



## **Estudio de imágenes multispectrales para determinar la uniformidad en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa**

## **Study of multispectral images to determine the uniformity in the vegetative development of the potato crop**

Gilberto Bojorquez-Delgado<sup>1</sup>, Jesús Bojorquez-Delgado<sup>1</sup>, Manuel Alfredo Flores-Rosales<sup>1</sup>, Julio Guadalupe Pacheco-Ayala<sup>1</sup>, Andrés Gálvez-Rodríguez<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave, Guasave, Sinaloa.

---

Recibido: 12-11-2019

Aceptado: 12-12-2019

Autor correspondal: [itsg.bojorquez@gmail.com](mailto:itsg.bojorquez@gmail.com)

## Resumen

La agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos: tiene que producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a una población creciente con una mano de obra menor. Una de las principales fuentes de alimentación a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz es sin duda la papa. Sin embargo, los productores de este cultivo han visto cómo sus ganancias se reducen debido a una gran cantidad de plagas y enfermedades que se han venido presentando y aumentando debido a los efectos del cambio climático. Uno de los factores que ayudan a determinar estas condiciones son la uniformidad en el desarrollo vegetativo del cultivo. En el presente estudio, se evaluó la uniformidad en el crecimiento de la planta de papa, se trabajó con 8 bloques en iguales condiciones ambientales y manejo agronómico para determinar la variación en los tamaños de los tallos de las plantas, en cada bloque se tomaron 10 muestras de la longitud de la planta y el valor de NDVI de esa posición geográfica, posteriormente se obtuvo la desviación estándar de ambos factores para correlacionar las medias de los diferentes tratamientos, teniendo como resultado un coeficiente de correlación de 0.9615, lo que indica que existe una muy alta correlación entre el NDVI y el tamaño del tallo de la planta de papa, con lo que se comprobó que es posible determinar la uniformidad en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa a través del estudio de imágenes multiespectrales y con ello contribuir en la oportuna detección de anomalías.

**Palabras clave:** NDVI, Desarrollo vegetativo, Papa.

## Abstract

Agriculture in the 21st century faces multiple challenges: it has to produce more food and fiber in order to feed a growing population with a smaller workforce. One of the main sources of food worldwide after wheat, corn and rice is undoubtedly the potato. However, the producers of this crop have seen how their profits are reduced due to a large number of pests and diseases that have come presenting and increasing due to the effects of climate change. One of the factors that help determine these conditions is the uniformity in the vegetative development of the crop. In the present study, the uniformity in the growth of the potato plant was evaluated, it was selected with 8 blocks in the same environmental conditions and agronomic management to determine the variation in the sizes of the stems of the plants, in each block 10 were taken samples of the length of the plant and the NDVI value of that geographical position, the standard deviation of both factors was subsequently obtained to correlate the means of the different treatments, resulting in a correlation coefficient of 0.9615, indicating that there is a very high correlation

between the NDVI and the stem size of the potato plant, which proved that it is possible to determine the uniformity in the vegetative development of the potato crop through the study of multispectral images and thereby contribute to the Timely detection of anomalies.

**Keywords:** NDVI, Vegetative Development, potato.

## Introducción

La agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos: tiene que producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a una población creciente con una mano de obra menor, así como más materias primas para un mercado de la bioenergía potencialmente enorme, y ha de contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura, adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles y adaptarse al cambio climático (FAO, 2009). La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas originaria de Sudamérica y cultivada por todo el mundo por sus tubérculos comestibles. Fue domesticada en el altiplano andino por sus habitantes hace unos 8000 años, y más tarde fue llevada a Europa por los conquistadores españoles como una curiosidad botánica más que como una planta alimenticia. Su consumo fue creciendo y su cultivo se expandió a todo el mundo hasta convertirse hoy día en uno de los principales alimentos para el ser humano. (Hawkes, 1990). Según la FAO después del trigo, maíz y arroz, el cultivo de papa tiene una gran importancia para la alimentación mundial. En México los estados de Sinaloa y Sonora son los principales productores de este cultivo llegando a establecerse en Sinaloa 14 000 ha-1 anualmente (22 por ciento de la superficie nacional) (Gallardo, 2019), sin embargo, en la actualidad los productores de papa en el estado han tenido que desarrollar sus propias investigaciones, ya que en los últimos años las condiciones meteorológicas han sido muy impredecibles, debido a los efectos del cambio climático, obligando al productor a buscar soluciones que le permitan mantener su rentabilidad. La agricultura moderna necesita herramientas y tecnologías que puedan mejorar la eficiencia de la producción, la calidad del producto, las operaciones posteriores a la cosecha y reducir su impacto ambiental. La automatización en la agricultura produce una contribución fundamental a lo que ahora se conoce como agricultura de precisión (Sierra, 2008). La agricultura de precisión representa una técnica innovadora que facilita la toma de decisiones en relación a las acciones que ameritan los cultivos para obtener mayores beneficios económicos y a la vez minimizar su impacto medioambiental, tal como aplicar la cantidad correcta de insumos (agua, fertilizantes, pesticidas, etc.) en el lugar correcto y en el momento adecuado para mejorar la producción y mejorar la

calidad, al tiempo que protege el medio ambiente (Vega & Ruiz, 2013). Las tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión han evolucionado a través de los avances de las telecomunicaciones inalámbricas, el desarrollo de dispositivos micro electrónicos y la implementación de Internet of Things (IoT) en grandes escalas, las aplicaciones basadas en IoT se estudian y explotan actualmente en muchos sectores, como el cuidado de la salud (Valero, 2019), Vehículos autónomos (López, Medina, Pérez, & Salamanca, 2015) y monitoreo ambiental (por ejemplo, aire, agua y monitoreo de incendios). Sin embargo, aún falta mucho trabajo que realizar en optimización y desarrollo de tecnología IoT para la agricultura de precisión, La utilización de satélites y drones para percibir remotamente información de predios agrícolas a ayudado en gran medida a la detección de anomalías en los cultivos, Por lo cual se propone el diseño de un Objeto IoT el cual contiene 4 bloques, el de interfaz de transductor, el modelo objeto, el access point, y el de Interfaz de comunicación que recibe conexiones mediante el protocolo MQTT y señales analógicas. El bloque de aplicación contiene las clases y la arquitectura del objeto. En el presente estudio, tiene como objetivo la evaluación de la uniformidad en el crecimiento de la planta de papa, mediante el estudio de imágenes multiespectrales para determinar anomalías en su desarrollo.

### **Materiales y métodos**

El trabajo de investigación se realizó en el periodo comprendido entre Octubre del 2018 y Febrero del 2019, en el campo Baja de agrícola Rábago con una extensión de 75.25 He, ubicado en carretera Internacional México 15, a la altura de Adolfo Ruiz Cortines en el municipio de Guasave del estado de Sinaloa, sus coordenadas geográficas son 25° 31' 33.47" latitud norte del trópico de cáncer y 108° 22' 47.24" longitud oeste del meridiano de Greenwich. (Figura 1)



Figura 1. Ubicación geográfica de campo “Bajas” de agrícola Rábago.

Fuente: los Autores (Google maps)

Posee una elevación de 50 msnm. y presenta una topografía plana; el suelo tiene profundidad promedio de 1.2 metros y una textura franco arenoso. Las condiciones climáticas que prevalecieron durante la época de estudio fueron precipitaciones máximas de 198 mm, con temperatura promedio de 24.6 °C y humedad relativa constante promedio de 85%.

En el presente estudio, se evaluó la uniformidad en el crecimiento de la planta de papa (Figura 2), la variedad del cultivo de papa fue Fiana, se trabajó con 8 bloques en iguales condiciones ambientales y manejo agronómico para determinar la variación en los tamaños de los tallos de las plantas, en cada bloque se tomaron 10 muestras de la longitud de la planta y el valor de NDVI de esa posición geográfica.

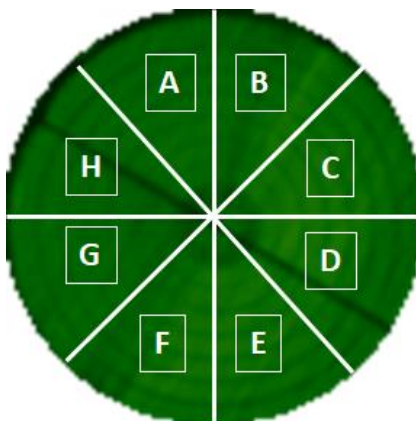


Figura 2. División en bloques del terreno de estudio.

Fuente: los Autores

Para la recolección de datos se utilizó el muestreo aleatorio simple, con una población de 10 plantas por bloque, siendo 80 plantas en total.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- Longitud del tallo (cm)
- Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Para la toma de datos respecto a la longitud del tallo, se realizó un pre-muestreo donde se eligió arbitrariamente la cantidad de 10 muestras por bloque, para posteriormente calcular el número de muestras optimas que nos proporcionara los intervalos de confianza para el error de estimación de la media con confiabilidad de 95%, para ello se utilizó la Ecuación 1, y para estimar la totalidad se utilizó la Ecuación 1

$$n \geq \frac{Ns^2}{N \left[ \frac{d}{z_{1-\frac{\alpha}{2}}} \right] + s^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$n \geq \frac{N^2 s^2}{\left[ \frac{d}{z_{1-\frac{\alpha}{2}}} \right]^2 + N s^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Total de unidades de muestreo en que está dividida la población

s<sup>2</sup> = Varianza muestral

z<sub>1-a/2</sub> = Cuantil de la distribución normal estándar con una probabilidad menor o igual a 1-a/2

d = Máximo error o alejamiento con respecto al verdadero valor.

Para calcular los límites para el error de estimación de la media se utilizó la Ecuación 2 y para la estimación del total se utilizó la Ecuación 3.

$$LI = \bar{y} - \left( z_{1-\frac{\alpha}{2}} \right) \sqrt{\frac{(N-n)s^2}{Nn}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$LS = \bar{y} + \left( z_{1-\frac{\alpha}{2}} \right) \sqrt{\frac{(N-n)s^2}{Nn}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

LI = límite Inferior

LS = límite superior

$\bar{y}$  = Media muestral

$z_{1-\alpha/2}$  = Cuantil de la distribución normal estándar con una probabilidad menor o igual a  $1-\alpha/2$

n = Tamaño de la muestra

N = Total de unidades de muestreo en que está dividida la población

$s^2$  = Varianza muestral

Para calcular la Media muestral se utilizó la Ecuación 4, y para calcular la varianza muestral se utilizó la Ecuación 5.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^2 - n\bar{y}^2)}{n-1} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$\bar{y}$  = Media muestral

n = Tamaño de la muestra

$s^2$  = Varianza muestral

y = Muestras

Para el muestreo del NDVI, se utilizó la plataforma DJI Phantom Vision 2 + y el sensor DJI FC 200, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. DJI Phantom Vision 2 + con el sensor DJI FC 200.

Fuente: los Autores

El Phantom Vision 2 + lleva una cámara de muy alta calidad y una tarjeta micro SD de 4GB. Graba vídeo Full HD en 30/60i 1080p, 720p 60 ° C de 14 megapíxeles. La configuración de la cámara, incluye: calidad de imagen, ISO, compensación de exposición, balance de blancos, y el formato de captura se pueden ajustar a través de la aplicación de la visión.

Imágenes utilizadas: Se han utilizado imágenes ortofoto oficial de 25 cm de resolución obtenida del ICGC. Para el tratamiento de las imágenes se utilizó el software Agisoft PhotoScas, MiraMon, ArcGIS, ENVI e IDRISI. El análisis estadístico se realizó por la prueba de comparación de medias con un análisis de varianza de varios factores. Se realizaron varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la longitud del tallo de la planta respecto a el valor NDVI

## Resultados y discusión

Los resultados de los muestreos efectuados en los 8 bloques aparecen en las Tabla 1, y Tabla 2. En la columna izquierda de cada sector aparece los números de muestra y en la columna derecha aparece la longitud del tallo de cada planta, en el renglón final aparece la desviación estándar de las muestras de cada bloque, a pesar de tener el mismo manejo agronómico hubo diferencias significativas en las desviaciones estándar de los bloques, siendo los mas notorios las diferencias entre el bloque E y G.

Tabla 1. Muestreo de las longitudes de los tallos del cultivo de papa en los sectores A, B, C y D.

Sector A		Sector B		Sector C		Sector D	
Muestra	longitud del tallo (cm)	Muestra	longitud del tallo (cm)	Muestra	longitud del tallo (cm)	Muestra	longitud del tallo (cm)
1	25.23	1	19.78	1	29.32	1	22.35
2	20.32	2	24.56	2	28.3	2	25.63
3	24.32	3	25.36	3	31.23	3	23.15
4	14.52	4	19.24	4	25.36	4	19.25
5	22.35	5	22.3	5	27.23	5	18.65
6	18.92	6	12.36	6	25.36	6	25.56
7	15.26	7	15.26	7	18.63	7	24.39
8	17.23	8	25.23	8	19.25	8	19.55
9	18.52	9	19.25	9	18.9	9	20.5
10	19.12	10	18.25	10	19.65	10	23.65
Σ	3.56	Σ	4.30	σ	4.81	σ	2.62

Fuente: los Autores.



Tabla 2. Muestreo de las longitudes de los tallos del cultivo de papa en los sectores E, F, G y H

Sector E		Sector F		Sector G		Sector H	
Muestra	longitud del tallo (cm)	Muestra	longitud del tallo (cm)	Muestra	longitud del tallo (cm)	Muestra	longitud del tallo (cm)
1	19.25	1	25.23	1	22.56	1	25.36
2	15.36	2	26.25	2	21.56	2	19.25
3	25.36	3	15.65	3	23.54	3	18.50
4	15.65	4	25.36	4	22.65	4	21.52
5	19.52	5	22.45	5	19.52	5	25.52
6	12.65	6	31.25	6	17.25	6	30.21
7	29.35	7	30.25	7	24.95	7	25.12
8	25.35	8	28.65	8	22.6	8	26.52
9	19.25	9	26.36	9	22.6	9	24.30
10	19.35	10	19.8	10	22.36	10	22.57
$\Sigma$	5.17	$\sigma$	4.76	$\sigma$	2.42	$\sigma$	3.51

Fuente: los Autores.

En la Figura 4 podemos observar la grafica de las medias de las muestras de la longitud del tallo de las plantas de papa.

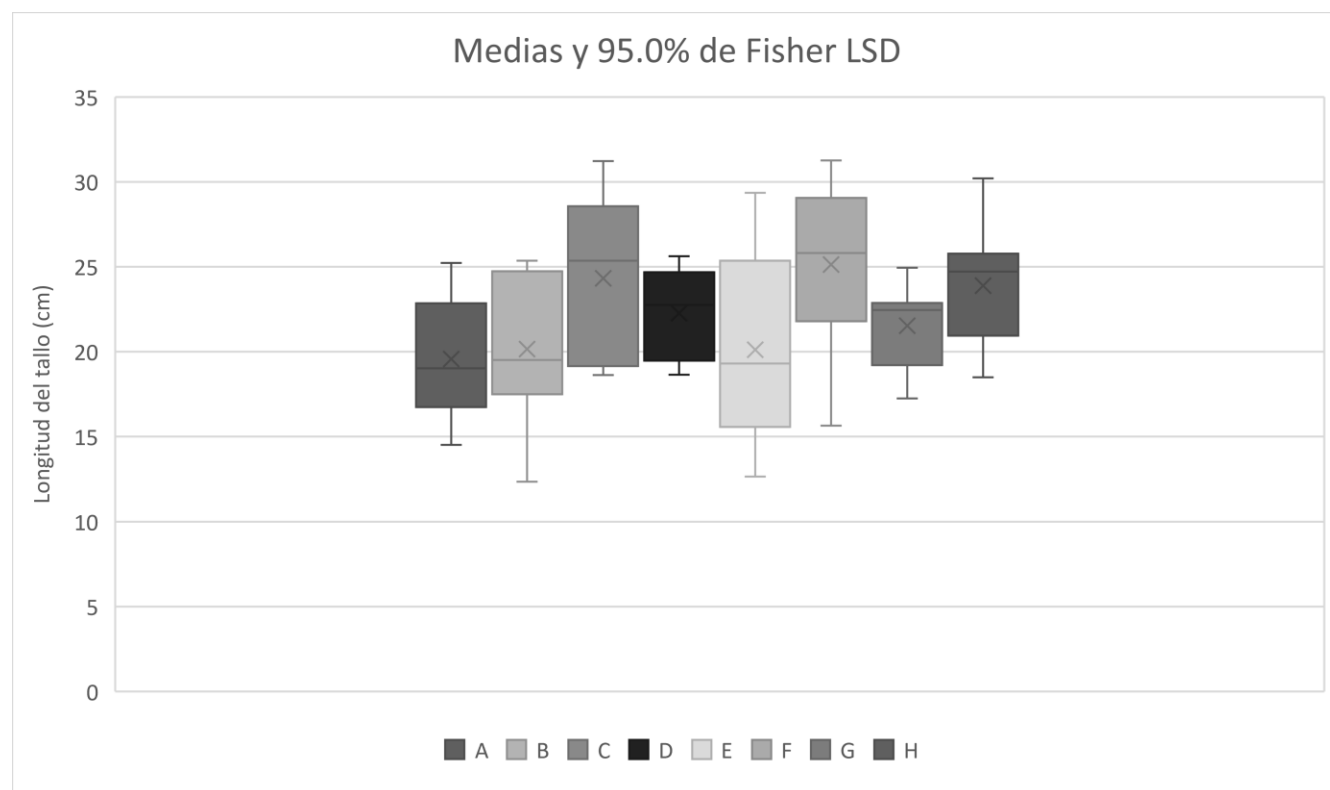


Figura 4. Grafica de las medias de la longitud del tallo de las plantas de papa de los bloques.

Fuente: los Autores

En la Tabla 3 y 4 se muestran los datos obtenidos a partir de las imágenes multiespectrales capturadas con el dron, cada valor en la tabla fue tomado en las mismas coordenadas geográficas que la muestra correspondiente a la longitud del tallo de las plantas de papa y representa la desviación estándar por las 10 muestras tomadas por bloque del campo.

Tabla 3. Muestreo de los valores de NDVI del cultivo de papa en los sectores A, B, C y D

Sector A		Sector B		Sector C		Sector D	
Muestra	NDVI	Muestra	NDVI	Muestra	NDVI	Muestra	NDVI
1	0.19	1	25.23	1	22.56	1	25.36
2	0.22	2	26.25	2	21.56	2	19.25
3	0.25	3	15.65	3	23.54	3	18.50
4	0.12	4	25.36	4	22.65	4	21.52
5	0.22	5	22.45	5	19.52	5	25.52
6	0.19	6	31.25	6	17.25	6	30.21
7	0.17	7	30.25	7	24.95	7	25.12
8	0.18	8	28.65	8	22.6	8	26.52
9	0.19	9	26.36	9	22.6	9	24.30
10	0.19	10	19.8	10	22.36	10	22.57
$\sigma$	0.034	$\sigma$	0.038	$\sigma$	0.045	$\sigma$	0.023

Fuente: los Autores.

Tabla 4. Muestreo de los valores de NDVI del cultivo de papa en los sectores E, F, G y H

Sector E		Sector F		Sector G		Sector H	
Muestra	NDVI	Muestra	NDVI	Muestra	NDVI	Muestra	NDVI
1	0.3	1	0.35	1	0.25	1	0.23
2	0.15	2	0.23	2	0.19	2	0.17
3	0.22	3	0.18	3	0.25	3	0.22
4	0.15	4	0.19	4	0.19	4	0.22
5	0.18	5	0.26	5	0.19	5	0.25
6	0.14	6	0.25	6	0.19	6	0.14
7	0.3	7	0.22	7	0.21	7	0.25
8	0.23	8	0.25	8	0.22	8	0.22
9	0.17	9	0.24	9	0.21	9	0.23
10	0.22	10	0.25	10	0.19	10	0.23
$\sigma$	0.058	$\sigma$	0.046	$\sigma$	0.024	$\sigma$	0.034

Fuente: los Autores.

En la Figura 5 se visualiza la gráfica de las medias de las muestras del valor del NDVI en el punto donde se tomó la muestra de la longitud del tallo del cultivo de papa.

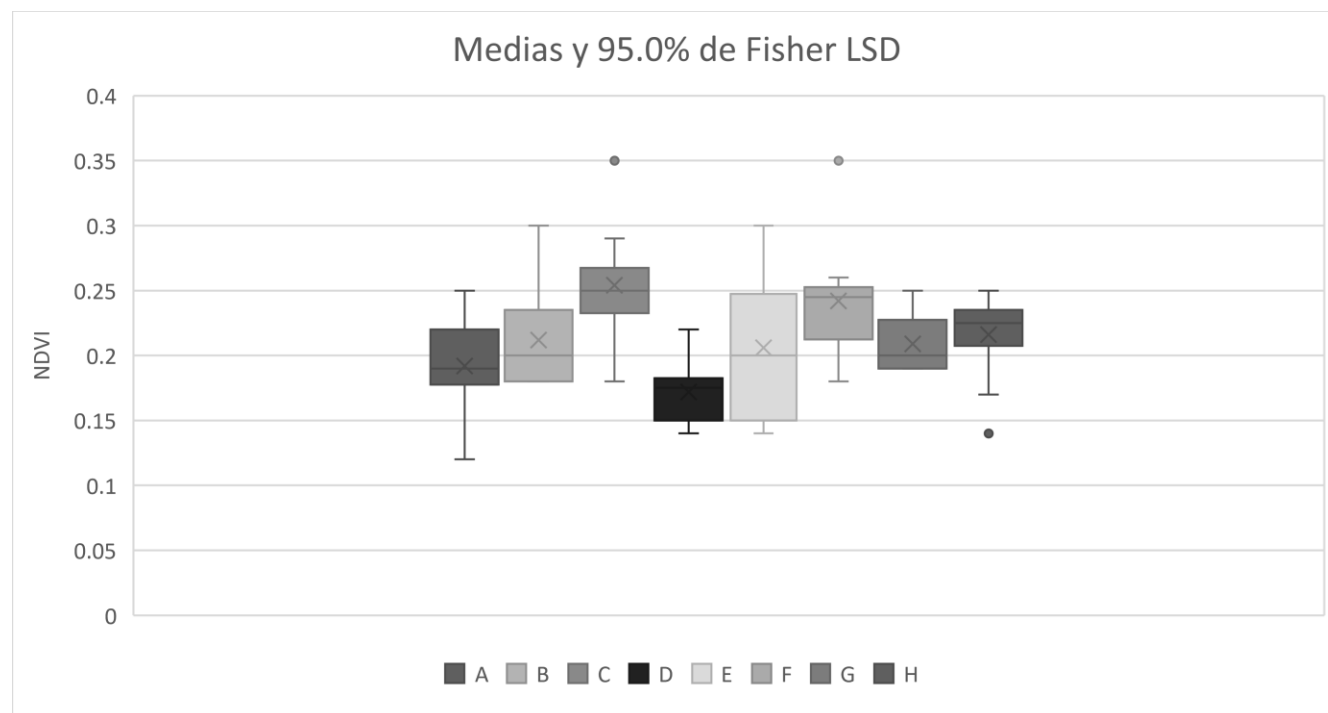


Figura 5. Gráfica de las medias de NDVI de los bloques.  
Fuente: los Autores

## Conclusiones

La investigación realizada se centró en el estudio de imágenes multiespectrales para determinar la uniformidad en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa, de lo cual se puede concluir los siguientes puntos:

- De los 8 bloques en los que fue dividido el terreno se observó que a pesar de haber recibido el mismo manejo agronómico existían marcadas diferencias en cuanto a la uniformidad en la germinación del tubérculo, misma que se observó en las medias de las desviaciones estándar calculadas desde el NDVI.
- De acuerdo con el coeficiente de correlación obtenido a partir de las medias de la longitud del tallo de las plantas de papa respecto a las medias de NDVI de los bloques, se puede estimar un coeficiente de correlación  $R = 0.9615$ , lo que indica una muy alta correlación en sentido proporcional, la cual se puede observar en la Figura 6.

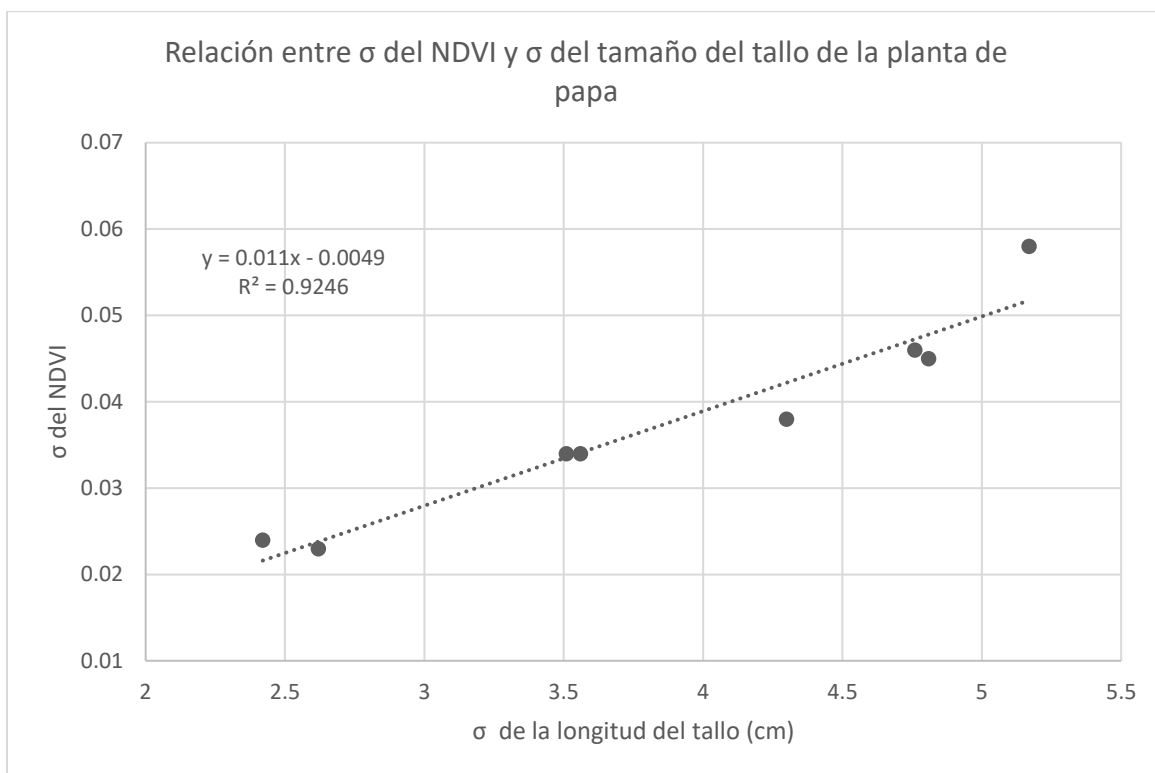


Figura 6. Coeficiente de correlación entre Gráfica de las medias de la longitud del tallo de las plantas de papa respecto a las medias de NDVI de los bloques.

Fuente: los Autores

De acuerdo con la información y análisis de datos se puede concluir que es posible determinar la variabilidad en el crecimiento de la planta mediante el estudio de imágenes multiespectrales (NDVI) para detección temprana de anomalías en la etapa de germinación y emergencia en los cultivos de papa, lo que permitirá una toma de decisiones en el manejo agronómico más rápida y eficiente.

### Referencias bibliográficas

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. How to feed the world in 2050. FAO. Roma. 35 p. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/how\\_to\\_feed\\_the\\_world\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/how_to_feed_the_world_in_2050.pdf)
- Hawkes, J. (1990). The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. London: Belhaven Press. Recuperado el 13 de Octubre de 2019.
- López, A. F., Medina, M. J., Pérez, O. E., & Salamanca, J. M. (2015). Diagnóstico de Cultivos Utilizando Procesamiento Digital de Imágenes y Tecnologías de Agricultura de Precisión. Recuperado el 12 de 11 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5178334.pdf>

- Magdaleno, H. F., Gallardo, H. F., & Bustamante, W. O. (2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 149-157. Recuperado el 12 de 11 de 2019, de <https://repositorionacionalcti.mx/recurso/oai:repositorio.imta.mx:20.500.12013/1734>
- Sierra, J. G. (2008). Concepto y situación en España de la agricultura de precisión. Recuperado el 12 de 11 de 2019, de <http://oa.upm.es/2223>
- Valero, C. (2019). La evolución de la agricultura de precisión. Recuperado el 12 de 11 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6954241>
- Vega, J. A., & Ruiz, M. P. (2013). Agricultura de precisión hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. Recuperado el 12 de 11 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4978946>