



Estudio de imágenes multiespectrales para determinar la humedad en cultivos de papa

Study of multispectral images to determine humidity in potato crops

Jesús Bojorquez-Delgado¹, Gilberto Bojorquez-Delgado¹, Manuel-Alfredo Flores-Rosales¹

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS Guasave, Sinaloa, México.

Recibido: 25-10-2021
Aceptado: 09-12-2021

Autor correspondal: gilberto.bd@guasave.tecnm.mx

Resumen

Actualmente la agricultura enfrenta múltiples desafíos: debe producir más alimentos para a una población en crecimiento. Una de las principales fuentes en el mundo después del trigo, el maíz y el arroz es sin duda la papa. Sin embargo, los productores de este cultivo han visto cómo sus ganancias se reducen debido a los escasos recursos hídricos que se han venido presentando y aumentando debido a los efectos del cambio climático. El presente estudio examina la relación entre las imágenes multispectrales y los niveles de humedad captados por el sensor de humedad DR-350, se trabajó con 4 fechas de muestreo diferentes, en cada fecha se tomaron 10 muestras del nivel de humedad y el valor de NDWI 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 0.9249, lo que indica que existe una muy alta relación entre las dos variables, con lo que se comprobó que es posible determinar el nivel de humedad de forma remota, lo que ayudara a mejorar las técnicas de manejo agronómico.

Palabras clave: NDWI, Sensor de Humedad, Papa.

Abstract

Agriculture today faces multiple challenges: it must produce more food for a growing population. One of the main sources in the world after wheat, corn and rice is undoubtedly the potato. However, the producers of this crop have seen their profits decrease due to the scarcity of water resources that have been occurring and increasing due to the effects of climate change. The present study examines the relationship between the multispectral images and the humidity levels captured by the DR-350 humidity sensor, we worked with 4 different sampling dates, on each date 10 samples of the humidity level and the NDWI value were taken. from 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 0.9249, which indicates that there is a very high relationship between the two variables, thus It was proven that it is possible to determine the humidity level remotely, which will help to improve agronomic management techniques.

Keywords: NDWI, Humidity sensor, Potato.

Introducción

Actualmente la agricultura enfrenta múltiples desafíos: debe producir más alimentos y fibra para alimentar a una población en crecimiento con una fuerza laboral más pequeña, así como más materias primas para un mercado de bioenergía potencialmente enorme y en crecimiento, y debe contribuir al desarrollo de muchos países en desarrollo. Dependiente de la agricultura, adoptar métodos y técnicas de producción más eficientes y sostenibles y adaptarse al cambio climático (FAO, 2009).

El cultivo de papa es una planta que forma parte de la familia de las solanáceas originaria de Sur de América y cultivada en todo el planeta (Rodríguez-Soto, Pinedo-Taco, y Sulca-Salazar, 2020).

El cultivo fue domesticado por sus habitantes hace unos 8000 años en el altiplano andino y luego llevado a Europa por los conquistadores como una curiosidad botánica (Lara-Sandoval y Chaparro-Acuña, 2017).

Su consumo creció y su cultivo se extendió por todo el mundo, hasta hoy se convierte en uno de los alimentos básicos para el ser humano. (Hawkes, 1990).

Los estados de Sinaloa y Sonora en México, son los principales productores de este cultivo, y en Sinaloa alcanza las 1,000 ha anuales (22 % de la superficie del país). (Gallardo, 2019),

Sin embargo, actualmente los productores de papa en el estado han tenido que desarrollar sus propias investigaciones, ya que las condiciones climáticas han sido muy impredecibles en los últimos años, debido a los efectos del cambio climático, obligando al productor a buscar soluciones que le permitan mantener su rentabilidad (Olivares y Hernández, 2019).

La agricultura moderna necesita herramientas y tecnologías capaces de mejorar la eficiencia de la producción, la calidad del producto, las operaciones de poscosecha y reducir su impacto ambiental (Pérez-Ortega y Bolaños-Alomia, 2021).

La automatización en la agricultura hace una contribución fundamental a lo que ahora se conoce como agricultura de precisión (Sierra, 2008).

La agricultura de precisión es una técnica vanguardista e innovadora que facilita el proceso de toma de decisiones en las acciones que merecen los cultivos para mejorar los beneficios económicos minimizando su impacto ambiental, como aplicar la cantidad adecuada de insumos (agua, fertilizantes, pesticidas, etc.) en el lugar y en el momento necesario para optimizar la producción y aumentar la calidad, respetando el medio ambiente (Vega & Ruiz, 2013).

Las papas son relativamente sensibles a los déficits de agua, por lo que no se debe agotar más del 30-35% del agua total disponible, especialmente durante la formación y el crecimiento de los tubérculos (Rojas, 2011).

La intensidad del consumo de agua aumenta considerablemente hasta los 2 días después de la siembra, sufriendo ligeras variaciones para comenzar a minimizarse nuevamente en una semana (Oviedo, 2018). Paralelamente a las interacciones en el consumo de agua, la intensidad de la respiración varía (Purbala, 2018). La detección temprana del estrés hídrico puede prevenir muchos efectos negativos en los cultivos. La observación remota del suelo y el NDWI pueden monitorear el riego en tiempo real, mejorando enormemente la agricultura, especialmente en áreas donde las necesidades de agua son difíciles de satisfacer (Yang, Zhao, Qin, Zhao, y Liang, 2017). El Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) permite conocer el contenido de humedad de la vegetación y la humedad del suelo, este índice es calculado a partir de imágenes multiespectrales, obteniendo del espectro visible el color verde y del espectro no visible el infrarrojo cercano (NIR) (Hassan, Yang, Rasheed, Yang, Reynolds, Xia y He, 2019). El objetivo de este trabajo es evaluar la relación entre las imágenes multiespectrales y los niveles de humedad captados por el sensor de humedad DR350, lo que ayudará a mejorar las técnicas de manejo agronómico respecto a la aplicación de agua.

Materiales y métodos

La investigación se realizó entre octubre de 2019 y febrero de 2020 en el predio Claudia de agrícola Tepachoipa con una extensión de 7.67 He ubicado en la Carretera Internacional México 15 a la altura de Burrion en Guasave, Sinaloa, sus coordenadas geográficas son 25° 33 '23 .09 "de latitud norte del Trópico de Cáncer y 108° 22 '37 .01" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. (Figura 1)



Figura 1. Ubicación geográfica de campo “Claudia” de agrícola Tepachoipa.
Fuente: los Autores (Google maps)

Tiene una altura de 51 metros sobre el nivel del mar. y presenta una topografía plana; El suelo tiene una profundidad media de 1,3 metros y una estructura franco arenosa. Las condiciones climáticas que prevalecieron durante el período de estudio fueron una precipitación máxima de 152 mm con una temperatura promedio de 25.2 °C y una humedad relativa promedio constante de 88%. En el presente estudio, se evaluó el nivel de humedad, estudiando las imágenes multiespectrales y la información recabada por los sensores físicos en campo para determinar las tendencias de ambos métodos de obtención de información.

El estudio se realizó en 4 fechas diferentes, para asegurar que existiera un nivel diferente de humedad para cada muestreo:

F1: 4 de octubre de 2019

F2: 20 de diciembre de 2019

F3: 30 de diciembre de 2019

F4: 29 de enero de 2019

Para la captura y recolección de datos se utilizó una muestra aleatoria simple con base en una población de 10 muestras por fecha, siendo 40 muestras en total, para ello se utilizó el sensor de campo DR-350, el cual puede observarse en la figura 2.



Figura 2. Sensor de Humedad DR-350.

El sensor de Humedad DR-350 permite tomar medidas de humedad de pie. El registrador de datos integrado del medidor puede registrar datos de varios sitios y elimina la necesidad de registrar datos manualmente. Los puntos de datos se pueden ver con la aplicación móvil FieldScout que mapea las medidas del suelo en ubicaciones GPS registradas. Las medidas también se pueden guardar en una unidad USB conectada al puerto USB integrado. (Fieldscout, 2017)

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- Humedad (%)
- Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

Para recopilar datos relacionados con la humedad, se realiza un muestreo previo en el que se elige arbitrariamente el número de 10 muestras por bloque, de modo que luego se calcula el número óptimo de muestras, lo que nos dará un intervalo de confianza para el error para estimar la media con un 95% de confianza, por lo que se utilizó la Ecuación 1 y 2 para estimar la suma.

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

Ecuación 1

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

Ecuación 1

Donde:

n = Longitud de la muestra.

N = Número total de unidades de muestreo para dividir la población

s^2 = Varianza muestral

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

d = Error máximo (desviación del valor real)

Para calcular los límites del error estimado de la media se utilizó la Ecuación 3 y para estimar la suma se utilizó la Ecuación 4.

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

Ecuación 2

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

Ecuación 3

Donde:

LI = límite Inferior

LS = Limite superior

\bar{y} = Media muestral

$z_{1-\alpha/2}$ = Quantum 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.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Ecuación 4

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

Ecuación 5

Donde:

\bar{y} = Media muestral

n = Tamaño de la muestra

s^2 = Varianza muestral

y = Muestras

En la recolección de datos relativos a la humedad se realizó un muestreo aleatorio simple de 10 muestras por bloque, con intervalos de confianza para el error de estimación del promedio con 95% de confiabilidad.

En la adquisición de los niveles de NDWI, se utilizó el dron DJI Phantom Vision 2 + con el sensor DJI FC 200, como se puede observar en la Figura 3.

El dron DJI Phantom Vision 2 incorpora cámara alta definición con transmisión de video y grabación en tarjeta SD. Su cámara permite realizar fotografías con una resolución de 14 megapíxeles, así como grabar vídeos a 1080p y 30 fps, o a cámara lenta con el modo 60 fps con resolución de 720p (Farlik, Kratky, Casar, y Stary, 2016)



Figura 3. DJI Phantom Vision 2 + con el sensor DJI FC 200.
Fuente: los Autores

Imágenes utilizadas: Se utilizaron ortofotos oficiales con una resolución de 25 cm.

Se utilizó “Agisoft PhotoScas” para procesar las imágenes adquiridas por el Dron.

El Agisoft PhotoScas Es un tipo de software autónomo que realiza el procesamiento óptico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D. (Barbasiewicz, Widerski, y Daliga, K. 2018).

La evaluación estadística se realizó mediante una prueba de comparación con un análisis de varianza de varios factores.

Resultados y discusión

Los resultados de los muestreos efectuados en los 4 grupos aparecen en las Tabla 1. En la columna izquierda de cada sector aparece los números de muestra y en la columna derecha aparece el nivel de humedad, en el renglón final aparece la desviación estándar de las muestras de cada bloque.

Tabla 1. Muestreo de los niveles de humedad del cultivo de papa.

F1: 4 de octubre de 2019		F2: 20 de diciembre de 2019		F3: 30 de diciembre de 2019		F4: 29 de enero de 2019	
Muestra	Humedad (%)	Muestra	Humedad (%)	Muestra	Humedad (%)	Muestra	Humedad (%)
1	25	1	72	1	81	1	81
2	32	2	65	2	78	2	82
3	22	3	62	3	77	3	79
4	21	4	42	4	81	4	81
5	32	5	72	5	65	5	78
6	27	6	72	6	75	6	82
7	28	7	31	7	81	7	83
8	25	8	75	8	82	8	82
9	26	9	25	9	79	9	79
10	24	10	45	10	81	10	79
σ	3.71	σ	18.71	σ	5.08	σ	1.71

Fuente: los Autores.

En la Figura 4. Se puede observar las imágenes multiespectrales capturadas en las diferentes fechas de muestreo.

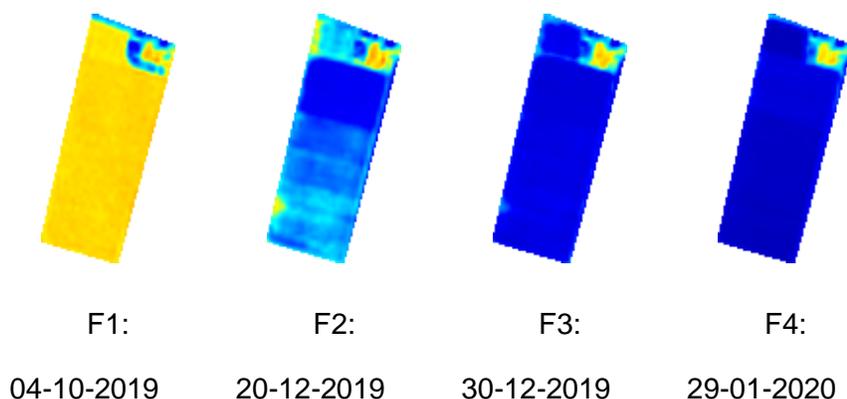


Figura 4. Imágenes Multiespectrales del lote en las 4 fechas diferentes de muestreo

La tabla 2 muestra 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 a la muestra con el sensor físico y representa la desviación estándar por las 10 muestras tomadas por las diferentes fechas.

Tabla 2. Muestreo de los valores de NDWI del cultivo de papa.

F1: 4 de octubre de 2019		F2: 20 de diciembre de 2019		F3: 30 de diciembre de 2019		F4: 29 de enero de 2019	
Muestra	NDWI	Muestra	NDWI	Muestra	NDWI	Muestra	NDWI
1	0.26	1	0.71	1	0.81	1	0.81
2	0.33	2	0.62	2	0.78	2	0.82
3	0.25	3	0.62	3	0.77	3	0.82
4	0.21	4	0.51	4	0.81	4	0.81
5	0.33	5	0.71	5	0.64	5	0.78
6	0.28	6	0.72	6	0.75	6	0.82
7	0.28	7	0.32	7	0.81	7	0.83
8	0.24	8	0.77	8	0.82	8	0.81
9	0.24	9	0.26	9	0.79	9	0.79
10	0.23	10	0.46	10	0.82	10	0.70
σ	0.04	σ	0.18	σ	0.05	σ	0.04

Fuente: los Autores.

En la Tabla 3 se muestran los valores de las medias de los muestreos en los diferentes bloques (F1, F2, F3 y F4).

Tabla 3. Medias de los Muestreos de valores de Humedad en el cultivo de papa.

F1:	F2:	F3:	F4:
-----	-----	-----	-----

26.2	56.1	78	80.6
------	------	----	------

Fuente: los Autores.

En la figura 5 se muestra de forma gráfica el comportamiento de la humedad en los diferentes bloques de muestreo.

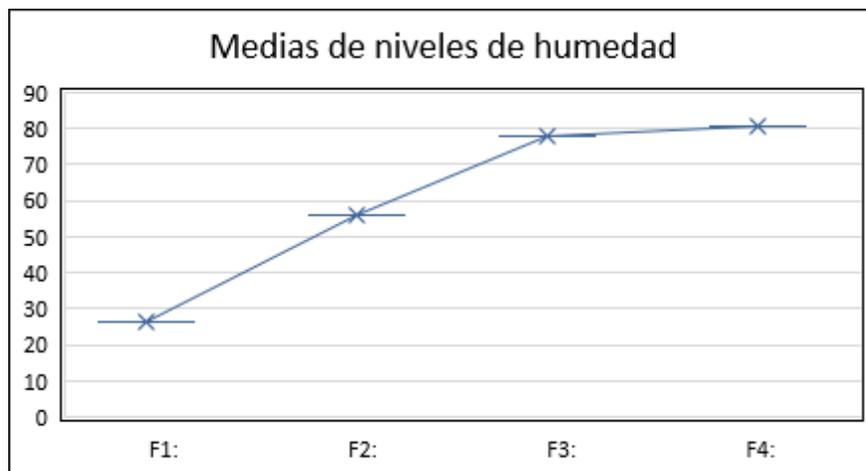


Figura 5. Medias de los niveles de humedad (muestreo manual).
Fuente: los Autores.

En la Tabla 4 se muestra las medias de los valores de NDWI obtenidos de las imágenes obtenidas mediante la utilización del Dron.

Tabla 4. Medias de los valores de NDWI del cultivo de papa.

F1:	F2:	F3:	F4:
0.265	0.570	0.780	0.799

Fuente: los Autores.

En la figura 6 se muestra de forma gráfica los valores de NDWI de los diferentes bloques de muestreo.

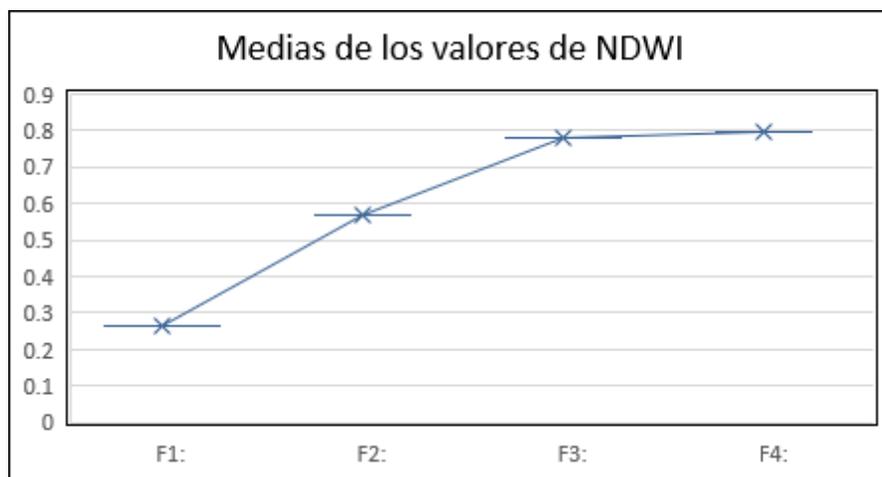


Figura 6. Medias de los valores de NDWI (muestreo a través de drones).
Fuente: los Autores.

Conclusiones

La investigación realizada se centró en el estudio de imágenes multiespectrales para determinar la humedad en cultivos de papa, de lo cual se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo con el coeficiente de correlación obtenido a partir de las medias de las muestras tomadas con el sensor físico de humedad DR-350 respecto a las medias de NDWI de las diferentes fechas de muestreo, se puede estimar un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9615$, lo que indica una muy alta correlación en sentido proporcional, la cual se puede observar en la Figura 7.

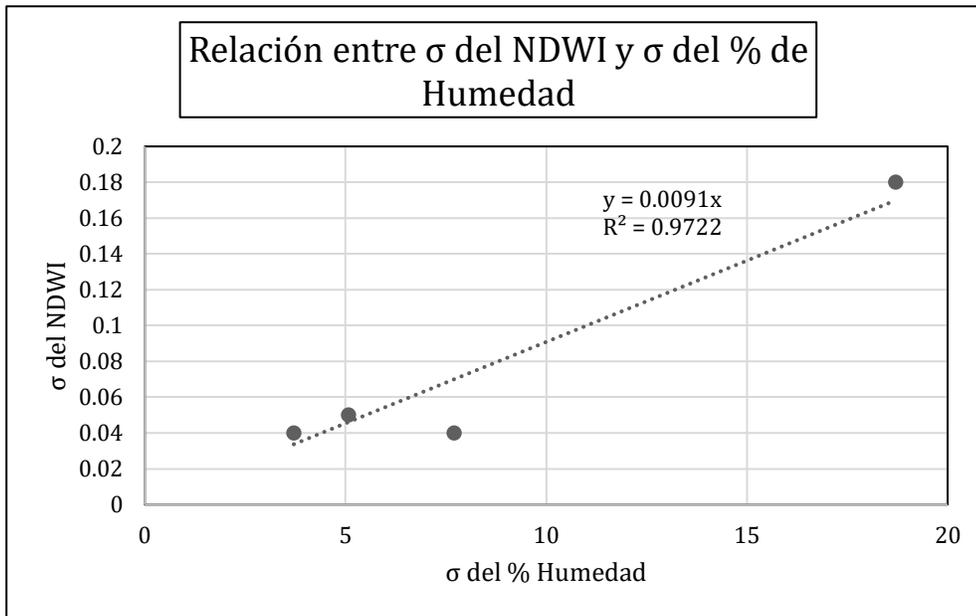


Figura 7. Coeficiente de correlación entre Grafica de las medias de las muestras tomadas con el sensor físico DR-350 respecto a las medias de NDWI de los bloques.

Fuente: los Autores

Las medias de los valores de NDVI presentan una fuerte relación con los niveles de humedad obtenidos en los mismos bloques de muestreo. De acuerdo con la información y análisis de datos se puede concluir que es posible determinar el nivel de humedad mediante el análisis de imágenes multiespectrales (NDWI) para detección temprana de estrés hídrico en los cultivos de papa, lo que permitirá una toma de decisiones en el manejo agronómico más rápido y eficiente.

Referencias bibliográficas

- Barbasiewicz, A., Widerski, T., & Daliga, K. (2018). The analysis of the accuracy of spatial models using photogrammetric software: Agisoft Photoscan and Pix4D. In E3S Web of Conferences (Vol. 26, p. 00012). EDP Sciences.
- 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
- Farlik, J., Kratky, M., Casar, J., & Stary, V. (2016). Radar cross section and detection of small unmanned aerial vehicles. In 2016 17th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME) (pp. 1-7). IEEE.

- Fieldscout. (2017), TDR 350 Medidor de Humedad de Suelos, Recuperado el día 15 de Octubre del 2021 de: [https://www.specmeters.com/assets/1/22/6435_TDR_350_manual_\(FS_App_images_-_print\)_es_.pdf](https://www.specmeters.com/assets/1/22/6435_TDR_350_manual_(FS_App_images_-_print)_es_.pdf)
- Hawkes, J. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. London: Belhaven Press Recuperado el 13 de Octubre de 2019.
- Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., Yang, G., Reynolds, M., Xia, X., y He, Z. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant science*, 282, 95-103.
- Olivares, B. O., y Hernández, R. A. (2019). Sectorización ecoterritorial para la producción agrícola sostenible del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Carabobo, Venezuela. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 323–338. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1462
- Oviedo, G. F. (2018). Distribución de la humedad en la disposición de emisores en el riego parcial de raíces en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).
- Pérez-Ortega, D. J. y Bolaños-Alomia, F. A (2021). Variables que influyen en la aplicación de la agricultura de precisión en Colombia: revisión de estudios. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 23(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2298
- Puebla, J. H. (2018). Efecto del exceso de humedad del suelo sobre el rendimiento en algunos cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(2), 3-7.
- Rojas E. (2011). Evaluación del desarrollo del cultivo de papa bajo escenarios de variabilidad climática interanual y cambio climático, en el sur oeste de la Sabana de Bogotá. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Lara-Sandoval, A. E., y Chaparro-Acuña, S. P. (2017). Cuantificación voltamétrica de carbofurano en papa (*Solanum tuberosum* L., Solanaceae). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 18(2), 275–284. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:627
- Rodríguez-Soto, G., Pinedo-Taco, R. E., y Sulca-Salazar, F. (2020). Efecto del aporque en el rendimiento y la rentabilidad en cultivares nativos de papa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–14. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1798
- 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>

Yang, X., Zhao, S., Qin, X., Zhao, N., y Liang, L. (2017). Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening. *Remote Sensing*, 9(6), 596.