados y discusión

Base de datos obtenida en campo con los sensores

El promedio de la temperatura del suelo fue de 15,70 °C (Rango de 16,8 a 14,9 – **Figura 3**) con una desviación estándar de 0,4 y una varianza de 0,2. En el estudio se puede observar que los rangos obtenidos están cerca de los 13 a 18 °C, requeridos según Torres y Galvis (2018) para llevar a cabo un correcto cultivo de papa. El promedio de la temperatura ambiente fue de 15,06 °C (Rango de 18,2 a 12 – **Figura 3**) con una desviación estándar de 1,3 y una varianza de 1,8.

El promedio del pH del suelo, del terreno estudiado fue de 7,3 (Rango de 7,6 a 6,7 – **Figura 4**) los valores más recomendados por Intagri (2017), para el pH están comprendidos entre 5,0 y 7,0, por lo cual se ve claramente que existe una variación alta en cuanto a esta variable, por lo cual se deberán tomar medidas para neutralizar estos valores. La conductividad promedio del terreno fue de 0,07 $\mu\text{S}/\text{m}$, (Rango 0,13 a 0,007 $\mu\text{S}/\text{m}$ – **Figura 5**) este resultado fue relativamente adecuado ya que para este tipo de cultivo lo ideal es estar por debajo de 1 $\mu\text{S}/\text{m}$ (ICA, 2004), los

beneficios y consecuencias de esta variable se explicó más a detalle en los resultados de la investigación En la **Figura 5**, se presentó el comportamiento de esta variable.

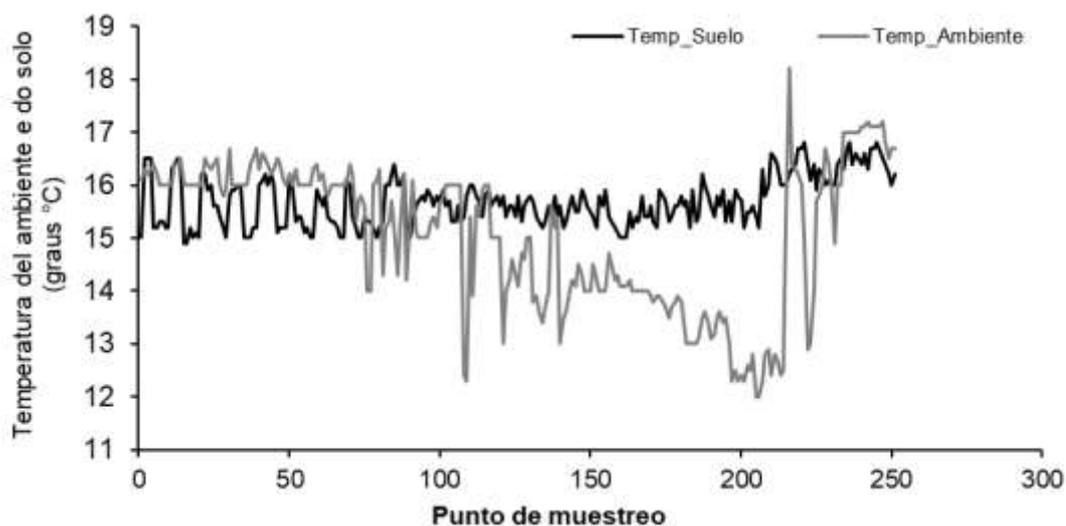


Figura 3. Oscilación de la temperatura del ambiente y del suelo.

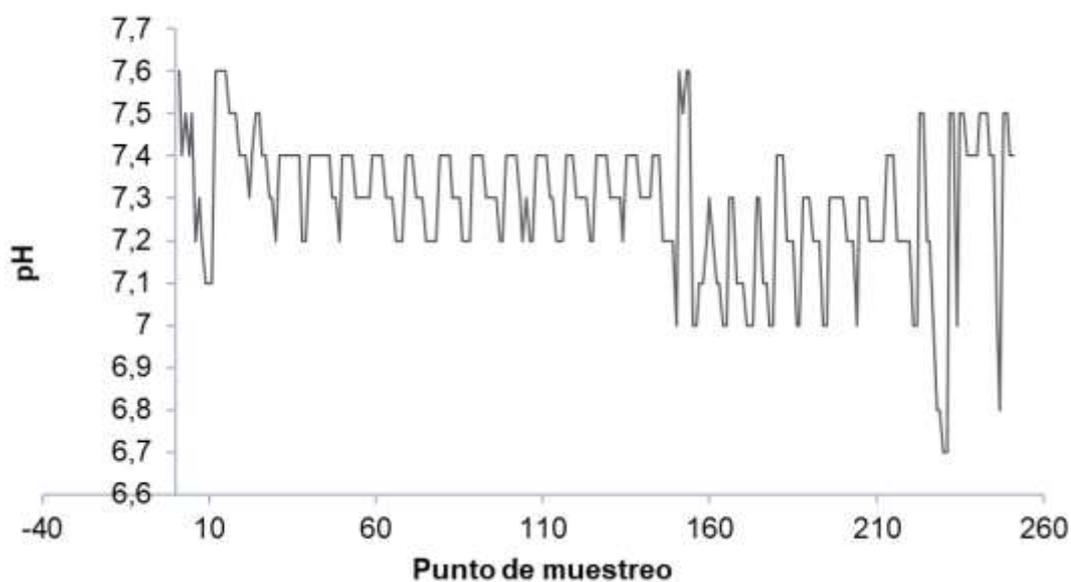


Figura 4. Valores del pH del suelo en el campo de muestreo.

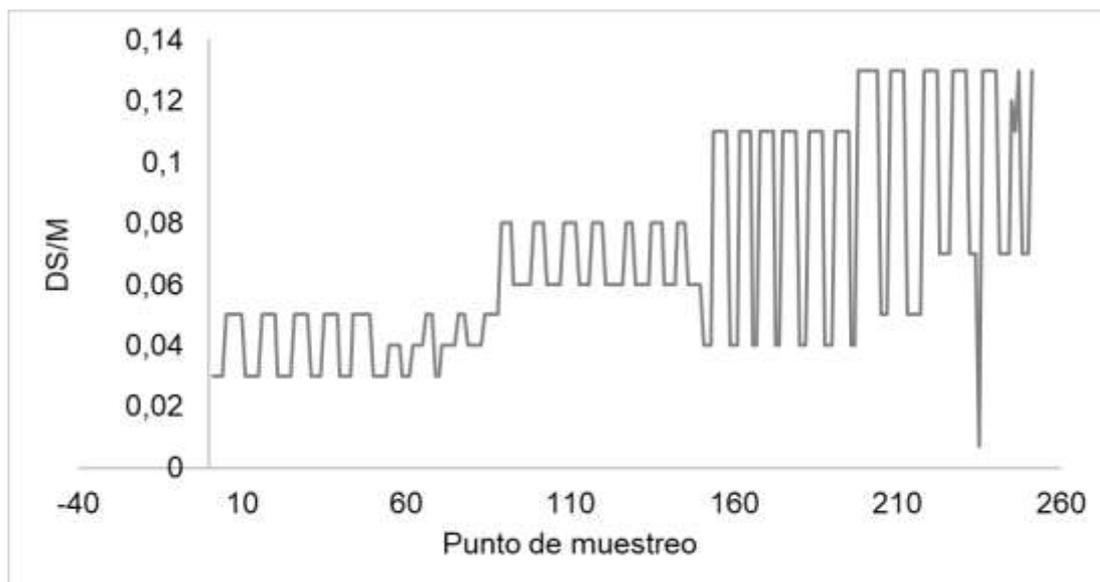


Figura 5. Comportamiento de la conductividad del suelo.

El promedio de la humedad relativa del cultivo en estudio fue de 57,18%, (Rango 61 a 52% - **Figura 6**), según la FAO (2008), el rango más recomendado esta entre 30 y 35% por lo cual los valores obtenido estan excediendo los recomendados para este cultivo.

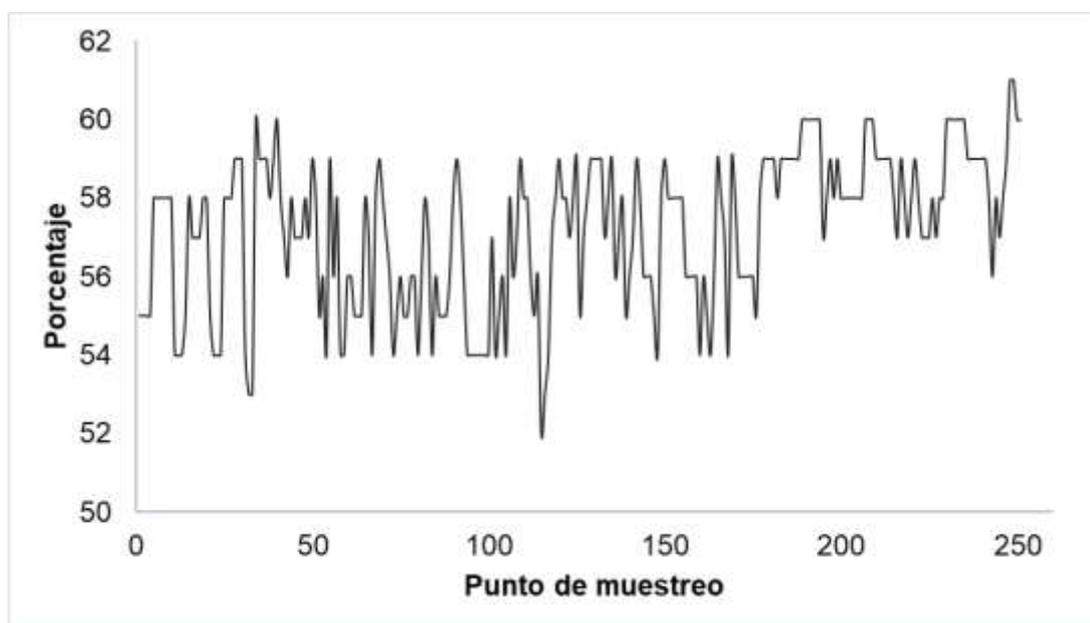


Figura 6. Comportamiento de la humedad relativa en el suelo.

Variable temperatura ambiente, brillo solar e temperatura del suelo

Del estudio se obtuvo un Raster de temperaturas (**Figura 7**), en el cual claramente se puede observar un rango adecuado para llevar a cabo este cultivo, hay una variación, pero esto se debe a los periodos en los que fueron levantadas las muestras.

Es importante que, al realizar la plantación de las semillas, la temperatura del suelo sea superior a los 7°C, con una temperatura nocturna relativamente fresca. El frío intenso y por periodos alargados tiene impacto directo sobre los tubérculos, ya que estos pueden quedar pequeños y sin desarrollarse. Si la temperatura es demasiado elevada afecta a la formación de los tubérculos y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades (RAMÍREZ; JARAMILLO, 2012).

La planta de papa, tiene un periodo en el cual la luz es muy importante para el desarrollo del tubérculo, lo cual se conoce como el fotoperiodo, Los fotoperiodos cortos son más favorables a la tuberización y los largos inducen el crecimiento. Además de influir sobre el rendimiento final de la cosecha. En las zonas de clima cálido se emplean cultivares con fotoperiodos críticos, comprendidos entre 13 y 16 horas. La intensidad luminosa además de influir sobre la actividad fotosintética favorece la floración y fructificación (VÍCTOR RAMÍREZ, 2012) (**Figura 8**).

La temperatura del suelo adecuada para el desarrollo de tubérculos debe ser de 10 a 16 °C durante la noche y de 16 a 22 °C en el día. Cuando la oscilación de estas temperaturas es menor a las especificadas anteriormente, se ve afectado el crecimiento y tuberización de la papa (INTAGRI, 2017). Teniendo en cuenta que las muestras fueron levantadas en horas del día podemos concluir que la temperatura está en un rango adecuado para cultivar papa (**Figura 9**).

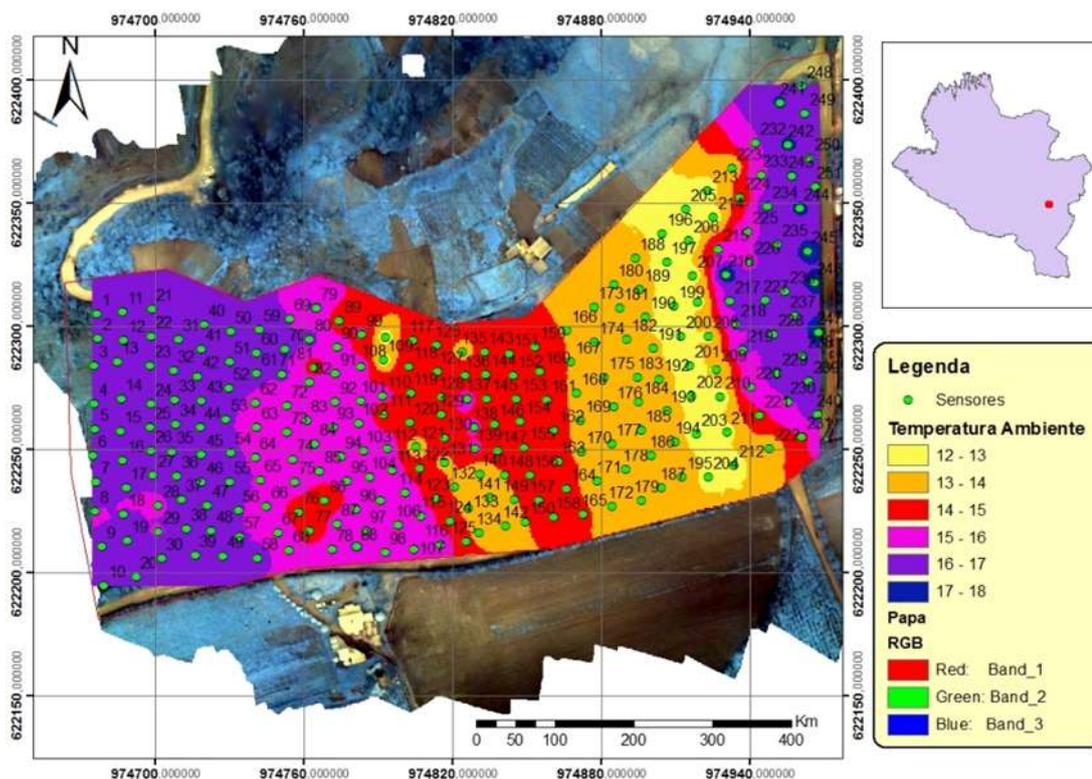


Figura 7. Raster Isotermas del área de estudio.

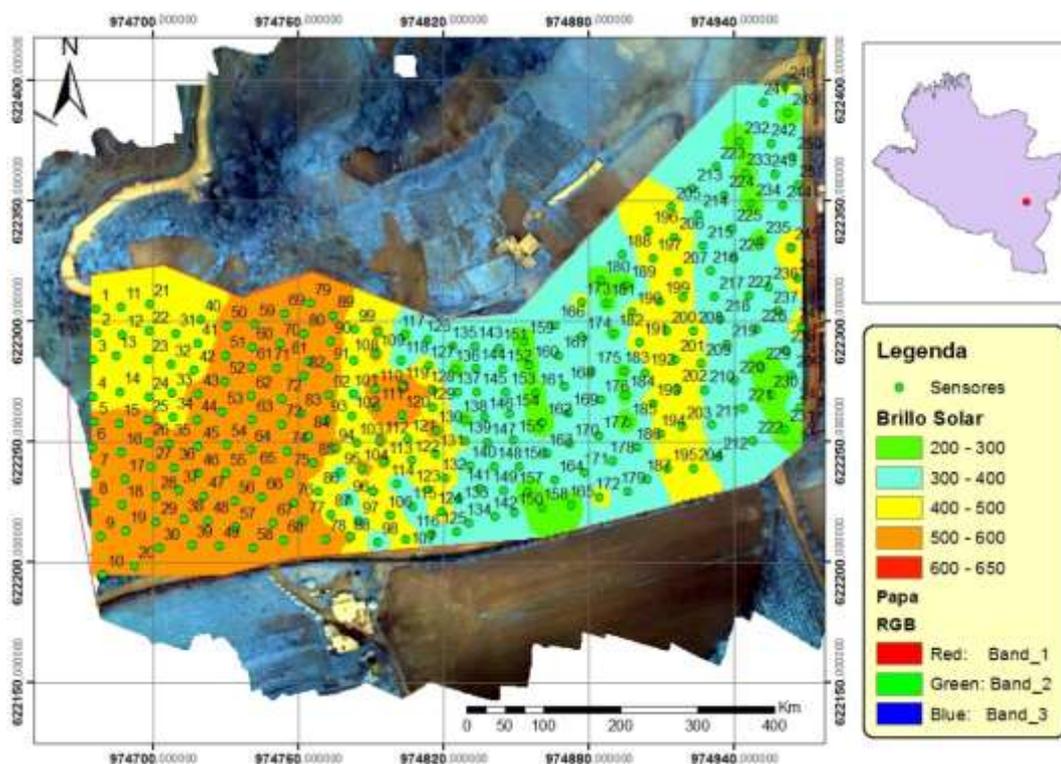


Figura 8. Raster de brillo solar del área de estudio.

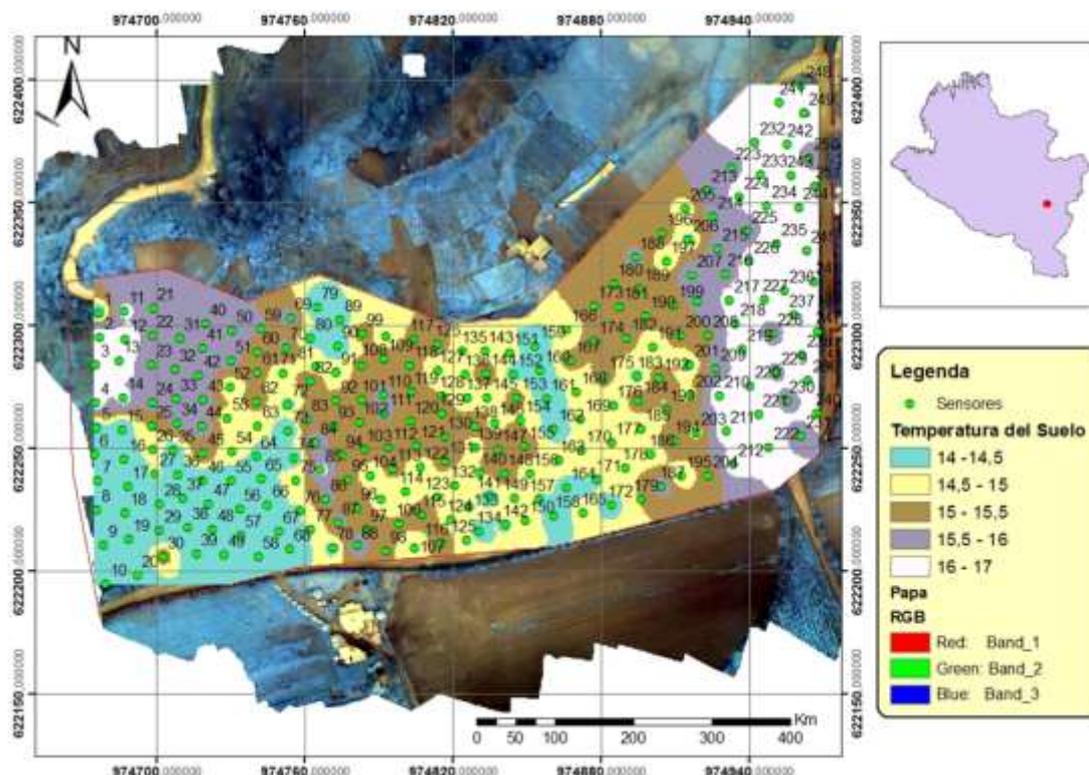


Figura 9. Raster de temperaturas del suelo del área del estudio.

Variable pH

Para este cultivo es recomendable los suelos porosos, bien aireados, ricos en nutrientes y minerales, tipo nosos, francos o humíferos, con un pH entre 5.0 y 7 (INTAGRI, 2017), en el Raster obtenido (Figura 10), podemos ver que una parte del terreno cumple con estas condiciones de pH, pero se puede visualizar también áreas más oscuras donde existen niveles de pH, que superan el valor de 7, el cual es el nivel recomendado, cuando el pH del suelo está por encima de 7.5, la disponibilidad de nutrientes, sobre todo fósforo y micronutrientes, puede ser baja, a pesar de que las cantidades totales de estos elementos en el suelo son grandes (INTAGRI, 2017). Por tal razón hay que tomar medidas para mejorar el estado de esta variable.

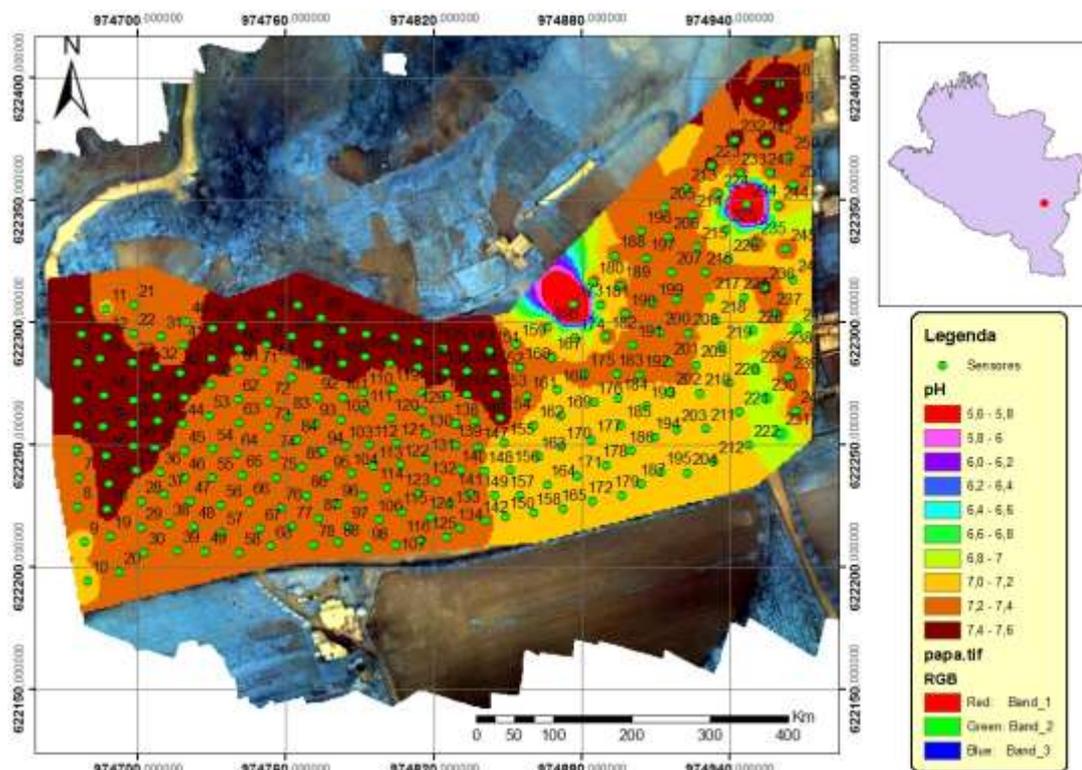


Figura 10. Raster de pH.

Según Gago et al. (2015), cuando el suelo tiene un nivel de pH muy bajo es importante realizar un encalado por lo menos 6 meses antes de sembrar esto puede aumentar pHs bajos (**Figura 11**). Para disminuir el PH del suelo se puede utilizar el azufre en polvo ampliamente empleado en agricultura, aunque con efectos a largo plazo.

Según Sadeghian y Gonzalez (2014), para el mejoramiento de pH es utilizado en la región el sulfato de hierro, el cual es también recomendado ya que aporta azufre, pero en forma de sulfato, siendo un acidificante a corto plazo y adicionalmente aporta pequeñas cantidades de hierro asimilable. En pre-plantación se aplicará como abonado de fondo, en forma granulada (**Figura 12**), directamente sobre el terreno durante el cultivo se debe aplicar junto con el riego, a intervalos regulares y con una frecuencia que dependerá de las unidades de pH se quiere bajar.

Variable conductividad eléctrica (CE)

Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m (1+5 v/v). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por citotoxicidad en el cultivo según (ICA, 2004). La **Figura 13** presenta rangos que son relativamente desfavorable para el cultivo.

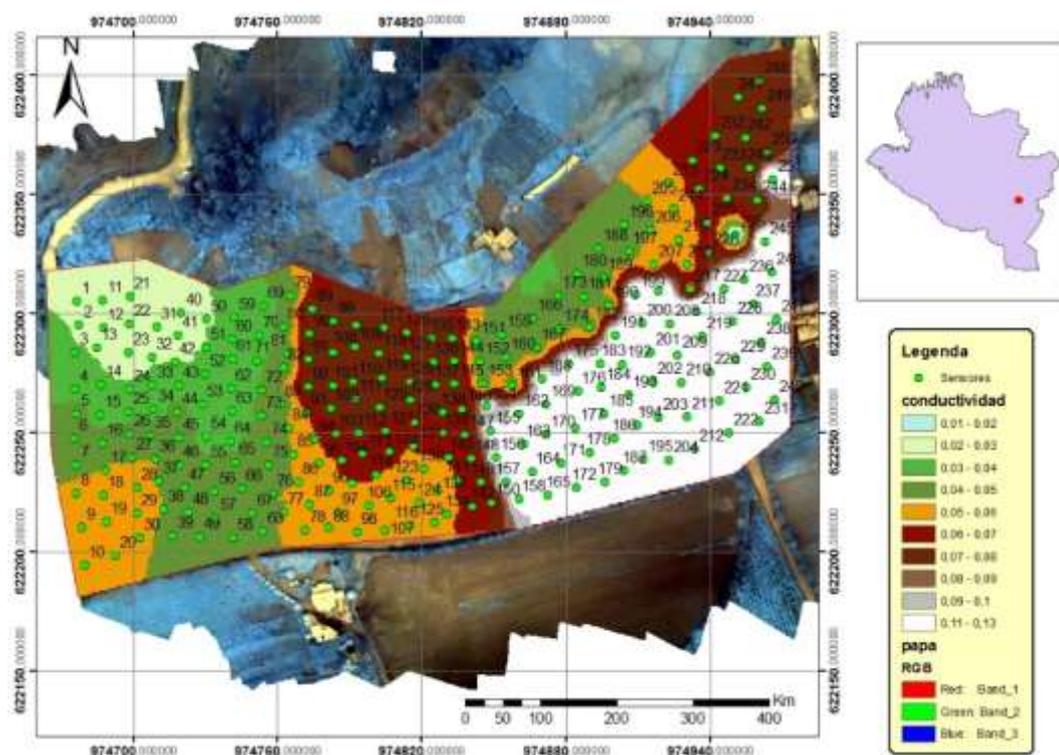


Figura 11. Raster conductividad eléctrica.

Según la **figura 12**, el cultivo de papa del área muestreada en este estudio se encuentra en rangos menor 0.13 y según la **tabla 2** esta área se encuentra en riesgo de baja producción debido a valores demasiado bajos.

Según CENTA (2002) y IBARRA (2013) , el cultivo de la papa prospera satisfactoriamente en lugares donde hay abundancia de lluvia o disponibilidad de agua para riego y esta variables indica también una buena conductividad, donde a pesar de tener buena humedad del suelo (**Figura 13**), y una buena profundidad efectiva donde el sistema radicular se encuentra entre los 0.20 a 0.60 m, necesita de 500 a 700 mm de agua durante su

período vegetativo (CENTA, 2002) (IBRRA, 2013), estos valores no fueron registrados en el local lo que determina problemas en esta variable.

Tabla 2. la pérdida de productividad de la papa por la conductividad del agua/suelo:

0% CE	10% CE	25% CE	50% CE
1`7-1`1	2`5-1`7	3`8-2`5	5`9-3`9

Fuente: CEPAL, FAO, ICA (2019).

Variable humedad del suelo

Los cambios bruscos en el contenido de humedad en el suelo causan deformaciones en los tubérculos y mayor ataque de larvas de polillas de la papa. Los excesos de humedad favorecen la diseminación de bacterias (*Ralstonia solanacearum*), hongos (*Phytophthora infestans*), recomendándose mantener el agotamiento permisible entre el 30 al 35% del agua útil en el suelo y lo que mejora la conductividad eléctrica del suelo (CENTA, 2002), IBARA, (2013).

Según IBARRA (2013), para el ciclo medio la necesidad de agua es de aproximadamente 500 y 700 mm; es muy importante que no falte recurso hídrico entre el inicio de la siembra hasta la fase de floración o formación de tubérculos. También hay que tener cuidado de exceso de agua en las fases posteriores y en la maduración, en estas fases es recomendable el tiempo semiseco.

La gran cantidad de largas, finas y poco profundas, raíces que posee esta planta son muy activas en su función de absorber agua y nutrientes, estas pueden alcanzar hasta un 70% en los primeros 30 cm. y el 100% puede ser alcanzado hasta en los 40 o 60 cm. La variación de la humedad en el suelo tendrá efecto en la cosecha ya que la planta dará tubérculos malformados o con grietas. Por eso tan solo una variación de 10% en humedad del suelo puede ser crítico para el cultivo (MEDINA, 2012).

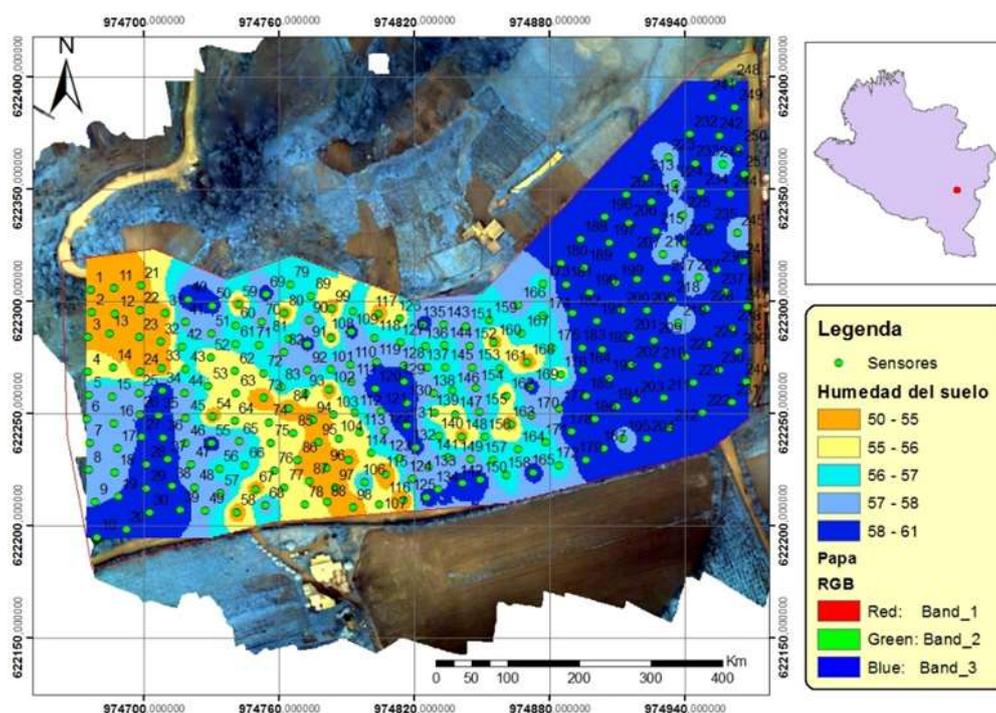


Figura 12. (Curvas de Humedad, cultivo de papa en el corregimiento de Obonuco, Nariño).

La papa es un cultivo sensible a los cambios bruscos en el contenido de humedad en el suelo. El exceso de agua favorece la proliferación de bacterias y hongos, mientras que el déficit de agua ocasiona deformaciones en los tubérculos y fomenta el ataque de larvas de polillas de la papa. Por esto se recomienda mantener el nivel de humedad entre un 30% y 35% (VELÁSQUEZ, 2014). Como se puede ver el terreno en estudio tiene un acceso de agua y claramente afectara el cultivo aumentando las plagas y enfermedades.

Conclusiones

El NDVI y el uso de drones y sensores son herramientas que ayudan en la toma de decisiones, ya que puede aumentar la productividad y disminuir las pérdidas no solo en papa si no para cualquier cultivo, donde este estudio fue un claro ejemplo que utilizando la AP los productores pueden entender variables que al entenderlas y trabajarlas podrían mejorar sus ingresos, disminuir gastos en insumos y aun mejorar la calidad de sus productos. Las variables utilizadas en este estudio son muy simples como la humedad, temperatura ambiente y del suelo, nivel de pH, conductividad y brillo solar, donde la ser presentada en mapas de fácil comprensión genero una serie de recomendaciones al dueño del predio y modifiko su toma decisiones al momento de controlar plagas y en mal formación de los tubérculos, sobre todo en el segmento donde se tenía mayor valor de humedad ya que al mantener esta variable moderada se asegura control de plagas por podrición del cultivo de papa. En cuanto al pH se identificaron niveles superiores a los recomendados por la literatura para el cultivo de papa, por esto se recomienda equilibrar esta variable con diferentes productos en el mercado para dicho fin, al segmentar el predio se economiza en estos insumos ya que el productor realizaría esta corrección dependiendo de los segmentos encontrados, reduciendo insumos químicos, mano de obra, tiempo y dinero. Por último, la metodología aplicada a esta investigación podría mejorar significativamente la eficiencia en la producción de cualquier región, pues demuestra un monitoreo efectivo en los cultivos y en consecuencia reducir el desperdicio de los recursos hídricos, fertilizantes, ayudar en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y al final se verá reflejado en la mejora de la calidad del producto final.

Referencias

AMÉNDOLA, R.; CASTILLO, E.; MARTÍNEZ, P. A. **Perfiles por País del Recurso Pastura/Forraje**. 2005. Disponible en: <https://docplayer.es/23231786-Perfiles-por-pais-del-recurso-pastura-forraje-mexico-por-ricardo-amendola-epigmenio-castillo-pedro-a-martinez.html>. Acceso en: 02 mayo 2021.

ARCGIS DESPOT ON LINE. **Cómo funciona IDW**. 2021. Disponible el: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm#:~:text=La%20interpolaci%C3%B3n%20mediante%20distancia%20inversa,conjunto%20de%20puntos%20de%20muestra.&text=La%20superficie%20que%20se%20interpola,variable%20dependiente%20de%20la%20ubicaci%C3%B3n>. Acceso en: 13 mayo 2021.

CENTA - Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. **Cultivo de La Papa 2002**. Guía Técnica, Manual para técnicos. Convenio. CAC. U.E./ ALA. 88/23. PRIAG. 30 pg.

CEPAL, FAO, ICA. **Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe**. 2019. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45111/1/CEPA>. Acceso en: 23 abr. 2021.

ORDÓÑEZ, J. L. **Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico**. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf. Acceso en: 21 abr. 2021.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE. **Censo Nacional Agropecuario 2018**. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014> Acceso en: 30 abr. 2021.

FAO, Dan Pennock, Neil McKenzie. **Estado Mundial del Recurso Suelo**. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf> Acceso en: 11 ene. 2021.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO. **La papa y los recursos hídricos**. 2008. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/pdf/IYP-10es.pdf> Acceso en: 10 abr. 2021.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO. **La Papa. El Año Internacional de la Papa**. Secretaría del Año Internacional de la Papa. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 2008. 36 p.

GAGO J, DOUTHE C, COOPMAN R, GALLEGO P, RIBAS-CARBO M, FLEXAS J. **UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture**. Agricultural Water Management.153. 2015. 9-19 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC. **Estudio general de suelos y zonificación de tierras**. Departamento de Nariño. Bogotá: IGAC. CD-ROM.2004.

INSTITUTO PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA AGRICULTURA – INTAGRI. **Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa**. Serie Hortalizas. Núm. 10. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 2017. 3 p.

MAHAJAN, UJJWAL Y RAJ, BHARAT. Drones for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to Estimate Crop Health for Precision Agriculture: A Cheaper Alternative for Spatial Satellite Sensors. **International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change**. 2017. ISBN-978-93-85822-33
file:///C:/Users/AMD%20RYZEN%209%203950X/Downloads/19UjjwalMahajan38-41.pdf

MANUEL TORRES TORRES, MANUEL GALVIS RUEDA. **El efecto del cambio climático en especies de plantas vegetales en el altiplano cundiboyacense**. Universidad Nacional a distancia. 2018. Sitio web: <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2776>. Acceso en: 11 feb. 2021.

MEDINA F. **Fertilización y riego de la papa**. 2012. Disponible en: [file:///C:/Users/Wilmer/Downloads/9859-Texto%20del%20art%C3%ADculo-11310-1-10-20161006%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Wilmer/Downloads/9859-Texto%20del%20art%C3%ADculo-11310-1-10-20161006%20(1).pdf). Acceso en: 10 abr. 2021.

NIKOLA M. TRENDOV, SAMUEL VARAS Y MENG ZENG. **TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA AGRICULTURA Y LAS ZONAS RURALES**. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, 2019 Sitio web: <http://www.fao.org/3/ca4887es/ca4887es.pdf>. Acceso en: 24 abr. 2021.

ORDAZ J & RAMÍREZ D. **Efectos del cambio climático en la agricultura de Costa Rica**. Unidad de Desarrollo Agrícola de la Sede Subregional de la CEPAL en México. 2016. Sitio web: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25921/1/lcmexl972.pdf>. Acceso en: 13 abr. 2021.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL - POT. **Pasto, Territorio con-Sentido**. Secretaria de Planeación. 2014. p 57.

RAMÍREZ, V.; JARAMILLO, A. **El brillo solar en la zona cafetera colombiana. Cenicafè**, Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana. Cenicafè Publications. 2012. No 407. 6p.

SADEGHIAN K, S.; GONZÁLEZ O, H. Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo. **Revista Cenicafè**, v. 65, n. 1, p. 34-43, 2014.

SADEGHIAN, S., KHALAJABAD, I., ZAPATA R. Crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. **Revista de Ciencias Agrícolas**, v. 31, n. 2, p. 40 – 50, 2014.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. **Plan departamental de extensión agropecuaria del departamento de nariño pdea – nariño**. DOCUMENTO TÉCNICO DE FORMULACIÓN. SAN JUAN DE PASTO. 2019. 222 pg.

IBARRA, E., OJEDA W., MENDOZ, C., CERVANTES, J., RUELAS, J., IBARRA, M. **Nutrición del cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el "valle del fuerte", Sinaloa, México. 2013**. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. v.4, n. 4, 2013.

VELÁSQUEZ, J. **Producción de tubérculo-semillas de papa en la estación experimental Santa Catalina del INIAP y su relación con el sector semillero nacional**. Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Ecuador. 2014. pp. 1-8.