

Artículo de Investigación

Aproximación espacial para la identificación de áreas de huertos familiares en zonas rurales: el caso de Sinincay – Cuenca – Ecuador

A spatial approach for the identification the family orchards areas in rural areas: the case of Sinincay -Cuenca – Ecuador

Enrique Flores Juca¹, Eric Gielen², Viviana Lucero Guailazaca³

¹Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura, Cuenca, Ecuador, 010109

² Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 46022; egielen@urb.upv.es

³ Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura, Cuenca, Ecuador, 010402; viviana.lucero@ucuenca.edu.ec

*Correspondencia: enrique.flores@ucuenca.edu.ec

Citación: Flores, E., Gielen, E., & Lucero, V., (2023). Aproximación espacial para la identificación de áreas de huertos familiares en zonas rurales: el caso de Sinincay – Cuenca – Ecuador. *Novasinerгия*. 6(1). 136-149.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.11.09>

Recibido: 02 enero 2023

Aceptado: 14 enero 2023

Publicación: 17 enero 2023

Novasinerгия
ISSN: 2631-2654

Resumen: Cartografiar usos del suelo y delimitar ámbitos de estudio en las zonas periféricas de las ciudades ha sido uno de los temas centrales de la literatura sobre estudios urbanos y territoriales en países latinoamericanos con difícil acceso a datos en donde los procesos de transformación son acelerados. El objetivo de este estudio fue proponer una metodología aplicable para la detección de áreas de huertos familiares en zonas rurales de Cuenca. Se partió del uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y procesos de clasificación no supervisados para identificar las posibles áreas de cultivos y con base en ello se definieron criterios espaciales para clasificar e identificar los huertos familiares, basados en las características propias de los huertos. Se identificó en campo un total de 699 huertos. Por lo tanto, este estudio es una primera aproximación a la identificación de huertos familiares en zonas rurales, y constituye una información de gran utilidad para los gobiernos locales, quienes son los encargados de impulsar estas actividades y a su vez mejorar las condiciones de producción, movilización y comercialización del grupo vulnerable que se dedica a la actividad agrícola de subsistencia. Es así como esta investigación puede ser replicada en diferentes localidades y contextos geográficos.

Palabras clave: Cultivos, Sentinel-2, Teledetección, Usos de suelo.

Abstract: Mapping land use and delimiting study areas in the peripheral zones of cities has been one of the central themes of the literature on urban and territorial studies in Latin American countries with difficult access to data where transformation processes are accelerated. The objective of this study was to propose an applicable methodology for the detection of home garden areas in rural areas of Cuenca. It was based on the use of Sentinel-2 satellite images and unsupervised classification processes to identify possible cultivation areas. Based on this, spatial criteria were defined to classify and identify home gardens, based on the characteristics of the gardens themselves. A total of 699 gardens were identified in the field. Therefore, this study is a first approximation to the identification of home gardens in rural areas and constitutes very useful information for local governments, who are responsible for promoting these activities and in turn improving the production, mobilization, and marketing conditions of the vulnerable group that engages in subsistence agriculture. Thus, this research can be replicated in different localities and geographical contexts.

Keywords: Cropland, Sentinel-2, Remote sensing, Land use.



Copyright: 2023 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC).

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

A mediados del siglo XX, Latinoamérica inició un proceso de industrialización que provocó cambios en sus estructuras espaciales, como consecuencia se desató un enorme flujo de migración definitiva del campo a la ciudad, atraídos por la propaganda de cultura urbana, los servicios y las oportunidades de empleo que ofrece el modelo de ciudad (Ruiz-López, Vieyra & Méndez-Lemus, 2021a). Esta migración propició la densificación y expansión de las ciudades (Güneralp, Reba, Hales, Wentz & Seto, 2020). Desde la década de los 80, las ciudades latinoamericanas mostraron un crecimiento urbano fragmentado asociado a un nuevo modelo de desarrollo económico basado en el neoliberalismo y fuertemente influenciado por la globalización (Flores-Juca, Mora-Arias & Chica-Carmona, 2020). Según Flores (2022), el modelo fragmentado de ciudad se conforma espacialmente por elementos lineales (nuevas autopistas) y celulares (asentamientos dispersos y diversos en el periurbano). Estos elementos han motivado la expansión de espacio urbano hacia la periferia tanto en ciudades medias como grandes. En el primer caso la urbanización se ha caracterizado por un intenso crecimiento demográfico y físico (Wójtowicz, 2014; Ruiz López, Viera & Méndez-Lemus, 2021b).

A medida que la mancha urbana avanza con usos residenciales hacia los territorios rurales, se reduce la cantidad y calidad de los suelos con vocación agrícola y de protección natural, es decir se contrae el área disponible para la producción de alimentos, con la consiguiente pérdida de biodiversidad, así como el incremento de las emisiones de carbono y la disminución en la prestación de los servicios ecosistémicos (Baldini, Marasas, Tittonell & Drozd, 2022). Por otra parte, los suelos agrícolas son reemplazados por nuevos usos residenciales, los cuales combinan características urbanas y rurales e incluyen diferentes tipos de paisajes, como espacios agrícolas y zonas urbanas edificadas consolidadas y dispersas que se construyen sin planificación y de forma descontrolada (Cattivelli, 2021; Follmann, Willkomm & Dannenberg, 2021; Donoso, 2016). De este modo, un control activo de la expansión del suelo urbano, especialmente en las ciudades pequeñas y medianas, será fundamental para salvaguardar las tierras agrícolas (Güneralp, Reba, Hales, Wentz & Seto, 2020).

El fomento de actividades agrícolas multifuncionales sería una solución para conservar su biodiversidad y los servicios ecosistémicos, esto complementado con una adecuada planificación territorial que promueva un desarrollo más inclusivo dirigido a los sectores sociales y productivos tradicionalmente desatendidos. En el caso de Cuenca, su área periurbana y rural sigue manteniendo un paisaje multifuncional, con una diversidad de actividades productivas (horticultura, ganadería, agricultura extensiva, lechería, producción de huevos y pollos, entre otras). Sin embargo, la intensa urbanización no planificada ha ido ganando terreno en las últimas décadas poniendo en riesgo la infraestructura ecológica, la agricultura y los medios de vida de la población rural. En este contexto, la importancia de preservar los suelos agrícolas mediante la práctica de la agricultura tanto en el área periurbana como rural es la más adecuada y apoyada por la literatura (Kassis, Bertrand & Pecqueur, 2021). Según datos obtenidos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (en inglés FAO) una gran parte de la producción de alimentos en el mundo proviene de la agricultura familiar periurbana y rural (Salcedo & Guamán, 2014). De este modo, la FAO propone la Agricultura Urbana y Periurbana (AUP) como estrategias para el fortalecimiento de la agricultura familiar y la gestión de estas áreas además de contribuir a la soberanía alimentaria y la economía local (FAO, 2014). Las AUP son actividades que se realizan en huertos, parcelas y otros pequeños campos cerca o dentro de los límites urbanos cuyo objetivo es producir alimentos para la venta o el autoconsumo, incluido el cultivo de plantas y la cría de animales. Por otra parte, la agricultura que se practica en el área rural es aquella que se encuentra más alejada de los límites urbanos o de las zonas de expansión de las ciudades y las actividades de

agricultura se presentan de manera más intensa. Estos territorios rurales generalmente son carentes de servicios e infraestructuras y sus actividades agrícolas no se desarrollan de manera técnica.

En los territorios rurales del Ecuador, se presentan grupos de habitantes, generalmente encabezados por mujeres que se dedican a la agricultura ya sea para autoconsumo o comercialización. La agricultura es la principal fuente de empleo para ellas en las zonas rurales, ocupando un rol predominante en la producción de alimentos a pequeña escala, la preservación de la biodiversidad, la recuperación de prácticas agroecológicas y, por tanto, en la garantía de la soberanía y la seguridad alimentaria y nutricional de los países en vías de desarrollo (FAO, 2014). El desarrollo rural requiere cambios que permitan la revalorización de las áreas rurales sobre nuevas fuentes de renta. La participación activa y formal de las mujeres en esta mutación resulta clave, aunque se necesitan instrumentos económicos para fomentar su empoderamiento además de la implantación de políticas de gestión de actividades que van a requerir de herramientas tecnificadas o tecnológicas que permitan conocer los territorios con claridad y los usos de suelo que se presentan (Buendía-Martínez & Carrasco, 2013).

De manera general la práctica de la agricultura desempeña un papel fundamental en lo económico, social y ambiental (Echeverri & Ribero, 2002). Varios autores sostienen que la práctica de la AUP y rural desempeña un papel fundamental en la sostenibilidad y resiliencia urbana; en el cambio climático y la conservación del medio ambiente, la seguridad alimentaria y nutrición, y mitigación de la pobreza (FAO, 2014; Clavijo Palacios & Cuvi, 2017). Por otro lado, conservar los territorios donde se practican estas actividades requiere de la creación de acciones y políticas; sin embargo, estos territorios no tienen la debida atención por ejemplo en varios países latinoamericanos la ausencia de políticas en materia de agricultura urbana y periurbana son inexistentes. A pesar de esto, la tierra y los recursos naturales se utilizan cada vez más intensamente, lo que resulta en la degradación de la tierra (Manzanal, 2017).

Para los procesos de planificación y delimitación de las áreas de estudio es necesario contar con información cartográfica actualizada. Las zonas de cultivo están constantemente sujetos a variaciones ocasionadas por el cambio climático y el acelerado crecimiento urbano, entonces es necesario obtener información sobre la ubicación, forma, extensión espacial y ciertas características de los cultivos. Ante esta necesidad, autores como Follmann, Willkomm, & Dannenberg (2021) y Masoud, Persello, & Tolpekin (2020) aseveran la necesidad de información actualizada para gestionar las áreas de cultivo y su importancia para conocer el porcentaje de las áreas terrestres dedicadas a la agricultura a fin de evaluar y comparar el crecimiento y las condiciones de los cultivos. En los países del norte se han realizado inventarios de tierras, para obtener información oportuna y precisa sobre las tierras de cultivo. Programas como el Sistema Mundial de Información y Alerta (SMIA), el Monitor de Cultivos de Alerta Temprana y la Red de Sistemas de Alerta Temprana contra la Hambruna (FEWSNET), se encargan de dar seguimiento a nivel mundial de las áreas de cultivo. Sin embargo, en países de Latinoamérica este tema no ha sido abordado en su totalidad.

El uso de la teledetección (en inglés *remote sensing*) ofrece la posibilidad de realizar un seguimiento global de las tierras de cultivo de forma espacialmente explícita, económica, eficiente y objetiva (Weiss, Jacob, & Duveiller, 2020). La teledetección es una técnica para observar la superficie terrestre desde el espacio mediante satélites por los cuales se obtiene información de objetos o áreas de la superficie de la Tierra sin estar en contacto directo con el objeto o área. La mayoría de los dispositivos de teledetección registran información sobre un objeto midiendo la transmisión de energía electromagnética de las superficies reflectantes y radiantes. Las 13 bandas espectrales de Sentinel-2 transmiten una información satisfactoria, no obstante, su potencial para la detección y delineación de límites agrícolas no se ha explorado completamente y requiere en algunos casos el apoyo de otros

procesos para su completo desarrollo. Esta técnica es utilizada en varias áreas de estudio como en la detección y monitoreo de inundaciones, detección de la calidad del aire, monitoreo de actividad sísmica, detección de la expansión urbana, y detección y control de actividades como la agricultura, que ha sido abordada en las últimas décadas por lo tanto se encuentra en desarrollo y con buenos resultados (Weiss, Jacob & Duveiller, 2020).

Se han efectuado numerosas investigaciones, para identificar las áreas de cultivo, y en estas se han utilizado metodologías de clasificación de imágenes de satélite de alta y media resolución (Waldner et al., 2016). La teledetección al ser una herramienta para gestionar y monitorear la agricultura ofrece la posibilidad de realizar un seguimiento global de las tierras de producción agrícola de forma eficiente y objetiva, además, es una herramienta no invasiva y permite obtener resultados en tiempo real (Yu et al., 2013; Frere & Popov, 1979; Kennedy & Payongayong, 1992; Uganai & Kogan, 1998; Brown & McCarty, 2017).

El reciente lanzamiento del satélite Sentinel-2 por parte de la Agencia Espacial Europea ha permitido el acceso a imágenes satelitales de resolución espacial moderada a alta (10-30m) y de libre acceso para ser utilizadas con otras aplicaciones en varios estudios como la agricultura, la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la clasificación de cultivos (Sonobe et al., 2018; You et al., 2021), el control de desastres entre otros (Forkuor, Dimobe, Serme, & Tondoh 2018; Caballero, Ruiz, & Navarro, 2019). Por esta razón en este estudio nos centramos en el análisis de las imágenes de Sentinel-2, disponibles bajo una política de datos abiertos (Masoud, Persello, & Tolpekin, 2020), al ser parte importante del proceso metodológico propuesto y que será explicado posteriormente.

Varios estudios abordan diversos procedimientos y metodologías para la definición de áreas de huertos y de cultivos. Tal es el caso de Flevoland, Países Bajos en donde el objetivo del estudio es delimitar zonas de campos agrícolas utilizando imágenes satelitales libres de Sentinel 2 (resolución media) para lo cual se utiliza una técnica de análisis automático basado en algoritmos (deep learning) capaz de extraer elementos como los bordes y curvas de una imagen de entrada determinada para solucionar problemas de clasificación. El estudio concluye con la producción de cartografía con la delimitación de los campos agrícolas a una resolución de 5m. Esta experiencia holandesa ha demostrado que con el uso de tecnología y la disponibilidad de recursos (información) se puede obtener resultados rápidos y eficientes de estas localidades. La FAO plantea otro ejemplo con una metodología de zonificación agroecológicas (ZAE) que define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Sin embargo, esta metodología presenta ciertas limitaciones ya que debe disponer de un listado de información que en algunos casos se encuentra obsoleta o incompleta, además de que su procesamiento se convierte en un trabajo laborioso y costoso (Masoud, Persello, & Tolpekin, 2020; Persello, Tolpekin, Bergado, & De By, 2019).

Por último, el objetivo de este estudio es generar un proceso metodológico para la detección de áreas de cultivos aplicable en ciudades latinoamericanas, con la tecnología disponible y de acceso público. De esta forma en este trabajo se desarrollará a partir del uso de Sentinel-2, la construcción de variables que permiten clasificar los tipos de suelo y el trabajo en campo que permita validar este proceso.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El cantón Cuenca se conforma por una cabecera cantonal, la ciudad, y por 21 parroquias rurales cada una conectada al centro urbano por medio del sistema de infraestructura vial. La ciudad de Cuenca es la tercera ciudad más poblada del Ecuador con cerca de 500 000 habitantes (INEC,

2010) y la principal en actividades económicas en el sur del país. En los últimos 30 años, el área urbana oficial de la ciudad se ha triplicado pasando de 2,7 hectáreas en 1982 a 7,3 hectáreas en 2010, este crecimiento ha afectado a las zonas de conservación, áreas naturales y suelos agrícolas (Gielen et al, 2019).

Sinincay es una de las 21 parroquias rurales del cantón Cuenca (ver Figura 1). Fue fundada en el año 1898 convirtiéndose en una de las parroquias más antiguas. Según el último censo realizado en el país, 2010, tiene una población de 15 859 habitantes, es la cuarta parroquia rural con mayor número de habitantes (INEC, 2010). Su extensión territorial es de 44,66 km² dividido en 40 comunidades. La temperatura media anual de la parroquia oscila entre 6 y 8 °C en las zonas altas y entre los 14 y 16°C en las zonas bajas. Las características climáticas y biofísicas de los ecosistemas andinos le confieren excelentes capacidades de brindar servicios ecosistémicos, por ejemplo, los de buen rendimiento y regulación hidrológica permitiendo captar agua en las zonas altas para irrigación con fines productivos, además presenta un amplio rango altitudinal que va de los 2500 a los 4000 msnm, que influye en todos los elementos biofísicos del ecosistema, permitiéndole tener una amplia gama de pisos climáticos y características biofísicas y paisajísticas (Actualización PDOT Sinincay, 2022).

La parroquia de Sinincay se encuentra dentro de las cabeceras de mayor crecimiento poblacional, de acuerdo con la Actualización del PDOT de Cuenca de 2022, en este mismo estudio se le asigna tres categorías de ordenación territorial que son de conservación, producción y expansión urbana. Parte de su territorio está considerado como suelo rural de expansión urbana para la ciudad de Cuenca, además se le reconoce como un nodo de articulación entre lo urbano y rural, en donde se fomenta la consolidación de usos que la configura como punto de encuentro para el abastecimiento de comercios, servicios y equipamientos a nivel parroquial.

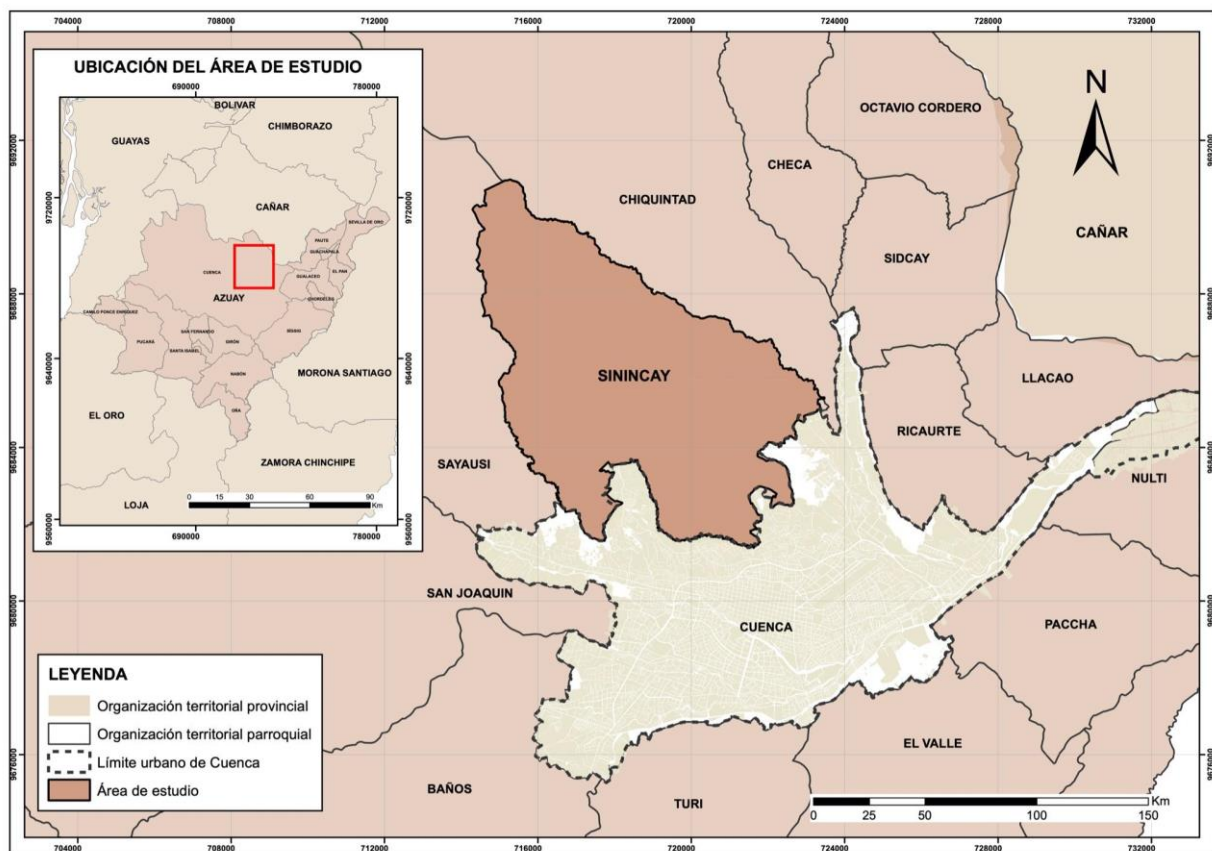


Figura 1: Mapa localización del área de estudio.

2.2 Metodología

Para la detección y delimitación de las áreas de huertos familiares se construyó una metodología mixta que combinó aspectos cuantitativos y cualitativos. Debido a que a través de la teledetección no se puede definir directamente los huertos, se necesita de un proceso previo: identificar las áreas de cultivo en general. Por ello el análisis se dividió en dos fases: i) identificación de usos de suelo: cultivo y ii) identificación de huertos familiares como se muestra en la Figura 2.

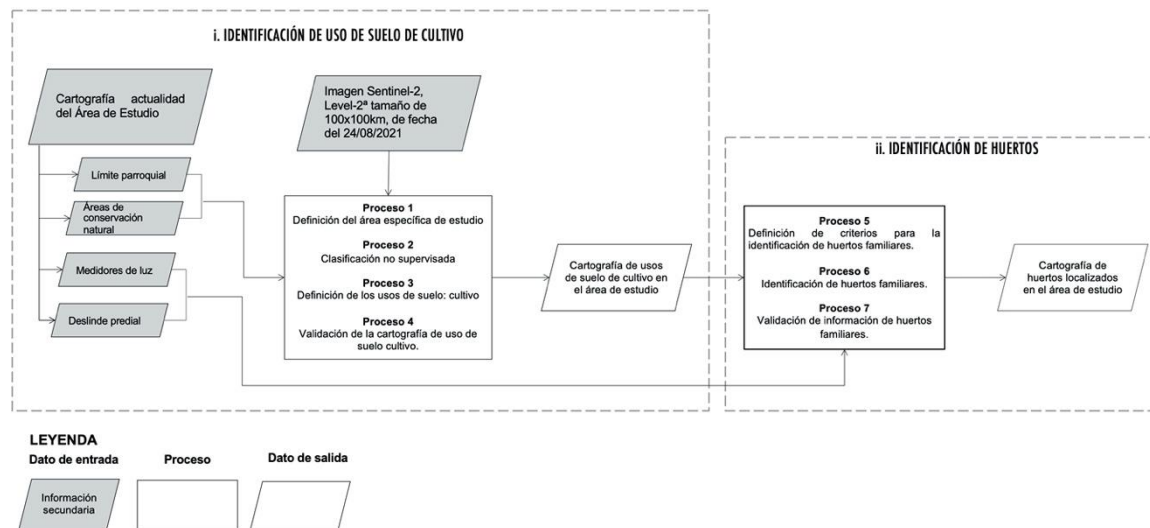


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso metodológico aplicado para detectar áreas de cultivos y huertos.

Fase 1. Identificación de usos de suelo: cultivo

Se utilizó información de carácter secundaria para la identificación de los cultivos, proveniente de imágenes satelitales, Sentinel-2, y cartografía georeferenciada de la parroquia de estudio. Mientras que para la validación de información se utilizó información primaria, visitas a campo. Los datos se procesaron a través de herramientas SIG (ArGIS). Esta fase estuvo compuesta por cuatro procesos:

- Proceso 1. Definición del área específica de estudio: Se excluyeron de la parroquia de estudio, Sinincay, los suelos con uso de conservación natural, que corresponde al 43 % (20,24 km²), es decir el área específica de estudio es de 26,37 % km². Con base en esta área de estudio se buscó una imagen satelital actual. Para la adquisición de esta se utilizó el servidor web *Copernicus Open Access*, mediante el cual se obtuvieron diversas imágenes del satélite Sentinel-2 del año 2021. Se seleccionó la imagen con fecha del 24 de agosto de 2021 debido a que poseía menor porcentaje de nubosidad (menor al 10 %). Se utilizó el producto de Sentinel-2, *Level-2A*, pues este tipo de imágenes se encuentran ortorectificadas y con niveles de reflectancia por debajo de la atmósfera, es decir ya se encuentran corregidas atmosféricamente (ESA, 2021), por ende no necesitó otro proceso posterior de corrección. La imagen Sentinel-2 tiene un tamaño de 100x100km, conformado por 13 bandas espectrales clasificadas de la siguiente manera: cuatro bandas de 10m de resolución (2, 3, 4 y 8 que representan las bandas azul, roja, verde y NIR respectivamente), seis bandas de 20 m de resolución (5, 6, 7 y 8A que representan las bandas de vegetación; y 11 y 12 bandas SWIR) y tres bandas con resolución de 60 m (1, 9 y 10 para la detección de aerosoles, vapor de agua y cirros, respectivamente) (ESA, 2019); asimismo, en la penúltima y última columna cada banda posee diferentes resoluciones espaciales (Tabla 1).

Tabla 1: Descripción de bandas de Sentinel-2.

Nro.	Nombre de banda	Resolución (m)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de onda (nm)
1	Coastal aerosol	60	442.3	45
2	Blue	10	492.1	98
3	Green	10	559	46
4	Red	10	665	39
5	Vegetation Red Edge	20	703.8	20
6	Vegetation Red Edge	20	739.1	18
7	Vegetation Red Edge	20	779.7	28
8	NIR	10	833	45
8a	Narrow NIR	20	864	32
9	Water vapour	60	943.2	27
10	SWIR – Cirrus	60	1376.9	76
11	SWIR	20	1610.4	141
12	SWIR	20	2185.7	238

Fuente: ESA, 2019

Una vez con la imagen seleccionada se procedió a recortarla, para tener únicamente del área de estudio. Para ello se utilizó la herramienta *Clip* de ArcGIS (Data management tools/raster/raster processing/clip). Como dato de salida se obtuvo la imagen raster del área específica de estudio sobre el cual se identificó las áreas de cultivo.

- Proceso 2. Clasificación no supervisada. Esta clasificación reconoce conjuntos de píxeles de las distintas bandas o cluster con un comportamiento espectral similar (ArcGis, s.f). Por ello se utilizó este tipo de clasificación pues se adaptó al objetivo de esta fase que consistió en realizar una aproximación a las áreas de cultivo. Sobre el ámbito específico de estudio definido se efectuó el proceso de categorización mediante el uso de la herramienta -Clasificación no supervisada de clúster ISO (ArcGis)- que se encarga de ordenar por tipos los píxeles de la imagen ráster de entrada para proporcionar un ráster clasificado. Después de algunas pruebas con diferentes números de *cluster*, se definió que 10 *clusters* reflejaban de mejor manera la situación del área de estudio. Por consiguiente, el resultado es un ráster clasificado en 10 *clusters*.
- Proceso 3. Definición de los usos de suelo: cultivo. Con base en el resultado anterior se realizó una reclasificación de clústeres excluyendo a todos los clústeres que no pertenecen a la categoría de uso cultivos. Se obtuvo de esta manera un shape con las posibles áreas de cultivo, un total de 6906 polígonos.
- Proceso 4. Validación de la cartografía de uso de suelo cultivo. Se realizó una comprobación en campo como lo realizó Ferrelli, et.al (2020), quienes manifiestan que este proceso genera validaciones con buenos ajustes, incluso similares a índices como el de *Kappa*. Se utilizó esta metodología porque además de validar la información se podía identificar la clase de cultivos que se presentan en el área de estudio. Se tomó una muestra con el 96 % de confiabilidad, una frecuencia del 50 % y un error del 4 %, obteniendo un total de 602 polígonos. La validación en

campo se realizó de manera aleatoria. De los polígonos muestra, 30 fueron erróneos, es decir no coinciden con el uso cultivo (5% error), indicando que la teledetección tuvo un nivel de confiabilidad del 95 %. Validando de esta manera los resultados de clasificación y reclasificación de la imagen satelital.

Fase 2. Identificación de huertos familiares

Para identificar los huertos se parte con el resultado obtenido en la fase anterior: identificación de usos de suelo cultivo.

- Proceso 5. Definición de criterios para la identificación de huertos familiares. Con base a las visitas de campo realizadas para la validación de los suelos con uso cultivo se definió tres criterios:
 - El predio debe poseer un área entre 200 y 4.000 m². Debido a que existen predios muy amplios dedicados a cultivos.
 - El predio debe presentar un uso de suelo cultivo del 60% de su área. Existen predios que tienen muy poca área de cultivo, por ello se estableció este criterio.
 - El predio debe encontrarse a menos de 10 m de una edificación. Con la finalidad de que sea considerado como huerto familiar.
- Proceso 6. Identificación de huertos familiares. Con base al deslinde predial existente, el shape de usos de suelo cultivo y los medidores de energía eléctrica geolocalizados (un medidor = una edificación) se realizó una superposición, utilizando la herramienta -Análisis de superposición- Combinación (ArcGis)-. De los resultados obtenidos se seleccionaron solo los que cumplían con los criterios establecidos en el proceso 5.
- Proceso 7. Validación de información de huertos familiares. Para facilitar el trabajo en campo y el levantamiento de información se dividió el ámbito de estudio en cuatro sectores (S01,S02,S03,S04). En el sector S01 se identificaron pocos huertos familiares debido a que es una zona de expansión urbana y la mayor parte se encuentra urbanizada. Mientras que en el sector S04, es el que está más alejado de la ciudad, posee grandes áreas de cultivo, pero pocas edificaciones y por lo tanto se identificaron pocos huertos familiares. En este contexto, se seleccionaron los sectores S03 y S04 puesto que presentan mayor concentración de huertos familiares. Además, estas áreas al estar próximas a la ciudad cuentan con un buen nivel de accesibilidad, situación que facilita el levantamiento de datos en campo. Este levantamiento de información lo realizaron 54 estudiantes a través de un aplicativo móvil el 09 de abril del 2022. Con el análisis de esta información se determinó de manera más exacta las posibles áreas de huertos.

3. Resultados

En concordancia con la metodología planteada se obtiene el primer resultado de la fase uno que es la identificación de 6906 posibles áreas de cultivo como se muestra en la Figura 3. Con este primer resultado se evidencia que la teledetección posibilita adquirir información en áreas que se desconoce, permitiendo tener un registro de posibles áreas agrícolas que servirán como un instrumento de información preliminar para la identificación posterior de huertos familiares en campo. Los resultados de esta primera pueden proporcionar imágenes casi en tiempo real del ámbito de estudio, en función de imagen utilizada. La cuales además de ser gratuitas y con una cobertura espacial muy amplia, permiten seguir y conocer los acelerados procesos de cambio en los usos del suelo en las periferias urbanas y en el contexto de las ciudades latinoamericanas.

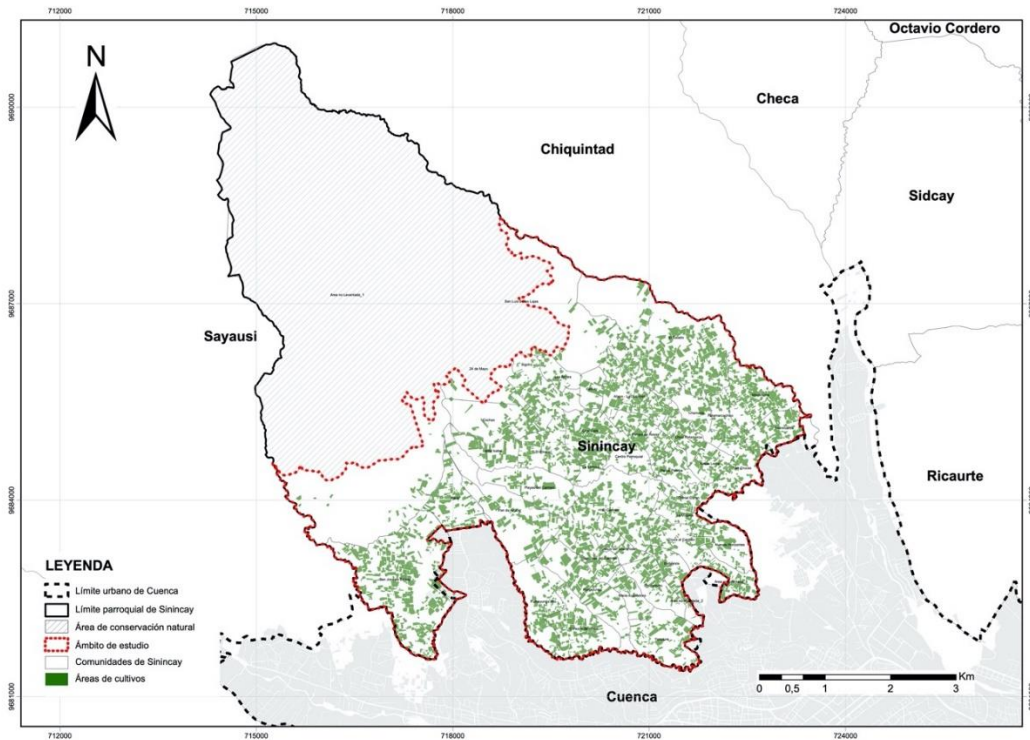


Figura 3: Mapa de posibles áreas de cultivos en Sinincay.

Si bien se agrupa en un mismo *cluster* cultivo, -los huertos familiares- objeto de estudio con cultivos más intensivos correspondientes con actividades agrícolas más especializadas y también zonas ajardinadas en las zonas urbanas, la combinación de la teledetección con métodos de selección mediante la definición de criterios espaciales permite la localización aproximada de los huertos familiares. De esta manera se obtuvo que de los 6906 predios con uso cultivo, 3182 son posiblemente huertos. Al final, fue posible localizar a 699 huertos con cultivos de ciclo cortos, como hortalizas y vegetales, entre las que se destacan cebolla, zanahorias, col, lechugas, tomate, cilantro, perejil, ajo y otros, la mayoría de las veces combinadas con cultivos de maíz, frijol y habas (ver Figura 4).

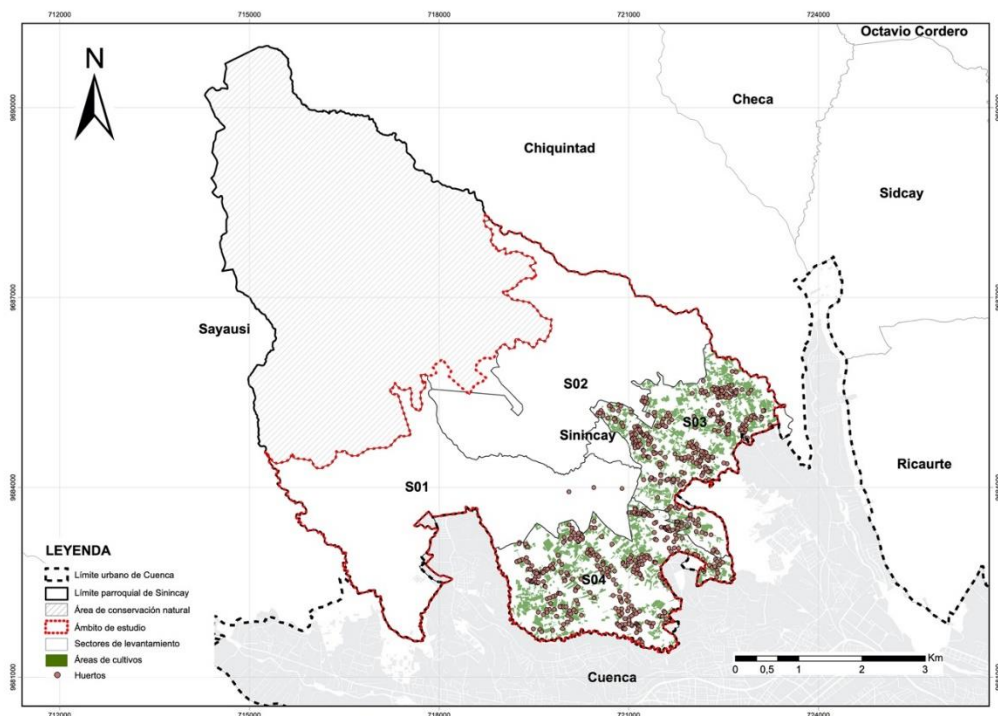


Figura 4: Mapa de huertos localizados en Sinincay

4. Discusión

Si bien desde hace tiempo se reconoce la importancia de la agricultura periurbana y rural para la seguridad alimentaria de los ciudadanos, todavía no se ha sumado esfuerzos para efectuar inventarios exhaustivos y detallados de todas las áreas de cultivos disponibles en el mundo. De este modo, el presente artículo pretende aportar con un proceso metodológico que ayude a localizar áreas de cultivos en las zonas periféricas de las ciudades intermedias utilizando la teledetección en uno de sus procesos. El grado de confianza en la clasificación de las áreas de cultivos fue alto (95 %). Se puede afirmar que el uso de la teledetección, en nuestro caso con imagen Sentinel-2, es una herramienta útil para localizarlas de manera rápida y eficiente. La identificación de áreas de cultivos en el área periurbana y rural de la ciudad de Cuenca y su evolución mediante su monitorización periódica es el punto de partida para conocer los efectos de la expansión urbana en la ciudad. En este sentido, el presente artículo coincide con Brown & McCarty (2017) que, aunque usa otros sensores Landsat y MODIS, demuestra la utilidad de la teledetección en el estudio de la agricultura periurbana.

La metodología utilizada mediante el uso de la teledetección no es totalmente nueva para el monitoreo de la agricultura. Sin embargo, hasta ahora se trabajaba a media resolución con principalmente los sensores Landsat y MODIS. Desde que la Agencia Europea Espacial lanzó Sentinel-2 en el año 2015, disponemos de unas imágenes de media-alta resolución (10 a 30 metros) con mejor definición espectral que pueden mejorar los resultados obtenidos hasta ahora con los sensores tradicionales (Forkuor, Dimobe, Serme, & Tondoh, 2018). Esta metodología plantea por lo tanto un enfoque innovador basado en el uso de datos de teledetección del satélite Sentinel-2, con un tiempo de retorno pequeño (5 días) que permite seguir de cerca los cambios de tipo de suelo en áreas tan dinámicas como las periurbanas y usar de datos abiertos. Además, a diferencia de otros autores (You et al., 2021; Brown & McCarty, 2017; Waldner et al. 2016) que identifican los usos del suelo a partir de un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada o Masoud, Persello, & Tolpekin (2020) que usa red neuronal convolucional, la ventaja del método propuesto es que se convierte en un procesamiento sencillo mediante clasificación no supervisada que lleva a la creación de clústeres a partir de los valores del pixel en cada una de las bandas espectrales de la imagen, que se ha demostrado suficiente para obtener una primera aproximación a la tipología de coberturas en el área periurbana.

Si bien el uso de la teledetección y del método de clasificación no supervisada de la imagen Sentinel-2 funciona bien para la identificación de las zonas extensas de cultivo, no se la podría utilizar de manera directa para la detección de huertos, esta afirmación se confirma al realizar los trabajos de campo e identificar que apenas 21,97% (699 huertos) se confirmaron como huertos, de ahí la importancia del planteamiento de una metodología mixta entre imágenes satelitales, herramientas GIS y validaciones de campo. Esto mismo ya había sido apuntado por Brown & McCarty (2017) al reconocer la necesidad de una aproximación mixta combinando el uso de imágenes Landsat y MODIS, con menor resolución espacial que Sentinel-2, con el uso de la cartografía y de imágenes de mayor precisión para la identificación de huertos.

En nuestro caso, las limitaciones de la metodología propuesta para la identificación de los huertos son dos: por un lado, los datos de la imagen Sentinel-2, al ser de resolución media, no permiten diferenciarlos de otro tipo de vegetación (por ejemplo, jardines); por otro lado, la propia definición del huerto resulta de difícil manejo y sistematización, por la variedad de su área y composición, que van desde pequeñas superficies (abastecimiento propio) hasta grandes áreas de cultivos industrializados, con características muy diversas y cambiantes por el mismo ciclo vegetativo de los distintos cultivos que se den en el predio. Aun así, la metodología es interesante como fase

preliminar para el diseño de una encuesta en campo, facilitando información previa sobre el objeto de estudio.

La metodología utilizada en este trabajo no es totalmente nueva, pero existe un enfoque innovador basado en el uso de datos de teledetección del satélite Sentinel-2, con un tiempo de retorno pequeño que permite seguir de cerca los cambios de tipo de suelo, umbrales estadísticos de confianza y el uso de datos abiertos.

5. Conclusiones

El enfoque mixto (datos cuantitativos y cualitativos) planteado en el estudio ha permitido crear una metodología flexible y fácil de replicarse en otras localidades de diferentes contextos, que ofrece una herramienta para monitorear la agricultura periurbana y rural, tan importante para las ciudades intermedias y en vías de desarrollo. Por otra parte, dicho estudio podría favorecer por la data recolectada a diferentes programas como “Agricultura Urbana y Periurbana” y “Ciudades más verdes en América Latina y el Caribe” dirigidos por la FAO, así como a localizar la producción por escalas de economía y generar políticas públicas de apoyo a los sectores de agricultores que abastecen de alimentos a los habitantes de las ciudades.

Una detección temprana de las áreas de cultivo es pertinente para la gestión y la protección de las áreas periurbanas y rurales con valor agrícola, ya sea estableciendo políticas o determinando límites de intervención que puedan conducir a mejoras sustanciales en la gestión territorial. Esto con el fin de generar condiciones que permitan el desarrollo de un área productiva más sostenible y resiliente que conserve y respete su biodiversidad. Finalmente, se puede afirmar que la teledetección es una herramienta que puede utilizarse para localizar rápida y eficazmente las zonas de cultivo gracias a su cartografía.

Contribución de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Flores Juca, E.	Gielen, E.	Lucero, V.
Conceptualización			
Análisis formal			
Investigación			
Metodología			
Recursos			
Validación			
Redacción – revisión y edición			

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y Academia (CEDIA) por el apoyo financiero brindado al presente trabajo de investigación, desarrollo e innovación a través de su programa CEPRA.

Referencias

- ArcGIS. (s.f.). Herramienta Clasificación no supervisada de clúster Iso. Obtenido Enero 13, 2023, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/executing-the-iso-cluster-unsupervised-classification-tool.htm>
- Buendía-Martínez, I., & Carrasco, I. (2013). Mujer, actividad emprendedora y desarrollo rural en América Latina y el Caribe. Cuadernos de Desarrollo Rural. *Cuadernos de desarrollo rural*, 10(72), 21-45. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-14502013000300003
- Brown, M. E., & McCarty, J. L. (2017). Is remote sensing useful for finding and monitoring urban farms? *Applied Geography*, 80, 23-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.01.008>
- Flores, E. (2022, Enero 12). La movilidad desde las zonas rurales como medio de desarrollo de la población. Obtenido a partir de <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/309-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/ano-2022/junio-2022/2683-capsula-la-movilidad-desde-las-zonas-rurales-como-medio-de-desarrollo-de-la-poblacion>
- Baldini, C., Marasas, M. E., Tiftonell, P., & Drozd, A. A. (2022). Urban, periurban and horticultural landscapes – Conflict and sustainable planning in La Plata district, Argentina. *Land Use Policy*, 117, 106120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.LANDUSEPOL.2022.106120>
- Caballero, I., Ruiz, J., & Navarro, G. (2019). Sentinel-2 satellites provide near-real time evaluation of catastrophic floods in the West Mediterranean. *Water (Switzerland)*, 11(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/w11122499>
- Clavijo Palacios, C. E., & Cuvi, N. (2017). La Sustentabilidad de huertas urbanas y periurbanas con base agroecológica en Quito. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (21), 68-91. DOI: <https://doi.org/10.17141/LETRASVERDES.21.2017.2608>
- Cattivelli, V. (2021). Planning peri-urban areas at regional level: The experience of Lombardy and Emilia-Romagna (Italy). *Land Use Policy*, 103, 105282. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105282>
- Donoso, M. (2016). Análisis crítico de la planificación urbana de la Ciudad de Cuenca. *Maskana*, 7(1), 107-122. <https://doi.org/https://doi.org/10.18537/mskn.07.01.11>
- Echeverri, R., & Ribero, M. P. (2002). Nueva ruralidad: Visión del territorio en América Latina y el Caribe (Interamericano Instituto de Cooperación para la Agricultura, ed.). Obtenido de [http://www.cusur.udg.mx/fodepal/Articulos referentes de Des Susr/Construyendo el desarrollo rural_archivos_ArturoSC/Nueva_ruralidad.pdf](http://www.cusur.udg.mx/fodepal/Articulos%20referentes%20de%20Des%20Susr/Construyendo%20el%20desarrollo%20rural_archivos_ArturoSC/Nueva_ruralidad.pdf)
- ESA. (2021). Processing Levels -User Guides - Sentinel-2A MSI. Obtenido enero 13, 2023, de <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels>
- ESA. (2019). Spatial Resolutions - Sentinel-2 MSI - User Guides. Recuperado Enero 13, 2023, de Copernicus Obtenido de <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>
- Frere, M., & Popov, G. F. (1979). Agrometeorological crop monitoring and forecasting.
- Ferrelli, F., Brendel, A. S., Miguel, G., Perillo, E., & Piccolo, M. C. (2020). Validación de productos satelitales a partir de mediciones in situ para el monitoreo de coberturas del suelo en el sur de la Región Pampeana (Argentina). *Caminhos de Geografia*, 21(76), 190-207. <https://doi.org/10.14393/RCG217654051>

- Follmann, A., Willkomm, M., & Dannenberg, P. (2021). As the city grows, what do farmers do? A systematic review of urban and peri-urban agriculture under rapid urban growth across the Global South. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 215, p. 104186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104186>
- FAO. (2014). Ciudades más verdes en América Latina y el Caribe. Un informe de la FAO sobre la agricultura urbana y periurbana en la región. Obtenido de www.fao.org/
- Forkuor, G., Dimobe, K., Serme, I., & Tondoh, J. E. (2018). Landsat-8 vs. Sentinel-2: examining the added value of Sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in Burkina Faso. *GIScience & Remote Sensing*, 55(3), 331-354. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1370169>
- Flores, G., Mora, E., & Chica, J. (2020). Una mirada a la planificación de las infraestructuras nodales de transporte terrestre en las cercanías al centro urbano de Cuenca Ecuador. *Quid 16: Revista Del Área de Estudios Urbanos*, (14), 269-282. Obtenido de <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/4537>
- Güneralp, B., Reba, M., Hales, B. U., Wentz, E. A., & Seto, K. C. (2020). Trends in urban land expansion, density, and land transitions from 1970 to 2010: a global synthesis. *Environmental Research Letters*, 15(4), 044015. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB6669>
- Gielen, E., Flores Juca, E., Palencia, J., Balseca, M., López Chofre, I., Sarmiento Moscoso, S., ... Chica, J. (2019). Retos para el desarrollo de una ciudad sostenible en Cuenca (Ecuador). Análisis del crecimiento urbano entre 2008 y 2018. In J. Poyatos Sebastián, L. García Soriano, & J. L. Baró Zarzo (Eds.), *Fundamentos y práctica de la ciudad sostenible*. Valencia, España (pp. 297-309). Valencia, España: Universitat Politècnica de València.
- Hao, Z., AghaKouchak, A., Nakhjiri, N., & Farahmand, A. (2014). Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific data*, 1(1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.1>
- Kassis, G., Bertrand, N., & Pecqueur, B. (2021). Rethinking the place of agricultural land preservation for the development of food systems in planning of peri-urban areas: Insights from two French municipalities. *Journal of Rural Studies*, 86, 366-375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.003>
- Kennedy, E., & Payongayong, E. (1992). Inventory of food and nutrition monitoring systems. Final report to the United States Agency for International Development, Office of Nutrition. *International Food Policy Research Institute, Washington, DC*.
- Masoud, K. M., Persello, C., & Tolpekin, V. A. (2020). Delineation of agricultural field boundaries from Sentinel-2 images using a novel super-resolution contour detector based on fully convolutional networks. *Remote Sensing*, 12(1) 59. DOI: <https://doi.org/10.3390/RS12010059>
- Manzanal, M. A. (2017). Desarrollo, territorio y políticas públicas. Una perspectiva desde el desarrollo rural y territorial. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios*, 46, 5-31. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/76287>
- Persello, C., V. A. Tolpekin, J. R. Bergado, and R. A. de By. (2019). Delineation of agricultural fields in smallholder farms from satellite images using fully convolutional networks and combinatorial grouping. *Remote sensing of environment*, 231, 111253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111253>
- Ruiz López, C. F., Vieyra, A., & Méndez-Lemus, Y. (2021a). Segregación y singularidades en el periurbano de ciudades medias mexicanas. En A. Carrión Hurtado & M. F. Sandoval López (Eds.), *Ciudades intermedias y nueva ruralidad* (pp. 114-135). DOI: <https://doi.org/doi.org/10.46546/202010savia>
- Ruiz-López, C., Vieyra, A., & Méndez-Lemus, Y. (2021b). Spatial segregation in Tarimbaro, municipality in the periurban of Morelia, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2021(78), 237-257. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000100237>
- Salcedo, S., & Guamán, L. (Eds.). (2014). *Agricultura Familiar en América Latina y El Caribe: Recomendaciones de Política*. Obtenido de www.fao.org/publications

- Sonobe, R., Yamaya, Y., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N., & Mochizuki, K. I. (2018). Crop classification from Sentinel-2-derived vegetation indices using ensemble learning. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(2):1. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.jrs.12.026019>
- Unganai, L. S., & Kogan, F. N. (1998). Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from 440 AVHRR data. *Remote sensing of environment*, 63(3), 219-232. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00132-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00132-6)
- Waldner, F., Fritz, S., Di Gregorio, A., Plotnikov, D., Bartalev, S., Kussul, N., ... Defourny, P. (2016). A unified cropland layer at 250 m for global agriculture monitoring. *Data*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.3390/data1010003>
- Weiss, M., F. Jacob, & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>
- Wójtowicz, M. (2014). Crecimiento de la población, cambios espaciales y cambios sociales en la ciudad de Curitiba. In V. Mercedes Di & M. Perelman (Eds.), *Ciudades Latinoamericanas. Desigualdad, segregación y tolerancia*. CLACSO, (pp. 203–219). Obtenido de www.biblioteca.clacso.edu.ar
- You, N., Dong, J., Huang, J., Du, G., Zhang, G., He, Y., ... & Xiao, X. (2021). The 10-m crop type maps in Northeast China during 2017–2019. *Scientific data*, 8(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00827-9>
- Yu, L., J. Wang, N. Clinton, Q. Xin, L. Zhong, Y. Chen, and P. Gong. (2013). FROM-GC: 30 m global cropland extent derived through multisource data integration. *International Journal of Digital Earth*, 6(6), 521-533. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.822574>