

**EXPLORING UAV's REMOTE PERCEPTION OPTIONS FOR MONITORING
LEAF PECA (*Mycosphaerella fragariae* (Tul.)) IN STRAWBERRY CROP
(*Fragaria x ananassa* Duch)**

**EXPLORANDO OPCIONES DE PERCEPCIÓN REMOTA CON UAV's PARA
MONITOREO DE PECA DE LA HOJA (*Mycosphaerella fragariae* (Tul.)) EN EL
CULTIVO DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch)**

I.A Alexandra Estefania Fajardo Rojas

PhD. Leonides Castellanos Gonzalez

Universidad de Pamplona

Comité Editorial Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144

E-mail: alexandra.fajardo@unipamplona.edu.co

leonides.castellanos@unipamplona.edu.co

Abstract: The strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) is a crop of great importance worldwide for the volumes of consumption and the different preparations that use this fruit as raw material. In Colombia it is a productive chain with great annual yields, Norte de Santander is the third producing department before Cundinamarca and Antioquia. At the present time it is a very important productive line in the municipality of Pamplona. This crop is affected by different diseases among which is the freckle of the leaf caused by *Mycosphaerella fragariae* (Tul.), which makes the plantations decrease the yield and also affects the quality of the fruit. For this reason, this article explores the options in the use of remote sensing through UAV's for monitoring the disease in strawberry crops that favors decision making by producers as to whether it is convenient to make applications of fungicide inputs and how often to do so without incurring in applications that are ultimately on production costs.

Keywords: leaf speck, remote sensing, drone, precision agriculture.

Resumen: La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial por los volúmenes de consumo y las diferentes preparaciones que utilizan este fruto como materia prima. En Colombia es una cadena productiva con grandes rendimientos anuales, Norte de Santander es el tercer departamento productor antecedido por Cundinamarca y Antioquia. En la actualidad es un renglón productivo muy importante en el municipio de Pamplona. Este cultivo se ve afectado por diferentes enfermedades entre las que se encuentra la peca de la hoja causada por *Mycosphaerella fragariae* (Tul.), la cual hace que las plantaciones disminuyan el rendimiento y también se vea afectada la calidad de la fruta. Por esta razón, en el presente artículo, se exploran las opciones en el uso de percepción remota a través de UAV's para el monitoreo de la enfermedad en cultivos de fresa que favorezca la toma de decisiones por parte de los productores en cuanto si es conveniente realizar aplicaciones de insumos fungicidas y con que periodicidad hacerlo sin incurrir en sobre aplicaciones que finalmente son sobre costos a la producción.

Palabras clave: peca de la hoja, percepción remota, dron, agricultura de precisión.

1. INTRODUCCION

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) pertenece a la familia *Rosaceae*, es una especie híbrida del género *Fragaria*, su origen es discutido entre los Alpes Europeos y el sur de Chile (SIPSA, 2018). Dentro de las más de 160 especies del género *Fragaria* se puede mencionar el híbrido resultante del cruce de *Fragaria virginiana* y *Fragaria chiloensis*, dando como resultado *Fragaria ananassa*, nombre con el que se conoce todas las variedades de fresa (Angulo, 2009).

Actualmente es una de las frutas más ampliamente cultivadas alrededor del mundo, es un fruto muy apetecido por sus características de aroma y propiedades nutricionales únicas por lo que representa un renglón económico importante (Nizioł, Misiołek, & Ruman, 2019).

La fresa tiene diferentes usos tanto en consumo en fresco como en la producción de helados, jaleas, yogourts, sorbetes y otro tipo de productos (Lim, 2016) dado su alto valor nutricional y sus diferentes componentes fenólicos, los cuales son responsables de las propiedades antioxidantes y anti-inflamatorias, así mismo es una buena fuente de hierro, magnesio, yodo, cobre y fósforo (Giampieri et al., 2012).

El efecto antioxidante de la fresa en una dieta rica en polifenoles puede contribuir a la prevención del cáncer y diferentes enfermedades cardiovasculares, dolencias urinarias como piedras en los riñones y como complemento en los tratamientos de diabetes y otras enfermedades crónicas (Zlatković et al., 2014; Nizioł et al., 2019).

La fresa se ha convertido en un producto natural de importancia en la formulación de nuevas medicinas (Liberal et al., 2014), ejemplo de esto es la *Fragaria vesca* L. conocida como fresa salvaje, de la cual se ha reportado muchos beneficios para la salud atribuidos a los frutos, los cuales tienen radicales libres, antioxidantes y actividad anti-inflamatoria (Kanodia, et al., 2011).

Adicionalmente se ha demostrado que las hojas colectadas durante la floración pueden ser usadas en infusión o decocción de manera externa como antiséptico, emoliente y protector dermatológico, (Neves et al., 2009; Liberal et al., 2014). Internamente ha mostrado beneficios contra afecciones del sistema respiratorio, tales como tos, catarro y otras afecciones que afectan la garganta, así mismo a mostrado beneficio en el tratamiento de leucemia y cáncer de riñón y de mama (Patil, 2013; Zlatković et al., 2014).

En Colombia, la fresa (*Fragaria ananassa* Duch) es un cultivo de gran importancia, en el año 2018 se reportaron 2.675 hectáreas (ha) cultivadas (Figura 1) (MADR, 2018) de las cuales 2.161 fueron cosechadas durante el mismo año con una producción de 85.011 toneladas (t) para un rendimiento de 24,72 t/ha (*Tabla 1*) (MADR, 2018b; Agronet, 2018b).

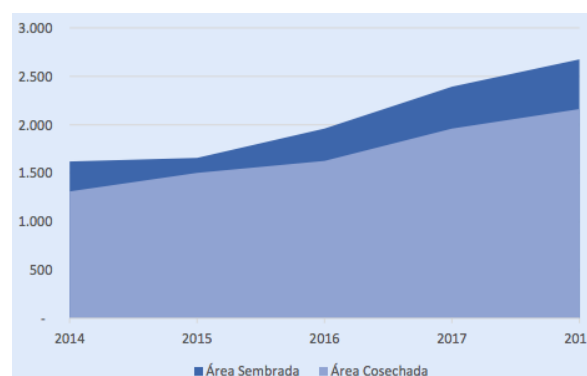


Figura 1. Área sembrada y área cultivada en fresa (*Fragaria ananassa* Duch) en Colombia (2014-2018). Fuente: (MADR, 2018)

Tabla 1. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento de fresa (*Fragaria ananassa* Duch) en Colombia (2007-2017).

Fuente: (MADR, 2018c).

Fresa Nacional	2014	2015	2016	2017	2018
Área sembrada (ha)	1.620	1.656	1.959	2.393	2.675
Área cosechada (ha)	1.311	1.503	1.626	1.960	2.161
Producción (ton)	44.553	55.719	61.468	80.293	85.011
Rendimiento (ton/ha)	22,33	22,49	24,39	26,23	24,72

Norte de Santander es el tercer departamento productor de fresa a nivel nacional, mientras que Cundinamarca es el principal productor, lo sigue Antioquia (MADR, 2016; MADR, 2018b).

En Norte de Santander los principales municipios productores de fresa son Silos, Pamplona y Cacota que reportan producciones de 1.225, 1.190, 560 ton, respectivamente (SIPSA, 2018). El cultivo de fresa es el segundo renglón productivo en el municipio de Pamplona (Maecha et al., 2019).

De acuerdo con los análisis de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), Colombia cuenta con 1.122.855 hectáreas aptas para el cultivo de fresa, ubicadas principalmente

en la región andina sobre las 3 cordilleras, adicionalmente, reporta que casi 2 millones de hectáreas tienen una aptitud media, lo que quiere decir que el cultivo se puede desarrollar con algunas adecuaciones a nivel de suelo, lo cual le deja al país casi un 3% de su área nacional para desarrollar el cultivo de fresa con alguna certeza de éxito a partir de las condiciones biofísicas que ofrecen estas áreas (UPRA, 2017).

En Colombia fueron muy importantes algunas variedades sembradas en las décadas de 1970 y 1980 entre las que se encuentran Chandler, Douglas, Pájaro y Oso Grande. Recientemente predominan las variedades Camino Real, Camarosa, Albión, Ventana, Sweet Charlie, Gaviota y Diamante, las cuales se caracterizan por ser resistentes a algunas enfermedades y tener buenos rendimientos. Además existen otras variedades más recientes como Palomar, Monterrey, San Andreas, Portolas y Caserta, con la particularidad de ser más precoces, resistentes a algunas enfermedades y de mayor producción (Angulo, 2009; SIPSA, 2018).

La fresa es un cultivo que puede adaptarse a muchos climas, prefiriendo los climas fríos ya que tolera las bajas temperaturas sin llegar a heladas que deterioran en gran medida su sistema reproductivo. A nivel mundial se puede encontrar fresa entre los 0 y los 3.000 msnm, en Colombia se desarrolla bien en alturas comprendidas entre los 1.900 y 2.600 msnm, con temperaturas que van desde los 10°C y los 18°C y humedad relativa entre 60 y 75%. En cuanto a precipitación el cultivo de fresa requiere entre 1.000 y 2.000 mm/año con una distribución uniforme (Angulo, 2009; SIPSA, 2018).

El cultivo se ve favorecido en suelos con texturas arenosas y franco arenosas, con buen drenaje, bien aireados para impedir que se presenten pudriciones radiculares y pH entre 5.7 y 6.5 con un porcentaje entre 2% y 5% de materia orgánica (Pennsylvania state University, 2014).

La fresa es una planta herbácea perenne de bajo crecimiento con un sistema de raíces fibrosas y una corona de la que surgen hojas basales (Rahman et al., 2016).

Las hojas son compuestas divididas en 3 folíolos separados llamado “trifolio”, el número de hojas y el total de la planta se correlaciona con la producción de fruta. Las hojas pueden vivir entre 1 y 3 meses si no ocurre un evento externo como helada, o mala práctica de irrigación (Barclay, 2012).

Las flores pueden ser perfectas y hermafroditas o imperfectas y unisexuales. La mayor parte de las fresas cultivadas comercialmente poseen flores perfectas y hermafroditas, agrupándose en inflorescencias (Angulo, 2009; Bolda et al., 2015). El fruto como tal es un tallo floral agrandado llamado receptáculo, el cual tiene muchas semillas incrustadas en la superficie, en

realidad lo que parecen semillas son los reales frutos de la fresa llamados aquenios (Barclay, 2012).

Tipicamente se desarrollan 5-6 frutos por encima de cada bractea pero pueden desarrollarse más. Los frutos son sensibles a heladas, a la falta de humedad en el suelo y a los daños causados por plagas (Bolda et al., 2015).

El sistema radicular es adventicio y fasciculado, debido a que de la base del tallo salen muchas raíces del mismo largo (Angulo, 2009), las raíces primarias pueden llegar a profundizar entre 20 y 35 cm, las raíces secundarias viven durante un período de días o unas pocas semanas y son reemplazadas constantemente. El propósito de las raíces es anclar la planta al suelo, capturar agua y capturar nutrientes del suelo que son necesarios para el crecimiento y la producción de los frutos (Barclay, 2012).

Las plantas de fresa se pueden reproducir ya sea por semillas o vegetativamente. La reproducción por semillas se usa para desarrollar nuevas variedades (Bolda et al., 2015).

El cultivo de fresa se desarrolla principalmente en sistemas de agricultura protegida sobre camellones acolchados que se realizan mediante maquinaria agrícola. El material más habitual es el polietileno negro, que cuando se recicla puede resistir varios ciclos, razón por la que el cultivo suele mantenerse durante algún tiempo en el mismo terreno (MAPAMA, 2019).

Las camas se hacen de 80 cm de ancho aproximadamente y las plantas se siembran en hileras de 2 separadas 30 cm, cuidando que las plantas no queden enfrentadas, con una densidad de 51.500 plantas por hectárea (ha) y un ciclo de producción que puede durar 18 meses (Angulo, 2009).

El cultivo continuo en el mismo terreno favorece el incremento en el ataque de patógenos, particularmente con altas temperaturas y humedad, lo cual es característico de los sistemas de agricultura protegida. Estos patógenos pueden afectar en cerca del 60% la producción de los cultivos dependiendo de la abundancia de patógenos (Zhang et al., 2020).

1.1 Mancha púrpura o peca de la fresa

La mancha púrpura o la peca de la fresa es producida por el hongo *Mycosphaerella fragariae* (Tul.) Lindau (anamorfo: *Ramularia brunnea* Peck.) específico del género *Fragaria* (Bolda et al., 2015). El hongo se reproduce asexualmente mediante conidios hialinos, cilíndricos, alargados, rectos o ligeramente curvados con 1 a 3 tabiques que forman pequeñas cadenas (MAPAMA, 2019).

Los síntomas son muy característicos, en el haz de las hojas se presentan manchas redondeadas

de color rojo y/o púrpura oscuro, de 2-4 mm de diámetro. Estas lesiones, con el tiempo aumentan de tamaño presentando una zona central de color blanquecino (blanco, gris o marrón claro) permaneciendo el borde de color púrpura. Las manchas pueden confluir formando amplias zonas necróticas que pueden producir la muerte de la hoja. La mancha púrpura también puede atacar a otros órganos de la planta, pecíolos, estolones y cáliz, produciendo lesiones similares, algo más alargadas en los tallos y estolones (Bolda et al., 2015).

La peca de la hoja ha sido informada entre las tres enfermedades foliares más importantes de la fresa en Pamplona, en 1917 el mayor nivel de incidencia se determinó en las veredas Jurado y Cariongo, destacándose la variedad Zabrina por presentar los niveles más bajos de incidencia y severidad y Ventana por ser la más afectada, mientras que Festival, Albión; Camino Real y Monterey quedaron estadísticamente intermedias entre estas dos (Baldovino, 2017).

El hongo sobrevive en las hojas y estolones infectados. Los conidios son dispersados por las salpicaduras de agua y penetran a través de los estomas foliares. La mancha púrpura se ve favorecida por períodos húmedos y fríos, las bajas temperaturas retrasan la madurez de las hojas y alargan el período de susceptibilidad. La germinación de conidios es máxima con 98-100% de humedad relativa y temperatura entre 15-20°C. El período de incubación de la enfermedad es de unas dos semanas (MAPAMA, 2019).

El seguimiento de la enfermedad según el Ministerio de Agricultura Gobierno de España (2019), se puede realizar al determinar el porcentaje de plantas infectadas en 25 plantas tomadas al azar por estación de control (EC). El elemento a observar es la planta, anotar la posible presencia de la enfermedad y el avance de la enfermedad, según la escala:

0: Ausencia de enfermedad

1: Planta con menos del 10% de la superficie foliar total afectada.

2: Planta entre el 10 y 25% superficie foliar total afectada.

3: Planta con más de 25% de la superficie foliar total afectada.

Sumar los valores obtenidos y dividirlo por las 25 plantas observadas.

Los muestreos de las enfermedades foliares de la fresa incluyendo la peca de la hoja en Pamplona se han realizado tomando 100 plantas/ha y usando una escala de seis grados y a partir de estos datos se estima la incidencia, la severidad y el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (Baldovino, 2017; Mahecha et al., 2020, Castellanos, Céspedes, & Baldovino, 2020 y Castellanos, Baldovino, Céspedes, & Rivera, 2020).

0= planta sin síntomas de deficiencia.

1= la planta presenta un síntoma de deficiencia entre un 5 % del área foliar.

2= la planta presenta un síntoma de deficiencia entre un 6 - 25 % del área foliar.

3= la planta presenta un síntoma de deficiencia entre un 26 - 50 % del área foliar.

4= la planta presenta un síntoma de deficiencia entre un 51 - 75 % del área foliar.

5= la planta presenta un síntoma de deficiencia mayor de un 76 % del área foliar.

Entre las medidas de control preventivo se encuentra utilizar material vegetal sano, variedades resistentes y disminuir la densidad de plantación. Las medidas de control químico son complementarias, la eliminación de hojas infectadas reduce la cantidad de inóculo, minimizar el riego por aspersión para reducir la dispersión de las esporas del hongo (Bolda et al., 2015), no obstante, Castellanos et al. (2020b) comprobaron bajo las condiciones de Pamplona que en el tratamiento con aplicaciones preventivas con microorganismos de montaña la severidad de la enfermedad y el Área Bajo a Curva de Progreso de la Enfermedad fueron estadísticamente más bajos que un testigo sin tratamiento.

1.2 Uso de UAV's en la agricultura

La población ha incrementado y se espera que para 2050 seamos 9 billones de personas en el mundo, por lo que la necesidad de alimentos incrementa en la misma proporción (OECD & FAO, 2016). La agricultura tiene grandes retos para producir más y mejores alimentos, uno de los retos incluye la diversificación de alimentos y fuentes alimenticias para la población creciente. En 2014 la FAO estimó que la producción de alimentos debe incrementar de las actuales 8.4 billones de toneladas a al menos 13.5 billones de toneladas por año para 2050 (FAO, 2014).

El sector agrícola es el más promisorio con grandes retos porque depende de las condiciones climáticas, de suelo, y cantidad y calidad de agua para riego; por lo que el uso de nuevas tecnologías es clave para aumentar la producción agrícola (SOU, 2015).

Sin embargo uno de los más grandes limitantes es el hecho de que para responder a estas demandas se requiere la innovación y la investigación que los agricultores no pueden costear (Norrman & Svensson, 2016), sin embargo se impone el uso de la agrónoma, la agricultura de precisión y la automatización en todos los procesos que sea posible (Pardo & Castellanos, 2017).

La mayor aplicación del uso de drones o vehículos aéreos no tripulados (unmanned aerial vehicle UAV) en la agricultura es en riego, monitoreo

de cultivos, análisis de suelos y control de aves (Ahirwar et. al., 2019). La percepción remota con UAV's esta cambiando el panorama de la agricultura de precision en el mundo, con esta tecnología se logran resoluciones espectrales, espaciales y temporales sin precedente (Maes & Steppe, 2018).

Los sistemas aéreos no tripulados (Unmanned aerial systems UAS) son una oportunidad para ser competitivos reduciendo los daños en el medio ambiente, reduciendo la huella ecológica e incrementando la producción (Freeman & Freeland, 2014).

Los UAV's, tienen algunas ventajas para su uso en la agricultura, son utilizados como una herramienta para la toma de desiciones, es seguro y puede volar por tiempos prolongados evitando la fatiga del trabajo manual por parte del hombre, recibe ordenes y las ejecuta de manera precisa, las maniobras pueden ser replicadas bajo diferentes contextos y regiones (Ahirwar et al., 2019).

Los dornes son una tecnología relativamente reciente que se ha convertido en un gran apoyo para el cumplimiento de actividades que anteriormente requerian gran esfuerzo humano, estas aeronaves pueden cumplir con varios servicios incluidos algunos relacionados con la agricultura (Peralta, 2018).

La percepción remota (remote sensing) o teledetección está basada en la percepción de objetos debido a la refracción de la luz en un rango específico de longitud de ancho. Así pueden percibirse de manerra remota objetos en el espectro de luz visible al ojo humano o no mediante dispositivos especializados (Ojeda et. al., 2016).

La aplicación de la percepción remota al estudio de los recursos naturales ha sido de gran interés porque permite tener información a apartir de la cual se pueden detectar rasgos específicos de dichos recursos (González et. al., 2016).

El proceso de percepción remota inicia en un emisor o fuente de energía que emite ondas electromagnéticas a través de la atmósfera. La energía es reflejada y enviada, igualmente a través de la atmósfera, hacia el sensor remoto que recibe las ondas reflejadas. La energía es transformada para ser registrada ya sea en forma gráfica o digital. El último paso en el uso de la percepción remota es el análisis, procesamiento e interpretación de la información a fin de cumplir con los objetivos del estudio propuesto (Figura 2) (Ojeda et al., 2016).

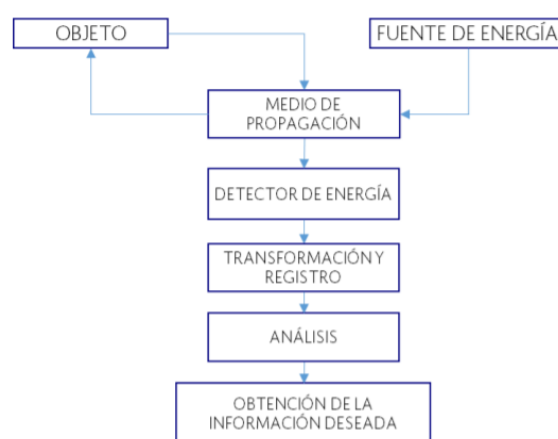


Figura 2. Proceso de percepción remota.

Fuente: Ojeda et al. (2016).

La firma espectral es la curva que relaciona la intensidad de radiación de la energía reflejada o emitida por un determinado objeto en las diferentes longitudes de onda. Las técnicas de análisis multiespectral sirven para evaluar distintos tipos de alteraciones fisiológicas de los cultivos, esta información se analiza con datos auxiliares sobre el terreno y el desarrollo fenológico del cultivo (Maes & Steppe, 2018). Alonso en 2006 identifica los valores tipicos de relectancia de diferentes materiales sobre la superficie de la tierra para así identificar firmas espectrales típicas (Alonso, 2006).

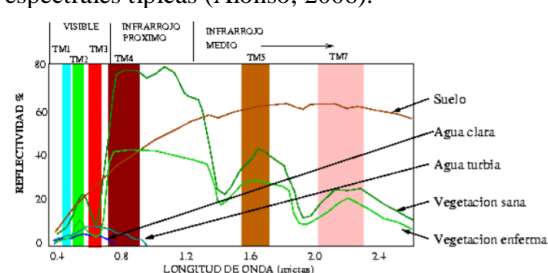


Figura 3. Ejemplos de firmas espectrales de diferentes materiales.

Fuente: Alonso, (2006).

Algunos de los sensores más conocidos son: cámara RGB (Red-Green-Blue), son económicas y tienen una alta resolución espacial pero una pobre resolución espectral (Nijland et al., 2014), estas pueden ser usadas para calcular índices de vegetación o para generar modelos digitales de elevación. Las cámaras RGB modificadas, a las cuales se les reemplaza el filtro rojo por el infrarrojo cercano (near infrared NIR). Otro tipo son las cámaras multiespectrales, con mejor resolución espectral, la cual consiste en una set de sensores con diferentes lentes, con cada sensor sensible a una región del espectro. Cámaras multiespectrales que cubren el espectro completo, la región más comun es de 400-1.000 nm. La combinación de estas cámaras con UAV's aún esta en desarrollo y se espera que en los proximos anos tenga la calidad que se

requiere. Finalmente las cámaras termicas, típicamente tienen baja resolución con un sensor que es sensible a la región del infrarojo de onda larga (Maes & Steppe, 2018).

Cuatro clases de sensores cubren prácticamente todas las aplicaciones de los UAV's para percepción remota en agricultura de precisión (Tabla 2).

Tabla 2. Aplicación de diferentes sensores en la agricultura.

Fuente: Maes & Steppe (2018).

Aplicación		Tipo de sensor/cámara			
		RGB	Multiespectral (banda ancha)	Hyperespectral (banda corta)	Termica
Estrés hídrico	Detección en estados tempranos	-	-	Adecuada	Muy adecuada
	Consecuencias de largo termino	-	Muy adecuada	Muy adecuada	Adecuada
Detección de patógenos	Detección en estados tempranos	-	-	Muy adecuada	Muy adecuada
	Severidad de la infección	Muy adecuada	Muy adecuada	Muy adecuada	adecuada
Detección de arvenses	Discriminación espectral	-	Adecuada	Muy adecuada	-
	Identificación de objetivo	Muy adecuada	Muy adecuada	-	-
Estado nutricional		Adecuada	Muy adecuada	Muy adecuada	Adecuada
Crecimiento	Estado de crecimiento	Muy adecuada	-	-	-
	Altura y biomasa	Muy adecuada	Muy adecuada	-	-
Predicción de rendimiento		Adecuada	Muy adecuada	-	-

2. CONCLUSIONES

- La fresa es un cultivo de gran importancia tanto a nivel mundial como nacional, Pamplona es un municipio donde la producción de fresa es uno de los renglones económicos más importantes en la economía municipal.
- La percepción remota ha demostrado ser importante en la agricultura y se han desarrollado grandes avances en diferentes cultivos y con diferentes herramientas que ya han cementado un camino para realizar investigaciones específicas en localidad y cultivo.
- La señal espectral de los cultivos es la fuente de información más importante que se puede tener para realizar estudios asociados con percepción remota en cualquier cultivo y para cualquier necesidad específica.
- Es necesario realizar la investigación puntual del comportamiento espectral de la peca de la hoja en el cultivo de la fresa para desarrollar conocimiento que sumado al conocimiento ya registrado se logra un mejor entendimiento y manejo de los cultivos que favorezca la economía de los productores.

REFERENCIAS

- Agronet. (2018). *Ficha Técnica Midazolam*. Retrieved from <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., y Namwade, G. (2019). *Application of Drone in Agriculture*. 8(01), 2500–2505.
- Alonso, F. (2006). *Sistemas de información geográfica*. Retrieved from <https://www.um.es/geograf/sigmur/temario.html/>
- Angulo, R. (2009). Fresa. *Bayer Crop Science*. Retrieved from https://www.cropscience.bayer.co/~media/BayerCropScience/Peruvian/Country-Colombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA_baja.ashx
- Baldovino, A. (2017). *Enfermedades foliares más importantes del cultivo de la fresa en Pamplona, algunas alternativas de control*. Universidad de Pamplona.
- Barclay, E. (2012). *Strawberry Plant Structure and Growth Habir*. NC State University.
- Bolda, M., Dara, S., Soto, J., Fallon, J., Sánchez, M., y Peterson, K. (2015). *Manual de producción de Fresa para los agricultores de la Costa Central*. Cdfa, 12–17.
- Castellanos, L., Baldovino, A., Céspedes, N., y Rivera, X. (2020). *Biopreparados para el control de enfermedades foliares de fresa, Pamplona, Colombia, aún una solución parcial*. JONNPR, 9, 933–951.
- Castellanos, L., Céspedes, N., y Baldovino, A. (2020). *Alternativas orgánicas para el logro de producciones más limpias de la fresa en Pamplona, Norte de Santander*. INGE CUC, 16(1), 1–12.
- FAO. (2014). *Building a common vision for sustainable food an agriculture*. Roma.
- Freeman, P. K., y Freeland, R. S. (2014). *Politics y technology: U.S. policies restricting unmanned aerial systems in agriculture*. Food Policy, 49, 302–311.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., y Battino, M. (2012). *The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health*. Nutrition, 28(1), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>
- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., y Sarmiento, F. (2016). *Drones aplicados a la agricultura de precisión*. Revista Especializada En Ingeniería, 10. Retrieved from http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1930?locale=fr_FR
- Kanodia, L., Borgohain, M., y Das, S. (2011).

- Effect of fruit extract of Fragaria vesca L. on experimentally induced inflammatory bowel disease in Albino rats.* Indian Journal of Pharmacology, 43, 18–21. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.75660>
- Liberal, J., Francisco, V., Costa, G., Figueirinha, A., Amaral, M. T., Marques, C., ... Batista, M. T. (2014). *Bioactivity of Fragaria vesca leaves through inflammation, proteasome and autophagy modulation.* Journal of Ethnopharmacology, 158, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.09.043>
- Lim, T. K. (2016). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants.* Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants, 10, 1–659. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7276-1>
- MADR. (2016). *Evaluaciones Agropecuaria Municipales.*
- MADR. (2018a). *Área sembrada y área cosechada del cultivo de Fresa 2007-2017.* In Agronet. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/Documents/Arveja.pdf>
- MADR. (2018b). *Subsector Productivo de la Fresa. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales.* Retrieved from <file:///Users/imac/Downloads/2019-03-30 Cifras Sectoriales.pdf>
- MADR. (2018c). *Subsector Productivo de la Fresa. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales.*
- Maecha, J., Castellanos, L., y Céspedes, N. (2019). *Incidencia y severidad de los síntomas de deficiencia de fósforo en el cultivo de fresa en las condiciones de Pamplona, Colombia.* (March).
- Maes, W. H., y Steppe, K. (2018). *Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture.* Trends in Plant Science, 24(2), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.007>
- Mahecha Molina, J. G., Catellanos González, L., y Céspedes Novo, N. (2020). *Alternativas para suplir la carencia de fósforo en fresa y disminuir la contaminación ambiental en Pamplona Norte de Santander.* Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 1, 1–11.
- MAPAMA. (2019). *Fresa y fresón.* Retrieved from https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/guiagipfresayfreson_tcm30-507859.pdf
- Neves, J. M., Matos, C., Moutinho, C., Queiroz, G., y Gomes, L. R. (2009). *Ethnopharmacological notes about ancient uses of medicinal plants in Trás-os-Montes (northern of Portugal).* Journal of Ethnopharmacology, 124(2), 270–283. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.04.041>
- Nijland, W., Jong, R. De, Jong, S. M. De, Wulder, M. A., Bater, C. W., y Coops, N. C. (2014). *Agricultural and Forest Meteorology Monitoring plant condition and phenology using infrared sensitive consumer grade digital cameras.* Agricultural and Forest Meteorology, 184, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.007>
- Nizioł, J., Misiołek, M., y Ruman, T. (2019). *Mass spectrometry imaging of low molecular weight metabolites in strawberry fruit (Fragaria x ananassa Duch.) cv. Primoris with 109 Ag nanoparticle enhanced target.* Phytochemistry, 159(November 2018), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.11.014>
- Norrman, C., y Svensson, E. (2016). *Grönovations pargårdsstudie, projektrapport Grönovationsprojektet.* Linköping: Linköpings Universitet.
- OECD y FAO. (2016). *OECD-FAO Agricultural outlook 2016-2025.* OECD Publishing.
- Ojeda, W., Flores, J., y Ontiveros, R. (2016). *Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico* *Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico.*
- Pardo, A., y Castellanos, L. (2017). *Automation of environments in greenhouses simulating future scenarios.* RCTA, 1(29), 133–137.
- Patil, S. D. (2013). *A recent review on anticancer herbal drugs.* Journal of Drug Discovery and Therapeutics, 1(06), 77–84. Retrieved from <http://www.jddt.in/index.php/jddt/article/view/106>
- Pennsylvania state University. (2014). *The Mid-Atlantic Berry Guide for commercial growers 2013-2014* (C. E. C. of A. Sciences, Ed.). PennState.
- Peralta Pinto, J. C. (2018). *VINCULACIÓN DE LA AVIACIÓN NO TRIPULADA A LA AVIACIÓN CONVENCIONAL.* 1–27. Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18338/PeraltaPintoJuanCamilo2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rahman, I. M. M., Begum, Z. A., Yahya, S., Lisar, S., Motafakkerazad, R., y Cell, A. S.-P. (2016). *Complimentary Contributor Copy.*
- SIPSA. (2018). *Informe de contexto sectorial.*
- SOU. (2015). *Attraktiv, innovativ och hållbar—strategi för en konkurrenskraftig jordbruks- och trädgårdsnäring.* Stockholm: Fritzes, 15.
- UPRA. (2017). *ZONIFICACIÓN DE APTITUD PARA EL CULTIVO COMERCIAL DE*

- FRESA, ESCALA 1:100.000. Julio 2017.
- Zhang, D., Yan, D., Cheng, H., Fang, W., Huang, B., Wang, X., ... Cao, A. (2020). *Effects of multi-year biofumigation on soil bacterial and fungal communities and strawberry yield*. Environmental Pollution, 256. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113415>
- Zlatković, B. K., Bogosavljević, S. S., Radivojević, A. R., y Pavlović, M. A. (2014). *Traditional use of the native medicinal plant resource of Mt. Rtanj (Eastern Serbia): Ethnobotanical evaluation and comparison*. Journal of Ethnopharmacology, 151(1), 704–713. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.11.037>