El catastro de la palma de aceite en Colombia

The Oil Palm Cadastre in Colombia

Citación: Rincón-Romero, V. O., Molina-Villarreal, A., Zabala-Quimbayo, A. Barrera-Agudelo, O. R. & Torres-León, L. (2023). El catastro de la palma de aceite en Colombia (Traductor Rincón-Romero, V. O.). *Palmas, 44*(2), 8-24.

Palabras clave: Administración catastral, Modelo de dominio de administración de tierras, Monocultivo, Cultivos oleaginosos.

Keywords: Cadastral administration, Land administration domain model, Monoculture, Oil crops.

Traducido del original The Oil Palm Cadastre in Colombia. *Agronomía Colombiana*, *40*(2), 258-269. Recuperado de https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.98801

Derechos de autor: Agronomía Colombiana del Centro Editorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia está licenciada bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Creado a partir de la obra en http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/ .

Rincón-Romero, Víctor Orlando
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma
Autor para correspondencia
vrincon@cenipalma.org

Molina-Villarreal, Angie
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

Zabala-Quimbayo, Andrea
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

Barrera-Agudelo, Osmar Ricardo
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

Torres-León Jorge Luis
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

Resumen

El artículo expone el proceso de construcción del modelo para la gestión de información geográfica relacionada con el cultivo de palma de aceite en Colombia, ya que debido a la necesidad de capturar, almacenar, actualizar y analizar datos de las áreas sembradas en el país, fue necesario soportarse en el modelo de Sistemas Blandos para plantear una estructura de sistema de información que respondiera no solo a las necesidades de inventario de áreas sembradas, sino

a la integración de dicha información con otros datos estratégicos para el sector palmicultor. Esta investigación permitió construir un modelo de base de datos sobre el cual, durante más de diez años, se ha almacenado de manera continua información geográfica relacionada con el área sembrada en palma de aceite en el país. El modelo geográfico ha permitido generar nueva información a diferentes escalas territoriales y la integración con datos de índole fitosanitaria, de gran importancia para el manejo regional de los cultivos. Adicionalmente, la integración de una plataforma tecnológica *web* ha logrado posicionar el Catastro Palmero como servicio de consulta para usuarios de diversos roles dentro del gremio palmicultor y como información geográfica base, de confianza, para soportar otros proyectos de la agroindustria palmera.

Abstract

This paper describes the process of developing the geographic information management model for the cultivation of oil palm in Colombia. Due to the need to collect, store, update and analyze data from planted areas in the country, it was necessary to rely on the soft systems model to propose an information system structure that would respond to the needs of accounting for planted areas and integrate such information with other strategic data for the oil palm sector. This research developed a database model on which the geographic data related to the area planted with oil palm in Colombia has been stored for over ten years. The geographic model has allowed creating new information at various territorial scales and integrating with phytosanitary data, which is important for regional crop management. Furthermore, the integration of a web-based platform has positioned the Oil Palm Cadastre as a consultation service for users working in various roles within the oil palm industry, and as a reliable geographical information bank to inform other oil palm projects agribusiness.

Introducción

El cultivo de palma de aceite en Colombia ha logrado una presencia significativa, representando aproximadamente 10 % del área total sembrada del país y 30 % de los cultivos agroindustriales (DANE, 2016; Fedepalma, 2019). Esta representatividad exige la elaboración y actualización permanente de un inventario de dichas áreas sembradas, ya que esta información es la piedra angular para una adecuada planificación y ordenamiento de los territorios.

Desde sus inicios, la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) ha trabajado para consolidar y desarrollar una base de datos que brinde información sobre aspectos relevantes para la agroindustria, incluyendo la delimitación de área y representación espacial de zonas sembradas para asistir al sector palmicultor en la adecuada toma de decisiones. Por esto, como una primera aproximación para lograr dichos objetivos, Fedepalma, a través del Sistema de Información Estadística del Sector Palmero (Sispa), ha recopilado periódicamente datos de venta de semillas a nivel nacional como una alternativa para estimar la superficie sembrada. Este método conduce a ciertas imprecisiones en el cálculo del área y requiere una serie de correcciones, principalmente relacionadas con las semillas descartadas para determinar área efectivamente sembrada.

Consciente de esta condición, en 2007 Fedepalma, en convenio con la Corporación Colombia Internacional (CCI), completó el primer trabajo de georreferenciación de la superficie sembrada con palma de aceite en el país, creando polígonos para alrededor de 276.000 ha de las 301.000 ha estimadas. Adicionalmente, en 2009 la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), como parte de un proyecto financiado por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), realizó el primer ajuste a la base cartográfica desarrollada por el CCI, georreferenciando área adicional del cultivo, que sumó un total de 310.000 ha en comparación con las 350.000 ha estimadas para ese año.

Simultáneamente, Cenipalma, como parte de varios proyectos regionales de gestión de información fitosanitaria, desarrolló bases de datos geográficas que utilizaron polígonos para representar las áreas sembradas en los Llanos Orientales colombianos, Magdalena Medio (Zona Central) y San Andrés de Tumaco (Zona Suroccidental). En 2012, en esta primera etapa de recolección, se requirió enfocar los esfuerzos en la planificación y diseño de un Sistema de Gestión de Información que asegurara el almacenamiento, administración y consulta de datos de los lotes, en otras palabras, un catastro específico de las áreas con palma de aceite, comprendiendo que el catastro por definición corresponde al inventario de tierras (Kaufmann y Steudler, 1998) y que, bajo las directrices del catastro multipropósito, el inventario al que hace relación debe trascender la delimitación de las propiedades y debe ser soportado por subsistemas que conllevan al inventario de otros usos de la tierra (Ponvert Delisles *et al.*, 2015; Williamson *et al.*, 2014).

En esta conceptualización del Catastro Palmero (CP), su piedra angular fue el "paradigma de gestión de tierras" (Williamson *et al.*, 2014) en el que la información territorial de alta calidad es un componente esencial, utilizando el catastro de la propiedad como marco metodológico.

Según Ponvert Delisles *et al*. (2015), la mayoría de los sistemas de información catastral nacional almacenan datos generales que muchas veces no logran satisfacer las necesidades particulares de cada usuario. Por eso, es conveniente proponer y crear subsistemas específicos que permitan manejar la información a gran escala, dando lugar a la creación de subsistemas de catastro principalmente en las zonas rurales (que por tradición en los países se ha caracterizado por tener menos información). En la última década, esta necesidad se ha materializado en lo que se ha denominado el Catastro Verde o *Green Cadastre* (Zysk *et al.,* 2020). Algunos ejemplos incluyen el sistema de información parcelaria para el registro de cultivos y gestión de subsidios agrícolas en la Comunidad Europea (Inan *et al.*, 2010), el registro especializado de caña de azúcar en Cuba (Rojas-Martínez *et al.*, 2014; Kelly y Reyes, 2007), el catastro forestal en Grecia (Drosos, 2014), el catastro de viñedos en Rumania (Hutanu *et al.*, 2016; Hutanu y Moca, 2010), y el inventario de áreas de té en Turquía (Ozcelik y Nisanci, 2016), entre otros.

A partir de estas iniciativas y, teniendo en cuenta que el catastro predial históricamente se ha enfocado en determinar la valoración de las propiedades para efectos fiscales y/o crear un registro para la legitimación de los propietarios (Hopfer, 2003; Molina, 2000), se sugirió que la diferencia entre estos subsistemas y el catastro predial radica en el hecho de que la delimitación de los polígonos marca específicamente la unidad mínima constitutiva del subsistema catastral (Ozcelik y Nisanci, 2016, p. 47; Kelly y Reyes, 2007, p. 41) y no se realiza considerando los linderos del predio (Figura 1). Por lo tanto, los subsistemas catastrales son un complemento de catastro predial, con la representación espacial como componente integrador (Ponvert Delisles *et al.*, 2015) .

Por lo tanto, es importante crear un sistema para almacenar el inventario georreferenciado de áreas sembradas con palma de aceite a escala de lote en Colombia. Su propósito principal es apoyar el proceso de toma de decisiones en esta industria y brindar información actualizada sobre las áreas cultivadas.

Este fue desarrollado como una herramienta tecnológica bajo los lineamientos de un sistema de información catastral (Çağdaş y Stubkjær, 2011), por lo tanto, este trabajo describe el proceso de conceptualización del CP y el desarrollo de la estrategia de actualización continua que finalmente da origen a una herramienta propuesta como referencia para la consulta de la información de las áreas plantadas con palma de aceite en Colombia.

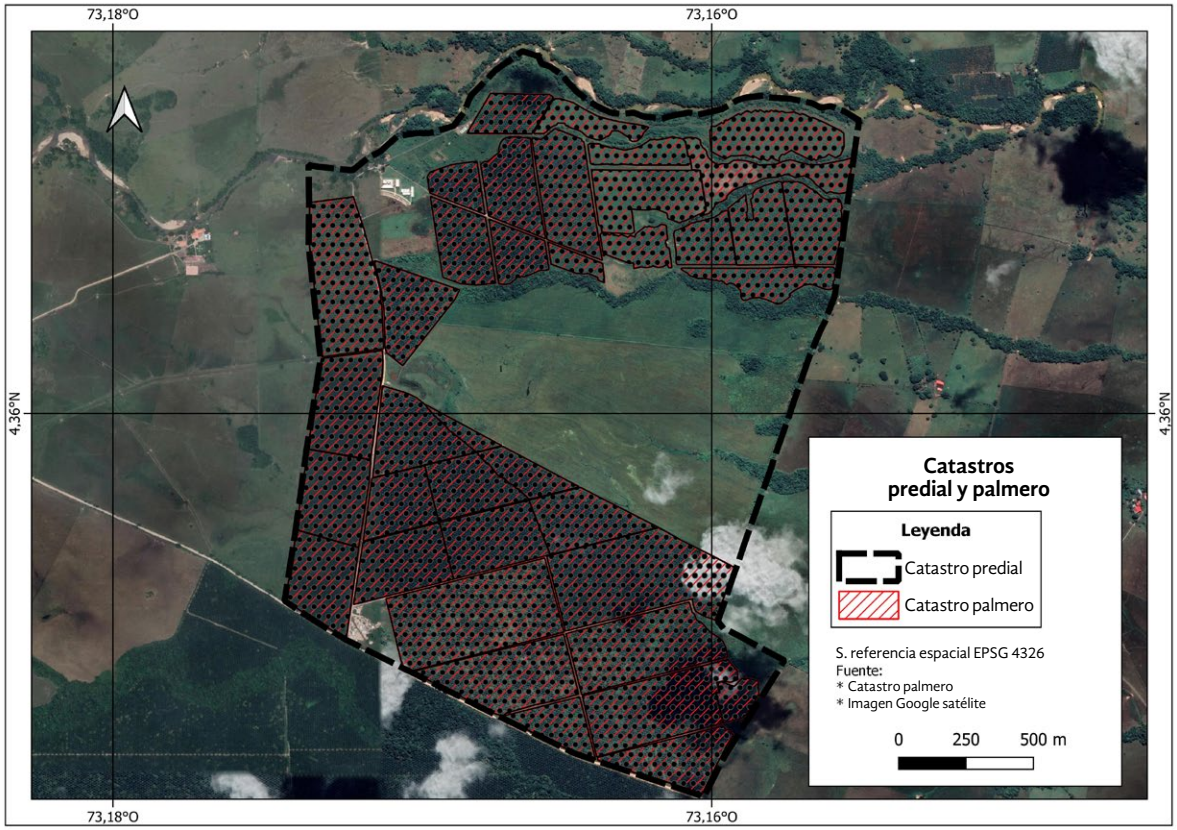
Materiales y métodos

El proyecto se desarrolló en dos etapas. Primero, se conceptualizó el sistema bajo el enfoque de la teoría de Sistemas Blandos (Çağdaş y Stubkjær, 2011) para definir los elementos y actores del CP. Por otro lado, se llevó a cabo la definición de los aspectos técnicos que permitieron implementar el CP a partir del marco conceptual del sistema.

Conceptualización del sistema

El sistema CP se basó en la incertidumbre sobre las áreas reales sembradas, sus características y distribución geográfica, por lo tanto, para dilucidar esta incógnita se creó un marco teórico a través de la práctica (Roux y Barry, 2009).

Figura 1 . Diferencia entre unidades mínimas del catastro predial y el subsistema Catastro Palmero



Fue así como el CP se concibió como un sistema y, como tal, se definieron las siguientes características (Wastell, 2012, p. 2):

- **Propósito**: brindar información georreferenciada sobre áreas sembradas con palma de aceite y asociar información orientada a la toma de decisiones relacionadas con el sector palmicultor.
- **Transformación**: recopilación de datos geográficos de las áreas sembradas con palma de aceite y datos relacionados con las características y el manejo del cultivo con el fin de crear productos de información para procesos de investigación, extensión y toma de decisiones.
- **Ciclos de retroalimentación:** su propósito es identificar toda el área sembrada del país, por lo tanto, puede tomar medidas para asegurar el cumplimiento de su objeto.

Sin embargo, este es entendido como un sistema blando bajo la teoría de sistemas, considerando que su finalidad como sistema de almacenamiento de registros trasciende a la inclusión de la complejidad de los procesos de toma de decisiones humanos en todos sus componentes (Çağdaş y Stubkjær, 2011).

Desde sus inicios, el CP fue concebido como una herramienta cuyos principales actores son Fedepalma, Cenipalma y los palmicultores, interrelacionados a través de la recolección, almacenamiento y consulta de datos sobre las superficies sembradas con palma de aceite y los productos de información generados por el sistema.

Una primera actividad realizada fue la definición de los componentes constitutivos del CP para desglosar cada uno de las elementos que participan en la definición de áreas con palma de aceite. Esta definición consideró una jerarquía determinada por unidades espaciales asociadas principalmente a las funcionalidades e intereses de los actores. A cada unidad se le asignaron características y a su vez relaciones topológicas.

Direccionando la concepción del sistema hacia el componente operativo, se concibieron los aspectos en los que el CP se transforma de un inventario de áreas a datos funcionales que pueden ser integrados con diferentes fuentes para consolidar las características multipropósito del inventario.

Aspectos técnicos

Las fuentes de datos geográficos se clasificaron en tres categorías: producto de fotointerpretación, levantamiento directo con dispositivo de posicionamiento satelital (GPS) o información de terceros disponible en las plantaciones, por lo tanto, se tuvo que definir un esquema de procesamiento de datos (Figura 2) para monitorear la operación técnica de la base de datos geográfica. Estos aspectos de estructuración de datos fueron diseñados considerando un proceso detallado de revisión, corrección y ajuste de la información geográfica, con base en la Norma Técnica Colombiana NTC 5043 (ICONTEC, 2010):

- **Totalidad**

  Se utilizó como fuente el listado de lotes por plantación proporcionado al inicio del proyecto, entendiendo que el total de polígonos debe ser igual al número de lotes reportados para la plantación.

- **Coherencia lógica**

  Se evaluaron los siguientes elementos:

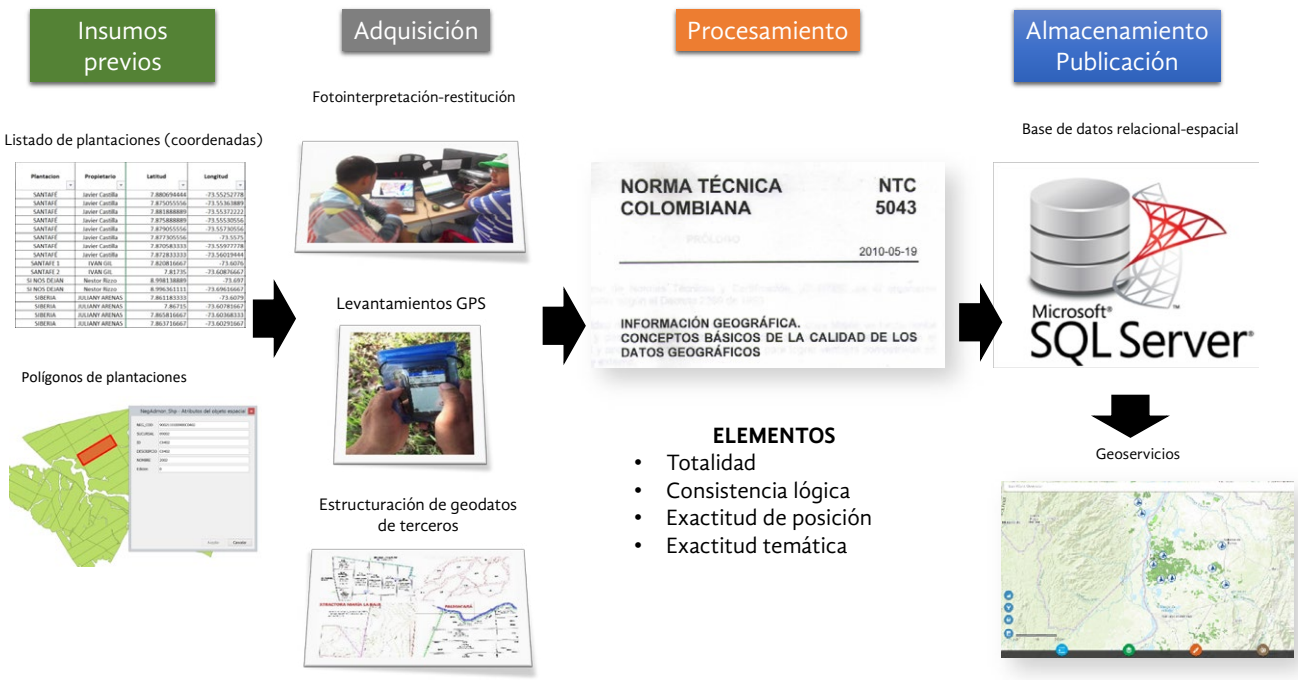
  - *Consistencia de dominio* para el nombre, área, palmas y atributos del material.

  - *Coherencia topológica* que evalúa el cumplimiento de las reglas topológicas, como superposición, geometrías no válidas, espacios y geometrías que no se repiten.

- **Precisión de posición**

  Se revisaron los datos proporcionados por las plantaciones y se validó la ubicación real de los polígonos a través de imágenes satelitales.

Figura 2. Esquema de tratamiento de datos



Resultados y discusión

Catastro Palmero

El cultivo de palma de aceite en Colombia se distribuye en más de 120 municipios. Se delimita geográficamente a partir de lo que en el sector palmero se conoce como "zonas palmeras", y desde una perspectiva administrativa y logística son llamadas: Norte, Central, Oriental y Suroccidental (Fedepalma, 2019) (Figura 3). Estas fueron establecidas con relación a las áreas circundantes que forman parte de una misma región geográfica. Asimismo, por razones operativas y de accesibilidad, dentro de cada zona se estableció un grupo de subzonas, definidas principalmente en función de condiciones agroecológicas o espaciales que las relacionan. Los límites de las subzonas pueden o no coincidir con los límites de los municipios. Estas subzonas contienen plantaciones en varias propiedades rurales utilizadas principalmente para el cultivo de palma de aceite y son de propiedad legal de una o varias personas o compañías.

Según su tamaño, estas plantaciones abarcan una o varias parcelas (siendo el lote la mínima división espacial y administrativa dentro de una plantación), que suelen definirse en función de características homogéneas de sus elementos constituyentes (cultivar, fecha de siembra, tipo de suelo, etc.), accidentes geográficos u obras de infraestructura desarrolladas dentro de la plantación. Por lo tanto, es importante recalcar que una plantación de palma de aceite es un conjunto de lotes, que a su vez tienen diversos elementos geográficos y características inherentes a ellas (palmas, caminos, canales, tipo de cobertura, etc.); sin embargo, nótese que según Sagris y Devos (2008) no existe una relación absoluta entre la pro-

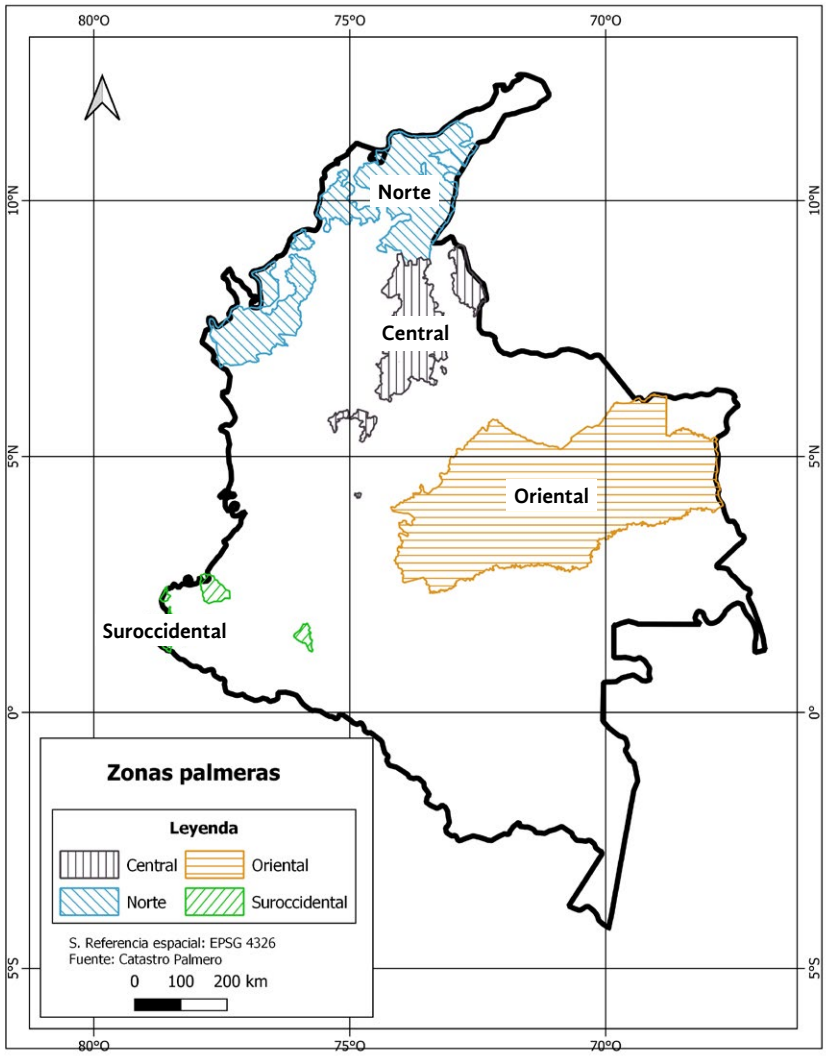


Figura 3. Distribución de las zonas palmeras en Colombia

piedad y la plantación, pues esta última puede conformar la totalidad de la propiedad, una fracción de ella o la suma de varias propiedades.

A continuación, se presentan las definiciones de los elementos que componen el CP.

- **Lote:** unidad espacial mínima plantada con palma de aceite dentro de una plantación, que por lo general tiene características similares en cuanto al año de siembra y cultivar.
- **Plantación:** conjunto de lotes, no necesariamente colindantes, agrupados bajo la propiedad y administración de una o varias personas (físicas o jurídicas).
- **Subzona:** división geográfica de las zonas de palma que permite monitorear adecuadamente las actividades logísticas y de extensión. Los límites de una subzona pueden o no coincidir con los de los municipios.
- **Zona:** división geográfica creada por Fedepalma para administrar adecuadamente las áreas productoras de palma en Colombia. Abarca uno o más municipios en uno o más departamentos.

Aspecto del Catastro Palmero

El catastro predial generalmente se refiere a dos aspectos: físico y legal (Çağdaş y Stubkjær, 2011). En el caso del CP, el aspecto físico se refiere a identificar y representar elementos geográficos (lotes, plantaciones, subzonas y zonas) mientras que el aspecto agronómico se refiere explícitamente a características como la especificación de cultivar, especie, edad o estado fitosanitario, que se utilizan para describir las particularidades del cultivo que se encuentran en la unidad cartográfica más pequeña (lote).

Relaciones topológicas

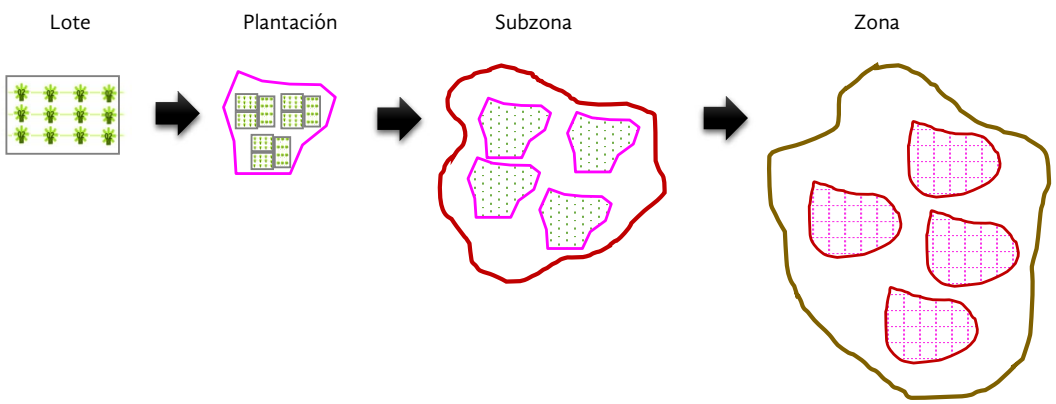
Considerando que los elementos fundamentales del CP tienen una representación geográfica, se tuvieron que definir las relaciones topológicas que establecen las conexiones jerárquicas entre ellos, es decir, la zona (el elemento de mayor jerarquía) está formada por varias subzonas, que a su vez están formadas por un determinado número de plantaciones de palma de aceite, que abarcan uno o varios lotes. La Figura 4 es una representación gráfica de la distribución jerárquica de los elementos del CP.

Además, definir la relación de los elementos del CP con el catastro predial, permitió integrar nuevos actores al sistema como las entidades territoriales y las instituciones relacionadas con el ordenamiento de los territorios. Se consideraron los productos de información generados por el CP como insumos que, integrados a la propiedad, son fundamentales para planificar y proponer estrategias y políticas en los territorios.

Estructura multipropósito

En una primera instancia, el CP fue concebido como una solución para cuantificar el área total

Figura 4. Distribución jerárquica de elementos del CP



sembrada en Colombia. Sin embargo, contar con la conceptualización y representación geográfica de los objetos espaciales, permitió integrar otro tipo de información estratégica, por lo que el CP actualmente se concibe bajo un enfoque multipropósito que facilita la integración de la información agronómica derivada de las actividades del cultivo para potenciar los criterios de toma de decisiones.

Fue así como se redefinieron los elementos del CP, considerando la posibilidad de representar variables fitosanitarias, productivas y el manejo agronómico de los cultivos a escala regional.

Definición de los límites de la parcela

En el campo del catastro predial, principalmente en áreas urbanas, tener una precisión al centímetro es fundamental. En Colombia la cartografía rural se ha desarrollado a una escala máxima de 1:10.000, reduciendo sustancialmente los requisitos de precisión. Sin embargo, la definición material de los límites de propiedad en espacios rurales y urbanos es indicativa y precisa, por ejemplo, los cercos en propiedades rurales. En el caso de los lotes de palma, son generalmente conocidos por no tener una delimitación física explícita. Por lo tanto, la conceptualización incluyó una definición de los límites del lote, entendidos como la proyección al suelo del dosel de las palmas plantadas en el borde del lote.

En la práctica, según la definición anterior, el límite cambiaría a medida que crece la palma; por lo que se complementó el concepto anterior con la proyección al suelo del dosel de las palmas adultas, lo que en términos prácticos es extrapolable a la mitad de la distancia de plantación entre palmas.

Después de definir el concepto de límite de lote, fue necesario especificar la precisión mínima para medirlo; por lo que se decidió que el error máximo tolerable para definir el perímetro de un lote sería de 10 metros, aceptando así la variación encontrada en la definición del límite con base en la proyección del dosel, lo que permitió incluir herramientas como dispositivos GPS de baja precisión e imágenes satelitales con una resolución de 5 metros, optimizando los trabajos de medición del área sin afectar la calidad de los datos. Como resultado, y considerando las pautas establecidas por Tobler (Tobler, 1987), se determinó una escala de 1:20.000 para el CP.

Teniendo en cuenta que el desarrollo del CP tiene como objetivo brindar una cuantificación aproximada del área sembrada del país y la coordinación del enfoque multipropósito, se definieron dos componentes fundamentales que establecen los objetivos y alcances del sistema. El primero, la aproximación al aspecto físico (cuantificación y representación geográfica) y, el segundo, el aspecto agronómico (caracterización del cultivo).

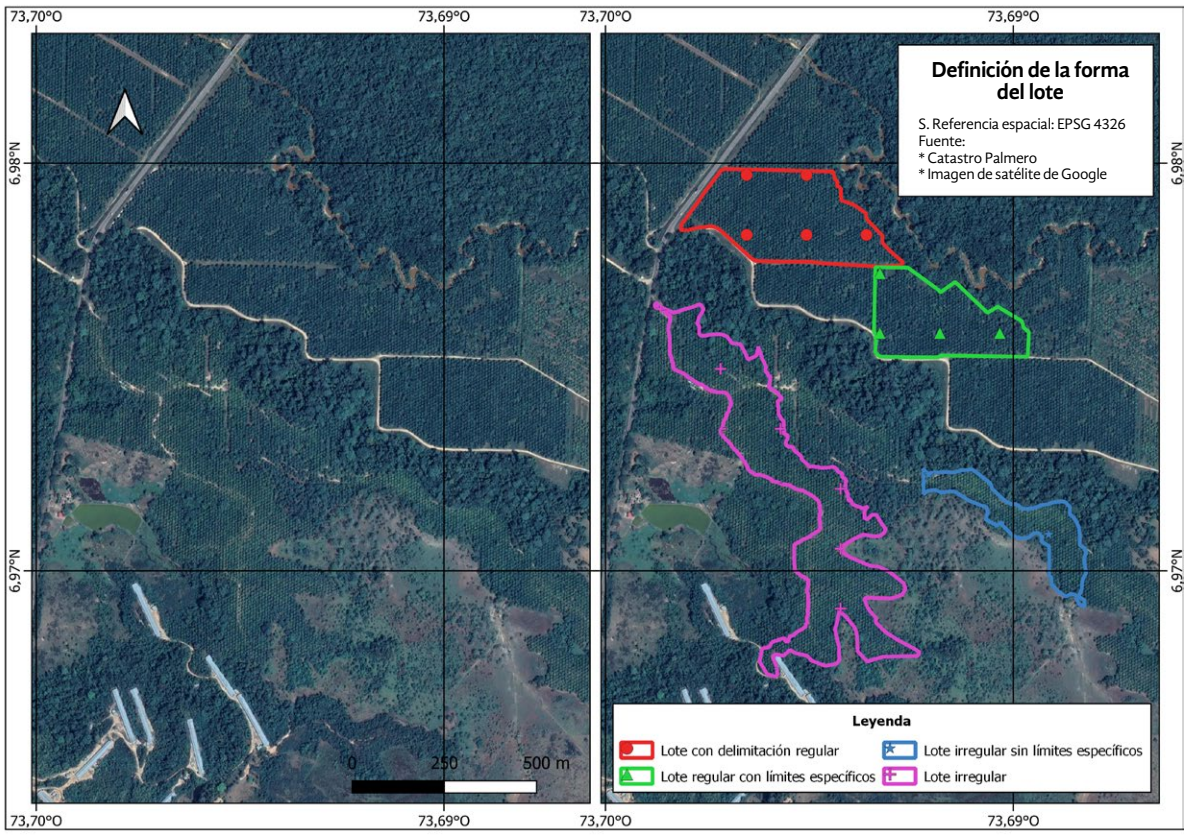
Aspecto físico

En una primera aproximación, las áreas correspondientes a palma de aceite se identifican mediante fotointerpretación de imágenes satelitales sin llegar a una delimitación definitiva de los lotes y plantaciones (Johansen *et al*., 2009; Kelly *et al*., 1999; Rodríguez Pérez *et al*., 1999). Los sensores utilizados fueron *Sentinel* 2 y *Landsat* 8, teniendo en cuenta que sus datos son de acceso libre y la multitemporalidad y características para la discriminación de cultivos (Jayanth *et al*., 2022; Sarvia *et al*., 2020). Una alternativa futura podría involucrar la delimitación de lotes por medio de técnicas de procesamiento de imágenes, como el uso de redes neurales (KC *et al*., 2021; Taravat *et al*., 2021); no obstante, estas técnicas aún se encuentran en fase de investigación y considerando que la precisión temática de la delimitación de las áreas cultivadas debe ser de alta calidad, se mantiene la fotointerpretación humana como primer recurso en la restitución del aspecto físico.

Se establecieron las siguientes propiedades del lote para definir las reglas de fotointerpretación (Stone, 1955): forma, tamaño, estructura, textura y color.

- Forma: los lotes sembrados con palma se caracterizan generalmente por tener formas regulares; sin embargo, también existen formas irregulares o formas definidas por consideraciones administrativas y no están relacionadas con los límites geográficos (Figura 5).
- **Tamaño**: generalmente, un área con palma puede variar entre 1 y 20 hectáreas sin ninguna discontinuidad identificable como caminos o cuerpos de agua. Sin embargo, puede haber casos inusuales donde hay plantaciones con una superficie mayor.

Figura 5. Definición de la forma de lotes en cultivos de palma de aceite

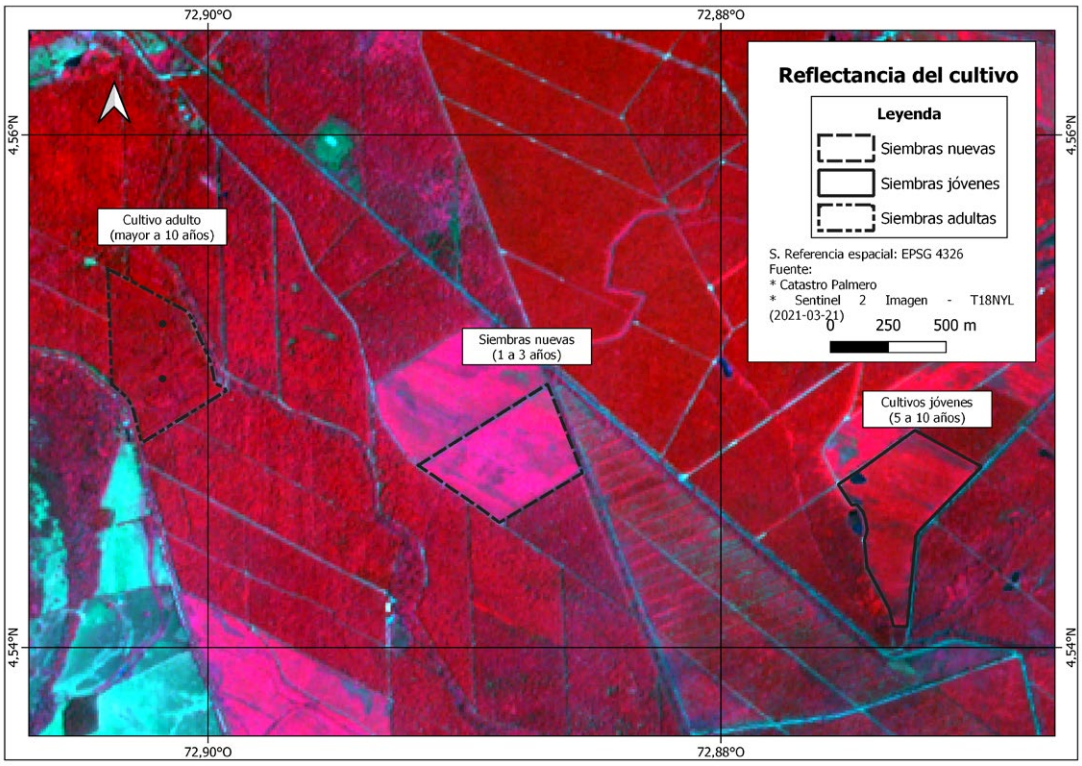


- **Estructura**: la estructura al interior de un lote de palma debe considerar la presencia de formaciones escalonadas o patrones de siembra que forman triángulos equiláteros entre palmas. Sin embargo, puede haber casos en los que no cumplan con esta regla, como las plantaciones en terrazas. La identificación de infraestructura de canales de riego dentro del cultivo puede ser un indicador de plantaciones nuevas o jóvenes.
- **Textura y color:** en este caso, se abordan dos propiedades estrechamente relacionadas, ya que ambas están sujetas principalmente a la variación en la edad de siembra. En imágenes espaciales de alta resolución es posible distinguir la formación escalonada. Sin embargo, las imágenes con una resolución espacial igual o superior a cinco metros requirieron definir una serie de claves que facilitarían la identificación de los cultivos (Figura 6). Aunque hay que tener en cuenta que la similitud entre la reflectancia de los cultivos de palma de aceite con otros como el banano y los bosques implica una verificación de campo.

Para establecer un proceso ordenado de fotointerpretación, se creó una grilla de cuadrados de 5 x 5 km cubriendo todas las áreas de zonas palmeras. A cada grilla se le asignó información de rastreo para desarrollar el estado del proceso, quién, cuándo y con qué imagen lo hizo, esta serie de datos se utilizó para rastrear el proceso de actualización del área. En cada cuadrícula se estableció un proceso de revisión mediante desplazamiento lateral y vertical de forma manual, donde se restauran cada una de las áreas identificadas como palma de aceite.

A partir del proceso de actualización de las áreas sembradas con palma llevado a cabo con frecuencia semestral, se estableció un proceso adicional en la base de datos del CP correspondiente a la revisión de las grillas de control, lo que permitió llevar un registro de las revisiones realizadas en un mismo cua-

Figura 6. Interpretación de la edad de la palma en combinación con el infrarrojo de color falso en la imagen LandSat 8



drante a lo largo del tiempo e identificar áreas potenciales de actualización.

Aspecto agronómico

Este aspecto corresponde a la caracterización de la mínima unidad de administración de las plantaciones, comúnmente llamado lote.

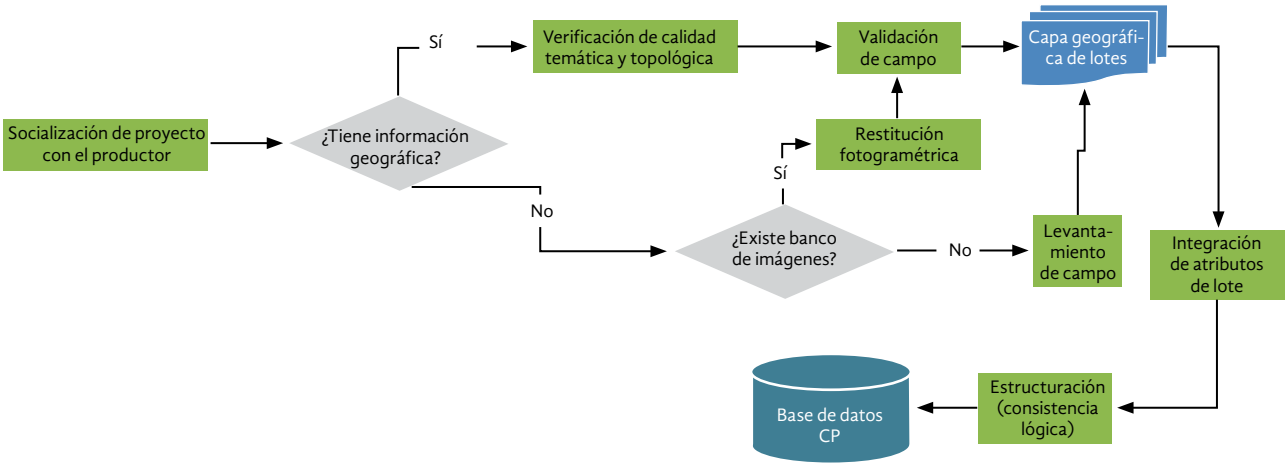
A falta de una norma para la definición de los límites de los lotes, siendo cada plantación autónoma para definirlos, fue necesario describir al lote como la unidad mínima de agrupación de palmas a la que se asocian los datos de producción, fitosanitarios, entre otros. En la mayoría de los casos, los lotes contienen palmas del mismo año de siembra, cultivar y tienen límites físicos. De esta forma, el aspecto agronómico define la geometría de los lotes de acuerdo con la administración de la plantación y complementa los datos de número de palmas, densidad de plantación, cultivar(es), año de plantación y área neta en hectáreas.

Este aspecto requería mayor esfuerzo y dedicación, ya que exigía establecer un contacto directo con los propietarios, gerentes o directores de la plantación a través de los Núcleos Palmeros (plantas de beneficio). Los lazos de confianza entre Núcleos y palmicultores permitieron acceder a las plantaciones y obtener datos veraces.

Cabe anotar que el enlace comercial entre los Núcleos y los palmicultores, las Unidades de Asistencia y Auditoría Técnica, Ambiental y Social (UAATAS), adoptado en 2008 (Fedepalma, 2009), potenció la estrategia de contacto con los cultivadores porque los Núcleos se mostraron receptivos a considerar la importancia de georreferenciar las áreas sembradas a escala de lote. A continuación, se presenta el esquema de procesos diseñado para la correcta gestión y recolección de la información catastral de las plantaciones (Figura 7).

El Catastro Nacional de Palma de Aceite se integra en dos etapas:

Figura 7. Esquema de gestión de datos



- Inclusión de datos geográficos (aspecto físico), con actualización semestral.
- Asociación de la información agronómica a cada lote (aspecto agronómico) en proceso permanente.

Con la inclusión de las consideraciones técnicas, se hizo evidente un nuevo actor en el sistema del CP que no había sido contemplado en la formulación inicial. De ahí que los Núcleos Palmeros aparezcan como un factor determinante en el proceso de formación y como consumidor de los productos informativos. Así, finalmente, la formalización de los procesos orientados a la gestión y procesamiento de los datos consolida finalmente el modelo del Sistema de Catastro Palmero (Figura 8).

Artefactos de tecnologías de la información

Se diseñó una base de datos espacial implementada en *Microsoft SQL Server Database Management System* para almacenar datos espaciales y alfanuméricos, con el propósito de eliminar redundancia, proveer capacidades para el procesamiento de datos, análisis, visualización e intercambio (Dawidowicz *et al.*, 2020). Se integró la base de datos espacial SQL Server a la plataforma *ArcServer* para desarrollar geoservicios orientados a la publicación de la información en el portal de internet https://geopalma.cenipalma.org

El geoservicio desarrollado consolida los valores de las áreas sembradas a escala de municipio, siendo un ejemplo de la interacción entre el CP y unidades territoriales como los municipios (Figura 9).

Avances en la consolidación de la información

Como se mencionó anteriormente, el trabajo de la Corporación Colombia Internacional (CCI) en 2007 se considera la base inicial del CP. A lo largo de 10 años se ha georreferenciado cerca de 100 % del área estimada sembrada con palma de aceite en el país. El aspecto físico ha tenido un proceso continuo de construcción (cada zona es revisada nuevamente cada 6 meses) en paralelo con la expansión del cultivo, iniciando con cerca de 276.000 ha georreferenciadas en 2007 a 625.066 ha en 2020. En cuanto al avance del aspecto agronómico, que por definición es más lento, pasó de 0 hectáreas en 2007 a 160.000 ha en 2017, con un aumento significativo durante los últimos 3 años, principalmente por la participación de Núcleos y palmicultores en el CP (Figura 10). Con corte a 2020, se estructuró un total de 635.066 ha en términos físicos, de las cuales 345.600 ha están completamente caracterizadas en el aspecto físico y agronómico.

El avance en los aspectos mencionados dependió de las condiciones de cada región, en subzonas como

Figura 8. Modelo de Sistema de Catastro Palmero

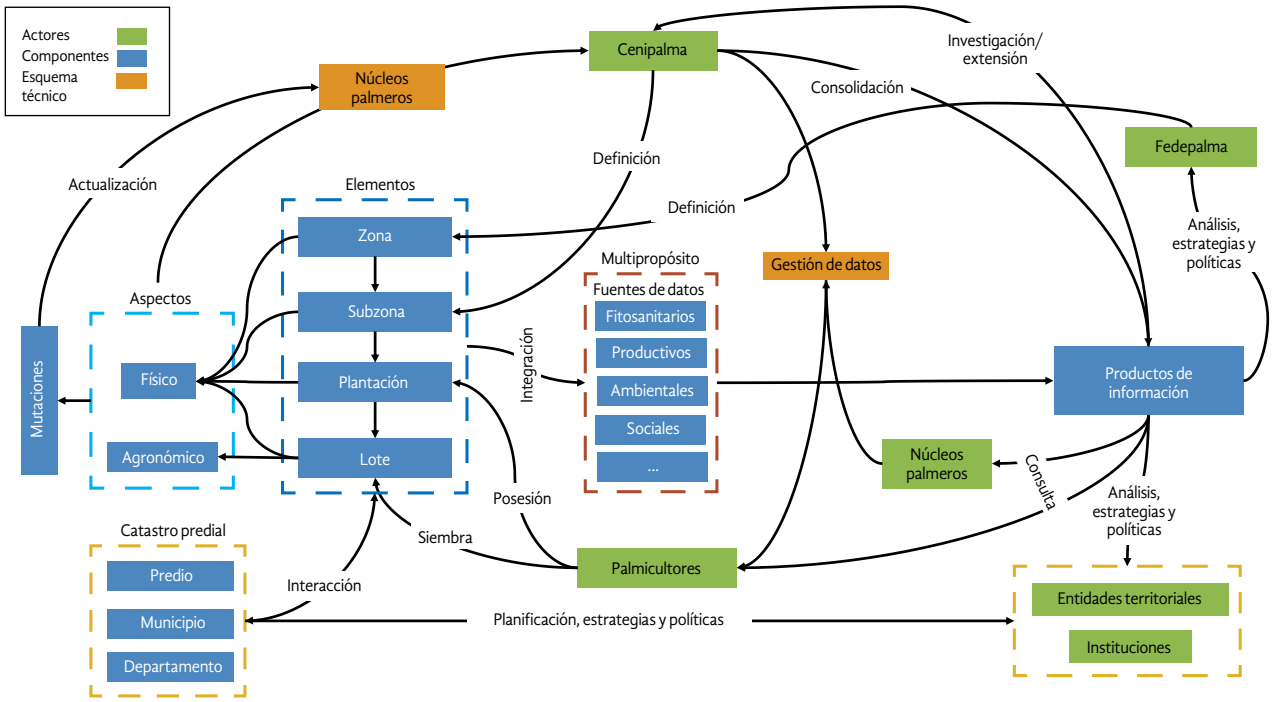
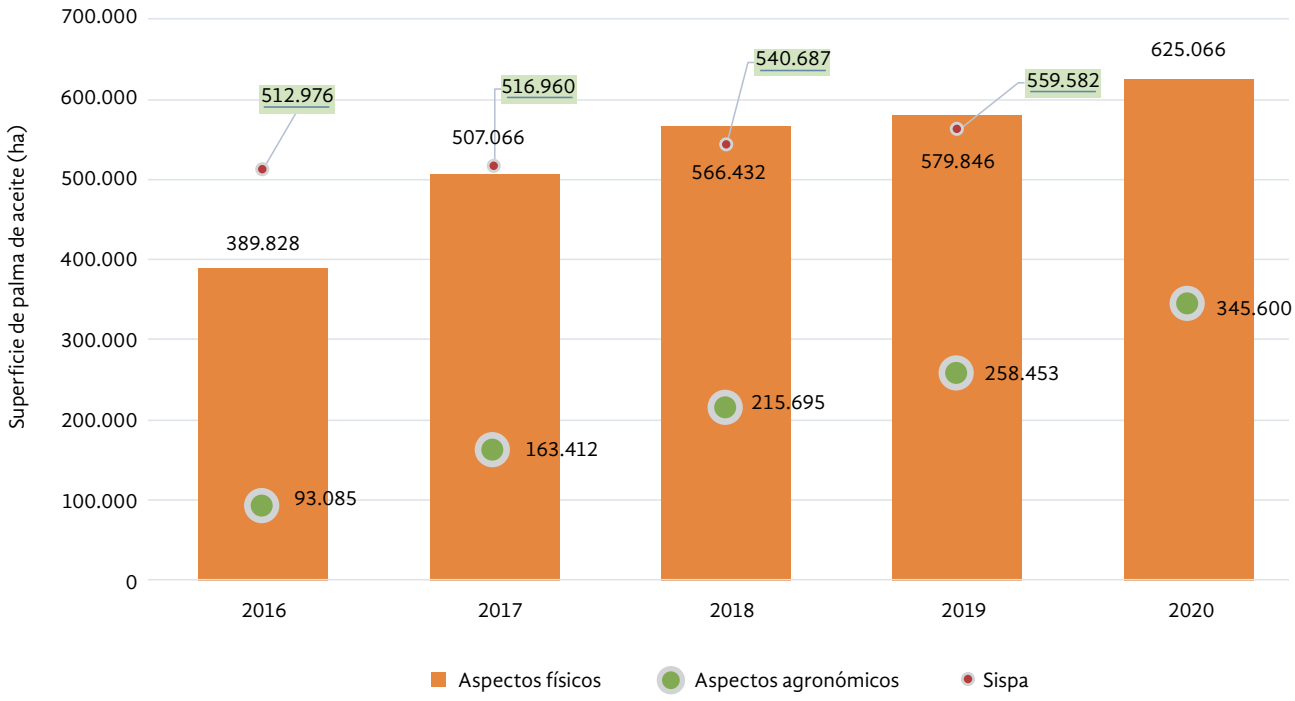


Figura 9. Geoservicio desarrollado para consulta de datos del Catastro Palmero

Figura 10. Evolución del Catastro Palmero



sur del Cesar, sur de Bolívar, Acacías o Fundación, en su mayoría han podido consolidar su aspecto agronómico gracias a la integración y participación de los Núcleos Palmeros de las subzonas.

El aspecto físico ha permitido identificar con precisión el área sembrada en cada una de las zonas de cultivo de palma de aceite (Figura 11), destacando que para 2020 la Zona Oriental concentra cerca de 46 % de la participación del país.

Uno de los resultados más interesantes ha sido la posibilidad de consolidar datos a escala de unidades territoriales, como los departamentos (Figura 12). A 2020, el departamento con mayor superficie sembrada del país fue Meta, seguido de Santander y Cesar, lo que reitera que las zonas palmeras Oriental y Central cuentan con las mayores superficies sembradas del país.

Conclusiones

Desde una perspectiva de Sistemas Blandos, el modelo del sistema del CP permitió incluir las complejas interacciones entre actores. Esto se tradujo en un avance significativo en la consolidación de la información del sistema. La incorporación de los Núcleos Palmeros y los cultivadores como actores activos aceleró el proceso de recopilación de datos y garantizó una retroalimentación continua de los resultados del proyecto.

La conceptualización del CP se hizo "sobre la marcha", lo que permitió realizar ajustes que se debieron principalmente a la incorporación de nuevos actores al proceso. Con esto, la teoría de los Sistemas Blandos se confirma como una alternativa para conceptualizar los sistemas y subsistemas catastrales.

La creación de un registro de las áreas sembradas soportado en una base georreferenciada es un esfuerzo que ha llevado muchos años y recursos, sin embargo, este esfuerzo se debe a la complejidad del cultivo y su entorno. De esta experiencia se destaca la integración del Sistema a los procesos preestablecidos del programa de extensión (UAATAS), sin los cuales, no hubiera sido posible consolidar el aspecto agronómico, y el Sistema se hubiera limitado al aspecto físico.

Figura 11. Distribución del área sembrada por zona

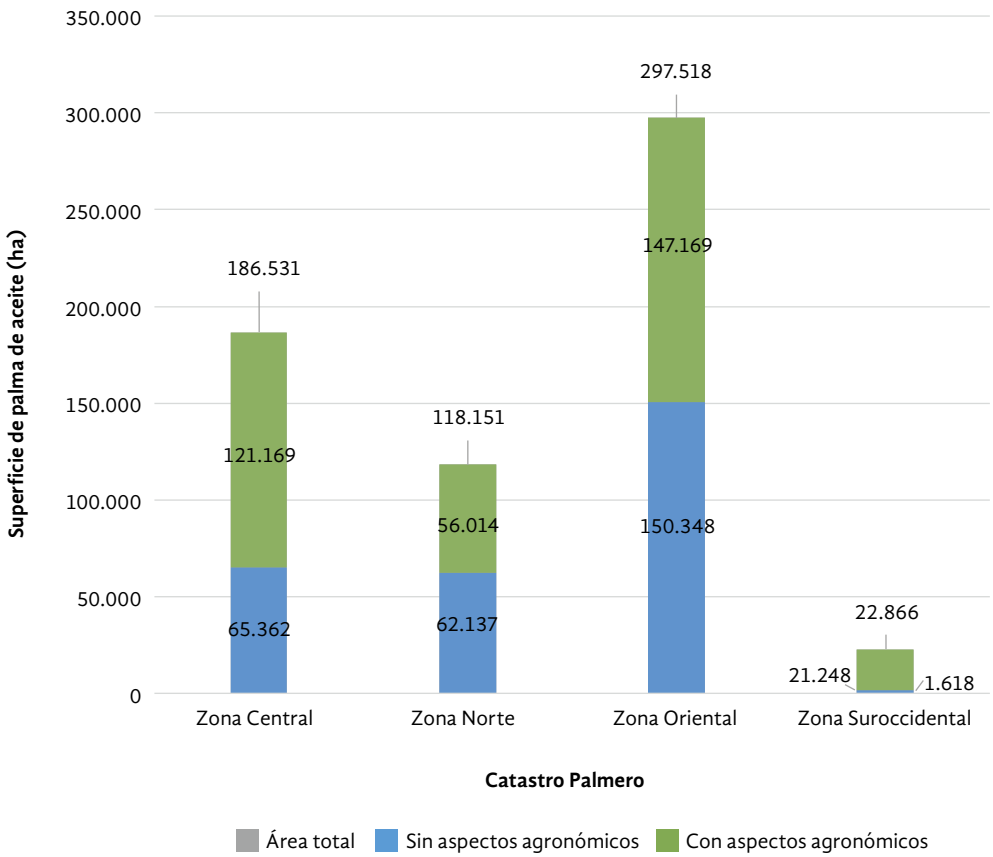
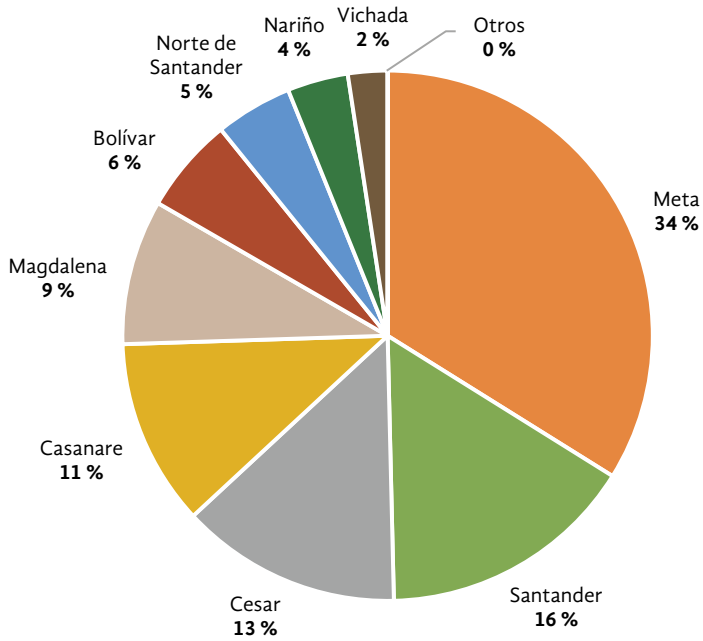


Figura 12. Superficie sembrada por departamento



Tras varios años de trabajo, se considera que el CP ha alcanzado la madurez, fortaleciendo procesos que garanticen la calidad de los datos producidos, cada vez más cercanos a la representación del área total sembrada del país. Por lo tanto, los esfuerzos deben enfocarse en la fase de comunicación del Sistema, la cual, si bien tiene algunos avances, debe estar dirigida principalmente a que el uso de la información producida es para trascender los procesos del sector palmicultor, conectar con entidades y gobiernos, entendiendo que la agroindustria de la palma de aceite es parte esencial del desarrollo de las regiones donde existe.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, a Cenipalma, a los Núcleos Palmeros y a los palmicultores, por ser los actores principales del CP y la piedra angular de su desarrollo. También lo hacen de manera especial al profesor Rodrigo Castellanos (Q. E. P. D.), quien en sus lecciones impulsó el desarrollo del catastro más allá del registro de la propiedad. Finalmente, al equipo de trabajo del CP y a sus familias.

Bibliografía

Çağdaş, V., & Stubkjær, E. (2011). Design Research for Cadastral Systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, *35*(1), 77-87. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.003

DANE. (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria ENA-2016. En *Boletin técnico comunicación informativa (DANE)* (Issue 1). http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena

Dawidowicz, A., Kulawiak, M., Zysk, E., & Kocur-Bera, K. (2020). System Architecture of an INSPIRE-compliant Green Cadastre System for the EU Member State of Poland. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *20*(August). https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100362

Drosos, V. C. (2014). CADASTRE (forest maps) and Spatial Land Uses Planning, Strategic Tool for Sustainable Development. *2nd International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, RSCy 2014*, *9229*, 1-9. https://doi.org/10.1117/12.2069662

Fedepalma. (2009). Unidades de Asistencia y Auditoría Técnica, Ambiental y Social (UAATAS): una estrategia para el manejo sanitario y para incrementar la productividad y competitividad palmera. *Revista Palmas*, *30*, 5-6.

Fedepalma. (2019). *Anuario Estadístico 2019* (Fedepalma (ed.)). La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2014-2018. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/anuario/issue/view/1452/

Hopfer, A. (2003). Cadastre as a Compact Tool for Proper Land Use-via Taxation and Physical Planning. *Best Practices in Land Administration-Regional Perspectives*, *FIG Workin*, Paris, France, April 13-17 2003.

Hutanu, C., & Moca, V. (2010). Use of Cadastral Plan in Digital Form and the Databases Informations System for the National Vineyard Landsurvey. *Lucrari Stiintifice*, *53*(2), 96.

Hutanu, C., Radu, O., & Padure, D. (2016). Updating of Cadastral Database with a View to the Creation of Vineyards and Fruit Trees. *Lucrari Stiintifice*, *59*(1), 289-294.

ICONTEC. (2010). *NTC 5043. Conceptos básicos de la calidad de los datos geográficos*. ICONTEC.

Inan, H. I., Sagris, V., Devos, W., Milenov, P., van Oosterom, P., & Zevenbergen, J. (2010). Data Model for the Collaboration Between Land Administration Systems and Agricultural Land Parcel Identification Systems. *Journal of Environmental Management*, *91*(12), 2440-2454. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.06.030

Jayanth, J., Aravind, R., & Amulya, C. M. (2022). Classification of Crops and Crop Rotation Using Remote Sensing and GIS-Based Approach: A Case Study of Doddakawalande Hobli, Nanjangudu Taluk. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *50*(2), 197-215. https://doi.org/10.1007/s12524-020-01296-0

Johansen, K., Phinn, S., Witte, C., Philip, S., & Newton, L. (2009). Mapping Banana Plantations from Object-oriented Classification of SPOT-5 Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *75*(9), 1069-1081. https://doi.org/10.14358/PERS.75.9.1069

Kaufmann, J., & Steudler, D. (1998). *Cadastre 2014 a Vision for a Future Cadastral System* (Issue July). FIG.

KC, K., Zhao, K., Romanko, M., & Khanal, S. (2021). Assessment of the Spatial and Temporal Patterns of Cover Crops Using Remote Sensing. *Remote Sensing*, *13*(14). https://doi.org/10.3390/rs13142689

Kelly, M., Estes, J. E., & Knight, K. A. (1999). Image Interpretation Keys for Validation of Global Land-cover Data sets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *65*(9), 1041-1050.

Molina, M. A. (2000). *El Catastro y su evolución hasta el siglo XVI*. 51-64.

Ozcelik, A. E., & Nisanci, R. (2016). Land Use Patterns for Driving Environmental Management of Tea Agricultural Croplands. *Computers and Electronics in Agriculture*, *122*, 41-54. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.013

Ponvert Delisles, D. R., Samuel Kelly, F., & Reyes, I. (2015). Las técnicas geomáticas aplicadas en la agricultura: el catastro agrícola en Cuba. *Revista de Ciencias Espaciales*, *8*, 11-28.

Rodríguez Pérez, J. R., González, Vazquez, X. P., & Arias Sánchez, P. (1999). Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación mediante sistemas de información geográfica (SIG) análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial. En Universidad Pública de Navarra (Ed.), *Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (INGEGRAF)* (pp. 1513-1523). Actas del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica: Logroño-Pamplona. 2, 3 y 4 junio. http://buleria.unileon.es/handle/10612/3033

Rojas-Martínez, O., Rodríguez-Fajardo, A., Vázquez-Acuña, C., Pablos-Reyes, P., & Borrero-Reynaldo, Y. (2014). Implementación de un sistema de información geográfica para las decisiones en la producción cañera de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, *2*, 42-55.

Roux, L., & Barry, M. (2009). Paradigms and Cadastral Research. *Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment-Building the Capacity*. http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/vietnam/ppt/ts02d/ts02d_roux_barry_ppt_3704.pdf

Sagris, V., & Devos, W. (2008). *LPIS Core Conceptual Model: Methodology for Feature Catalogue and Application Schema* (European Communities (ed.)). https://doi.org/10.2788/80091

Samuel Kelly, F., & Reyes, I. (2007). Catastro especializado en la agricultura cañera en Cuba: antecendentes, creación y relación con el Catastro Nacional. *V Congreso Internacional de Geomática*, *129*, 39-42.

Sarvia, F., De Petris, S., & Borgogno Mondino, E. (2020). Multi-Scale Remote Sensing to Support Insurance Policies in Agriculture: From Mid-Term to Instantaneous Deductions. *GIScience and Remote Sensing*, *57*(6), 770-784. https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1798600

Stone, K. H. (1955). Air Photo Interpretation Procedures. En *Photogrametric Engineering* (pp. 123-132).

Taravat, A., Wagner, M. P., Bonifacio, R., & Petit, D. (2021). Advanced Fully Convolutional Networks for Agricultural Field Boundary Detection. *Remote Sensing*, *13*(4), 1-12. https://doi.org/10.3390/rs13040722

Tobler, W. (1987). Measuring Spatial Resolution. *Land Resources Information Systems Conference*, *January 1987*, 12-16.

Wastell, D. (2012). Systems Thinking: An Introductory Essay. *October*, *March*. http://www.managingbydesign.net/my_library/systems_thinking.pdf

Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabijard, A. (2014). *Administración de la tierra para un desarrollo sostenible*. customerservice@ingrampublisherservices.com

Zysk, E., Dawidowicz, A., Nowak, M., Figurska, M., Źróbek, S., Źróbek, R., & Burandt, J. (2020). Organizational Aspects of the Concept of a Green Cadastre for Rural Areas. *Land Use Policy*, *91*(February). https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104373