

DINÁMICA ESPACIAL DEL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE EN EL MUNICIPIO DE PUERTO WILCHES (1977-2017)

SPATIAL DYNAMICS OF OIL PALM CROP IN PUERTO WILCHES (1977-2017)

Recibido 27 de enero de 2021
 Aceptado 24 de mayo de 2021

www.unipaz.edu.co

Victor Rincón-Romero^{†a}, Oscar Granados Cabrera^b, Maria Eugenia Arango Ospina^c y Nolver Atanacio Arias Arias^d

Resumen: Puerto Wilches es uno de los municipios con mayor área sembrada en palma de aceite en Colombia. Sin embargo, pese a la importancia del cultivo en el municipio, los antecedentes históricos relacionados con el proceso de su establecimiento son deficientes y no se encuentran soportados en datos cartográficos. En tal sentido, se abordó la reconstrucción histórica del establecimiento del cultivo de palma de aceite en el municipio a partir de imágenes del satélite LandSat para el periodo 1977-2017 las cuales fueron procesadas a través de clasificación supervisada con el propósito de cuantificar y mapear el área cultivada en diferentes momentos del periodo de estudio. El proceso permitió identificar que para el año 1977 el municipio contaba con 3.025 ha de palma de aceite, llegando a su máxima cobertura en el año 2007 con un total de 28.818 ha y posteriormente, luego de la afectación de cerca del 42% del área por la enfermedad Pudrición del Cogollo en el 2018 el área del cultivo se redujo a 18.229 ha. Los resultados obtenidos son un aporte a la memoria histórica de la palma de aceite en Puerto Wilches y adicionalmente una herramienta para la planificación y ordenamiento del territorio. **Palabras claves:** Desarrollo rural, uso de la tierra, teledetección, agrimensura, geografía física.

Abstract: Puerto Wilches is one of the municipalities that currently has the largest area planted with oil palm cultivation in Colombia. Despite the importance of the crop in Puerto Wilches, the historical information related to the process of establishment of the crop is deficient and is not supported by cartographic data.

The historical reconstruction of the establishment of oil palm cultivation in the municipality was based on images of the LandSat satellite for the period 1977-2017. Nine images were processed through supervised classification to quantify and represent the area sown with oil palm at different times of the study period.

It was established that by 1977 the municipality had 3.025 ha of oil palm, and in 2007 it reached its maximum coverage with a total of 28.818 ha. After the affectation of about 42% of the area due to the disease of bud rot in 2018, the area of the crop was reduced to 18229 ha.

The results obtained are a contribution to the historical memory of the Puerto Wilches and additionally a tool for the planning and ordering of the territory. **Keywords:** Rural development, land use, remote sensing, surveying, physical geography.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de palma de aceite tiene una alta relevancia en Colombia, inicia comercialmente en la década de 1960 y a 2017 se reportan alrededor de 512.076 ha sembradas en 152 municipios de 25 departamentos¹. Uno de los departamentos con

mayor área sembrada es Santander, donde el cultivo inicia igualmente en la década de 1960 y cuenta con 87.000 ha sembradas que equivalen al 16% del área sembrada en el país².

En Santander el cultivo se instala inicialmente en el municipio de Puerto Wilches, asociado a la presencia en el territorio de tres empresas palmeras que fomentaron la siembra entre 1961 y 1962^{3,4}. Puerto Wilches, uno de los municipios con mayor área sembrada de palma de aceite en el país⁵, no tiene sistematizado el proceso de expansión

^a Investigador asociado, Cenipalma.

^b MSc Desarrollo territorial y planificación del territorio, Universidad Autónoma de Manizales

^c Coordinadora Maestría en Desarrollo Territorial y planificación del territorio, Universidad Autónoma de Manizales

^d Coordinador Agronomía, Cenipalma.

[†] vrincon@cenipalma.org

del cultivo. Datos aislados reportan en un primer informe de 2008 que el área sembrada era de 43.066 ha ⁶. Posteriormente, con la aparición de la enfermedad denominada Pudrición del Cogollo (PC) que tuvo impacto epidémico en la primera década del siglo XXI en la zona, afectando a más de 23.000 ha ⁷, situación que obligo a erradicar más de 9.000 ha, hasta llegar a cerca de 34.000 ha para el año 2012 ⁸. Posterior a la enfermedad, se iniciaron procesos de renovación de los cultivos, sin embargo, no se cuenta con un dato preciso sobre el área del cultivo actual, ya que el dato más aproximado es el reportado por la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) del año 2015 que relaciona 30.856 ha de área con cultivos en el municipio, pero no especifica el tipo de cultivo (fuente: <https://geoportal.dane.gov.co/geocna>).

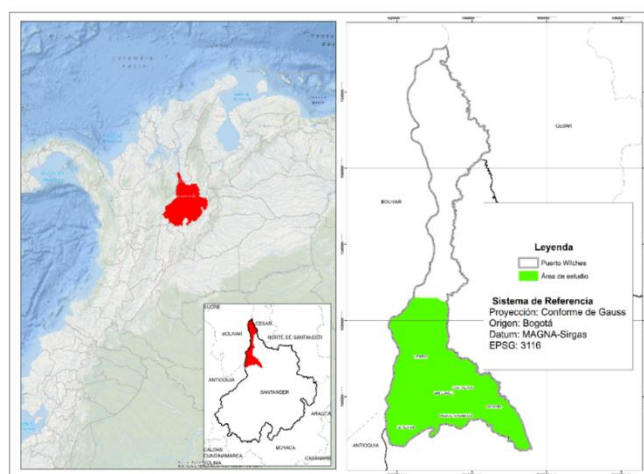
El documento presenta los resultados de construcción de nueve mapas históricos de cobertura y uso del suelo a partir de imágenes de satélite del municipio de Puerto Wilches durante el periodo 1977-2017, con los cuales se determinaron las áreas sembradas a lo largo de la historia. Como parte del proceso se logró obtener información aproximada por rangos de edad de las plantaciones, la cual, asociada con las áreas sembradas, permitió determinar las etapas de desarrollo de las plantaciones para cada uno de los mapas.

La presente investigación aporta datos de mayor precisión que reconstruyen la historia de la dinámica espacial del cultivo de palma de aceite en Puerto Wilches, con el propósito de fortalecer la memoria histórica del municipio y apoyar los procesos de ordenamiento y planificación del territorio en un municipio en donde se estima que el 20% de su área se encuentra destinada al cultivo de palma de aceite.

MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó el municipio de Puerto Wilches (ver **Figura 1**), con una extensión de 153.920 ha, localizado en el costado noroccidental del departamento de Santander, limitando al norte con el río Magdalena, al oriente con los municipios de Sabana de Torres y Rionegro (Santander), así como San Martín y Aguachica (Cesar), al sur con el municipio de Barrancabermeja, con el río Sogamoso al medio, y por todo el costado occidental con el río Magdalena. La altitud del municipio varía entre 0 a 100 m.s.n.m, latitud 7° 20' 53" Norte, longitud 73° 53' 56" Oeste, de pendientes planas en la mayoría del territorio y una temperatura media de 28,4° C. El área de trabajo fueron los corregimientos Centro, San Claver, Comuneros, Cayumba, Puente Sogamoso y El Pedral, localidades donde están establecidos los cultivos de palma de aceite en un área aproximada de 81.386 ha.

Figura 1. Mapa de localización de Puerto Wilches (Santander) y división territorial.



Nota: Generado a partir de capas geográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Cobertura y uso del suelo históricos

Los mapas de cobertura y uso del suelo histórico se obtuvieron a través del procesamiento de imágenes de satélite *LandSat* en periodos no regulares que variaron entre 3 y 8 años, siguiendo las pautas metodológicas utilizadas por Glinskis y Guitiérrez-Vélez⁹. La selección de las imágenes se realizó en función de la disponibilidad en el portal *Earth*

*Explorer*¹ y la nubosidad (cobertura de nubes inferior al 5% en la zona de estudio), no obstante, vale la pena resaltar que debido a fallas en el sensor *LandSat 7* las imágenes correspondientes a los años 2007 y 2013 tienen una pérdida de datos equivalente al 10%, y que estas se utilizaron debido a la ausencia de imágenes equivalentes. En la Tabla 1 se relacionan las imágenes de satélite utilizadas para obtener las capas históricas LUC del municipio:

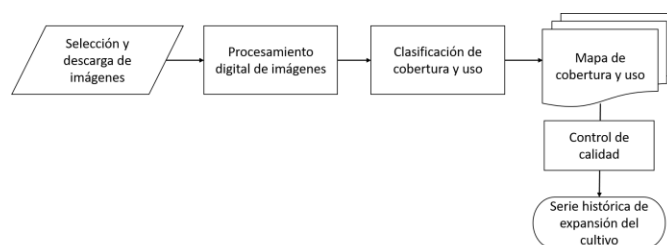
Tabla 1. Imágenes de satélite utilizadas para la construcción de mapas históricos del cultivo de palma de aceite

Fecha de adquisición	Sensor	Resolución espacial (m)
1977-01-07	LandSat 2 MSS	60
1985-02-02	LandSat 5 TM	60
1991-08-14	LandSat 5 TM	30
1998-01-05	LandSat 5 TM	30
2001-01-29	LandSat 5 TM	30
2007-02-23	LandSat 7 ETM	30
2013-01-06	LandSat 7 ETM	30
2017-01-27	LandSat 8 OLI	30

El procesamiento digital para cada una de las imágenes de satélite se llevó a cabo siguiendo el proceso expuesto en la Figura 2. Previo al desarrollo de la clasificación supervisada se realizó un pre-procesamiento de las imágenes, el cual incluyó correcciones radiométricas y atmosféricas, utilizando la extensión *Semi-Automatic Classification* de QGIS versión 2.18. La determinación de la cobertura y uso del suelo se

realizó a tomando como base el proceso de clasificación supervisada de acuerdo a lo expuesto por Abburu y Babu Golla¹⁰, a través de la extensión *Semi-Automatic Classification* de QGIS versión 2.18, y se utilizó el método de Máxima Verosimilitud, dada su mayor eficiencia en términos de clasificación de imágenes provenientes del sensor *LandSat*^{10,11}.

Figura 2. Procedimiento general de procesamiento digital de las imágenes de satélite para la determinación de la cobertura y uso en zonas de influencia del cultivo de palma de aceite.

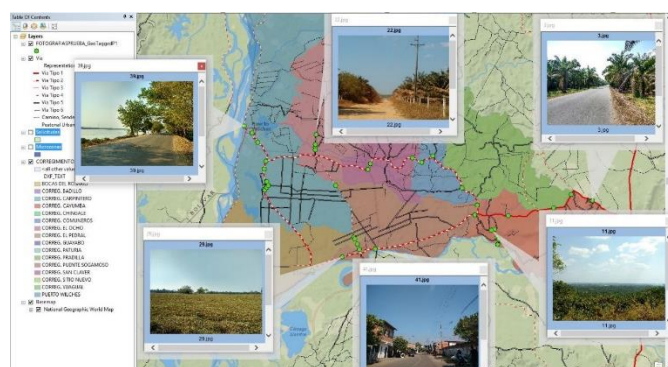


Para la leyenda de cobertura y uso se tuvo en cuenta la clasificación *Corine Land Cover*¹² adaptada para Colombia, donde debido a la escala de las imágenes procesadas (resolución espacial) se tuvo como referencia el segundo nivel, sin embargo, debido a la relevancia de la cobertura de palma de aceite se utilizó el cuarto nivel en este caso específico.

¹ <https://earthexplorer.usgs.gov>

El proceso de clasificación requirió la determinación de zonas de entrenamiento² para lo cual en la imagen del año 2017 se tomaron como referencia las coberturas identificadas en visita de campo (ver Figura 3), para las imágenes de periodos anteriores, al no contar con evidencia de campo, se recurrió a la foteointerpretación de las coberturas teniendo en cuenta principalmente la forma y la reflectancia.

Figura 3. Evidencia de coberturas a través de visita de campo



Posterior a la clasificación se realizó el ajuste de las áreas clasificadas como palma de aceite, llevando a cabo una inspección detallada de cada mapa generado, y a partir de foteointerpretación se llegó al ajuste de las áreas de palma y vegetación natural, ya que, debido a la alta similitud de las firmas espectrales de estos dos tipos de clases, se podían presentar errores en la clasificación.

Para cada imagen clasificada se realizó el proceso de verificación de la calidad de la clasificación utilizando un total de 80 muestras por cada clase,

sobre las cuales se realizó la interpretación visual y cálculo de la exactitud de la clasificación a través de la herramienta "Precisión" disponible en el *pluggin Semi-Automatic Classification* de QGIS. Como se mencionó las imágenes de los años 2007 y 2013 presentan una pérdida de información por daños en el sensor, sin embargo, dicha pérdida, representada por bandas con ausencia de datos, se presenta en el sector oriental del municipio y se estimó que las implicaciones en el cálculo del área sembrada en palma de aceite no superaban 1.000 ha en subestimación por lo cual se decidió utilizar las imágenes con el problema original.

La extracción de los datos de expansión del cultivo por mapa, se realizó a partir de los archivos *raster* consolidados para cada una de las imágenes procesadas utilizando la herramienta "Reporte de clasificación" disponible en el *pluggin Semi-Automatic Classification* de QGIS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presentación de los resultados se realiza partiendo de la interpretación de cada uno de los mapas de cobertura y uso históricos obtenidos, para finalizar con el análisis consolidado de la expansión del cultivo en el municipio.

Mapas históricos de cobertura y uso

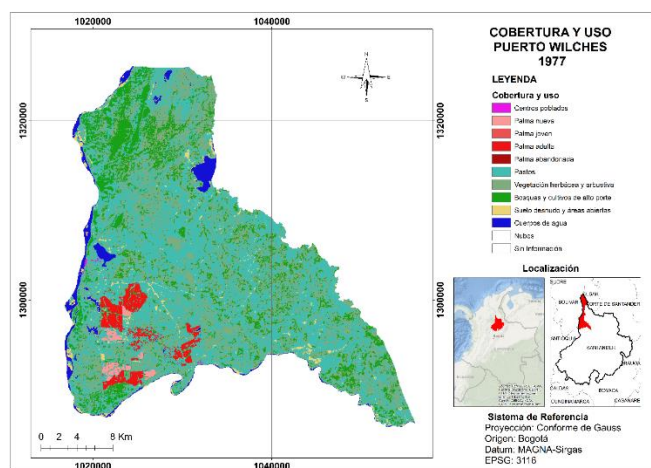
Para el año 1977 de las 81.386 ha del área de trabajo, 3.025 ha se encontraban sembradas con

² Para la clasificación supervisada de imágenes por zonas de entrenamiento se determinan los grupos de píxeles que

corresponden a cada clase para ser tomadas como referencia a través de métodos estadísticos.

palma de aceite; 2.358 ha correspondían a cultivos sembrados antes de 1975 y 667 ha correspondientes a siembras posteriores al año 1975. La concentración del cultivo como se puede registrar en la Figura 4 se inicia en el cuadrante suroccidental del municipio. Para la introducción del cultivo en el municipio se contó con importantes incentivos desde la política nacional, los cuales favorecieron la inversión privada de las tres primeras empresas palmeras del municipio: Oleaginosas Las Brisas, Palmas Oleaginosas Bucarelia y Palmas Monterrey ⁶.

Figura 4. Cobertura y uso de la zona de estudio para el año 1977.

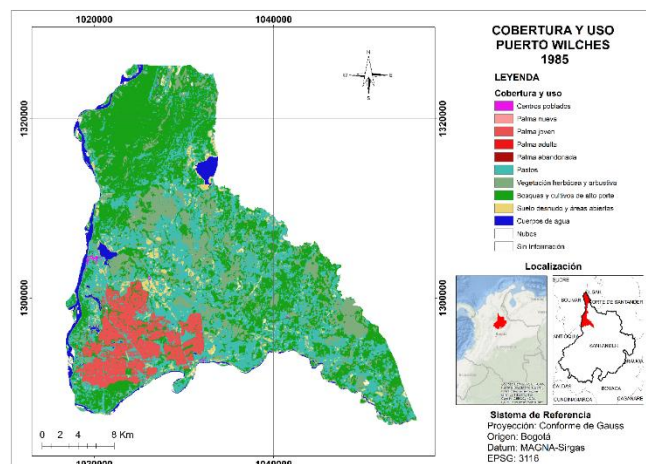


Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 2 MSS, fecha de adquisición 1977-01-07.

En el año 1985 la consolidación del cultivo se mantuvo en el cuadrante suroccidental, con un incremento del área sembrada hasta alcanzar las 7.135 ha (Figura 5). En el procesamiento de la imagen se determinó la presencia de cultivos jóvenes, definición que permitió concluir que a partir de 1977 se presentó una renovación de las 2.358 ha que se encontraban en estado adulto para ese año. Para el mismo periodo a través de la imagen se determina el aumento de los suelos intervenidos y áreas abiertas en cerca de 1.500 ha

con una motivación expansionista del cultivo de palma de aceite. Para esta fase, además de las tres empresas palmeras referidas, se vinculan a la actividad los primeros productores medianos con plantaciones entre 50 y 500 ha ^{13,14}.

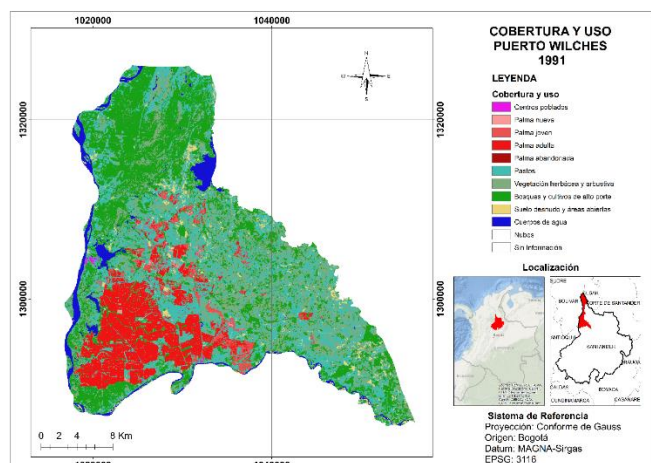
Figura 5. Cobertura y uso de la zona de estudio para el año 1985.



Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 5 TM, fecha de adquisición 1985-02-02.

Para el año 1991 se evidenció una apertura del núcleo consolidado del cultivo que se encontraba en el sector suroccidental enmarcado por las líneas férreas (Figura 6). El crecimiento del área sembrada entre 1986 y 1991 fue cerca de 3.000 ha, en las cuales se observa la presencia de bloques de menor tamaño. Se identificó un aumento importante en las áreas sembradas, superior al reportado para el periodo anterior a pesar de que el periodo de tiempo asociado fue menor. La apertura de nuevas zonas fuera del núcleo consolidado conserva la tendencia referida desde inicios del año 1980 con una participación cada vez mayor de medianos productores.

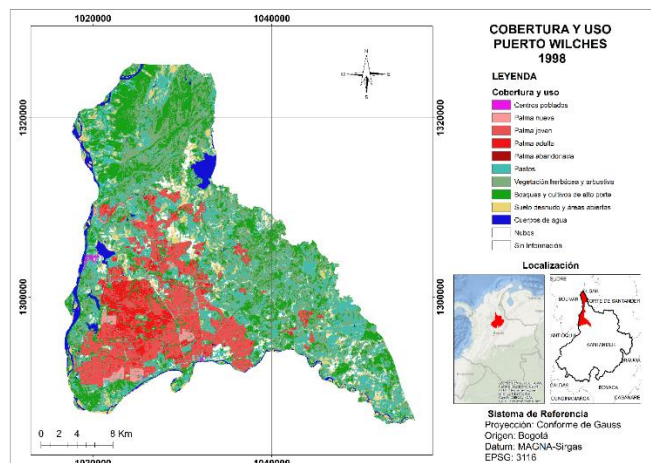
Figura 6. Cobertura y uso de la zona de estudio para el año 1991.



Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 5 TM, fecha de adquisición 1991-08-14

En el año 1998 el área sembrada con palma de aceite en el municipio asciende a 16.382 ha (Figura 7), el cultivo se ha expandido hacia el norte como un gran bloque y se presentan nuevas áreas en el sector oriental del municipio; la actividad productiva continua expandiéndose a pesar de encontrarse para esta época, el territorio bajo la influencia del conflicto armado ¹⁵.

Figura 7. Cobertura y uso de la zona de estudio para el año 1998.

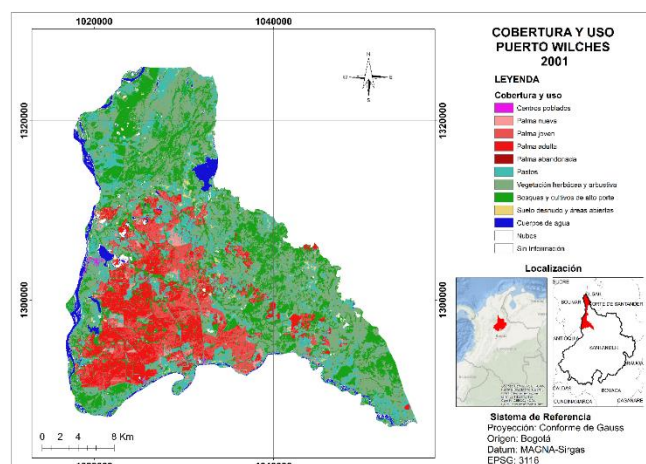


Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 5 TM, fecha de adquisición 1998-01-05.

Para el año 2001 el área sembrada se expande a 19.339 ha (

Figura 8), el crecimiento hacia el norte se mantiene en el límite de lo observado en 1991; en el sector oriental se consolidan las áreas en expansión reportadas para 1998. Como fenómeno importante asociado a la dinámica del cultivo en esta nueva fase ingresan como actores los pequeños productores y sus asociaciones, manejando áreas menores de 50 ha; el cultivo entonces, deja de ser una alternativa solo para las grandes empresas palmeras y los medianos productores ¹⁶.

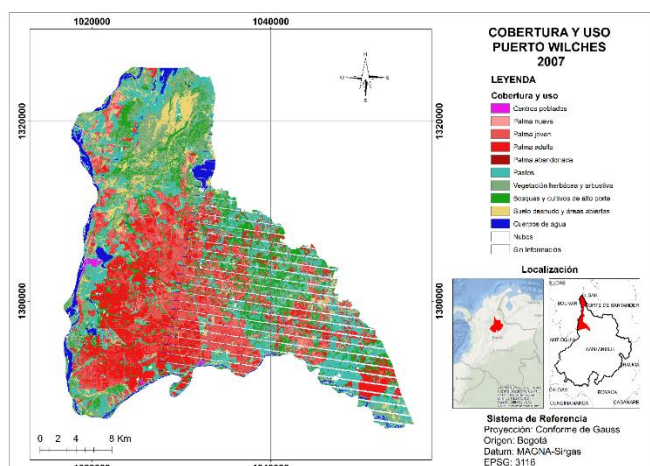
Figura 8. Cobertura y uso de la zona de estudio para el año 2001.



Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 5 TM, fecha de adquisición 2001-01-29.

En el año 2007 el cultivo se encuentra consolidado casi en la mitad del municipio, con un área que alcanza las 28.818 ha (Figura 9). Se identifica la expansión del cultivo por las estribaciones del río Magdalena en dirección al norte en pequeñas áreas. Se evidencia el crecimiento más importante en las áreas del cultivo de palma de aceite, con una expansión superior a reportada en los periodos anteriores. La apertura de nuevas zonas en la parte central y occidental del municipio demuestra la tendencia de expansión registrada en la década de 1990 dado el ingreso cada vez mayor de las áreas sembradas por los pequeños productores y por la presencia de nuevas empresas palmeras en el territorio.

Figura 9. Mapa de cobertura y uso de la zona de estudio para el año 2007.

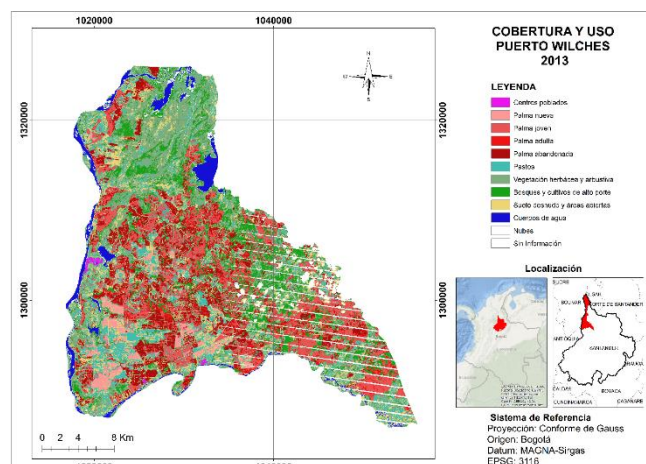


Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 7 ETM, fecha de adquisición 2007-02-23

Una profunda contracción se materializa en el cultivo asociada a la Pudrición del Cogollo (PC) causada por *Phytophthora palmivora* en el año 2013 con una afectación a los cultivos establecidos en 27.415 ha (

Figura 10); la diseminación de la enfermedad pudo, según se evidencio en la imágenes, ser favorecido ante el abandono de los cultivos por parte de los productores, reportándose una mayor afectación por la enfermedad en un área de 10.578 ha; en consecuencia para este año el área en producción corresponde solo a 16.837 ha.

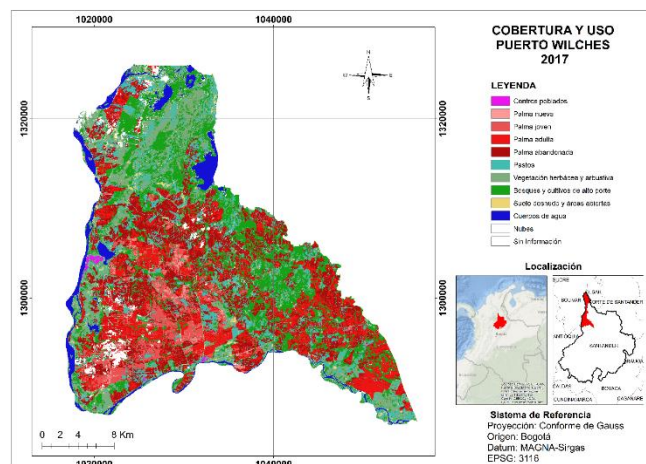
Figura 10. Mapa de cobertura y uso de la zona de estudio para el año 2013.



Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 7 ETM, fecha de adquisición 2013-01-06.

El año 2016 como cierre del último periodo analizado registra un total de 18.229 ha de cultivos activos (Figura 11) y 15.621 ha en condiciones de posible abandono o alta afectación de la enfermedad PC.

Figura 11. Mapa de cobertura y uso de la zona de estudio para el año 2016.



Nota: Clasificación supervisada de imagen de satélite LandSat 8 OLI, fecha de adquisición 2017-01-27

Análisis general de la expansión

El territorio de Puerto Wilches tuvo un crecimiento sostenido de los cultivos de palma de aceite y de máxima expansión hasta el año 2007 (ver Tabla 2),

en la cual jugaron un papel importante las políticas estatales similar a lo que ha ocurrido en Indonesia¹⁷. Si bien, al año 2016 el área alcanza un total de 33.850 ha, fenómenos como la presencia de la PC asociada entre otras, con grandes extensiones de cultivo abandonadas permite considerar en el marco de la investigación que el máximo de área activa sembrada con el cultivo fue de 28.818 ha, a partir de esta cifra se evidencio para los primeros años reportados la siembra del 10% del área, el 67% de la expansión se registra en el periodo posterior de 38 años y en solo 7 años (2001-2007) se siembra el 33% de área restante. El declive de la expansión del cultivo se da a partir de 2007 terminando en el año 2016 con el 63% del área en condiciones de cultivos activos conservando la tendencia en términos de expansión reportada para el año 2001.

Tabla 2. Crecimiento porcentual del cultivo de palma de aceite con referencia al máximo de área alcanzado en 2007 y al área del municipio.

Año	1977	1985	1991	1998	2001	2007	2013	2017
Área en palma (ha)	3.025	7.135	12.996	16.382	19.339	28.818	16.837	18.229
% con respecto a 2007	10%	25%	45%	57%	67%	100%	58%	63%
% con respecto al área municipal	2%	5%	8%	11%	13%	19%	11%	12%

Gráficamente el análisis de la expansión del cultivo hasta el 2007 permite asociarlo a un modelo exponencial (ver Figura 12), no obstante la tendencia exponencial de su crecimiento se ve limitada por la enfermedad de la PC, con lo cual la expansión presenta una nueva tendencia en las mismas condiciones reportadas en 1998; esta tendencia cambia en el periodo 2013-2016 con una disminución notable en sus dinámicas de expansión (ver Figura 13).

Figura 12. Tendencia de expansión del cultivo de palma de aceite desde 1977 hasta 2007.

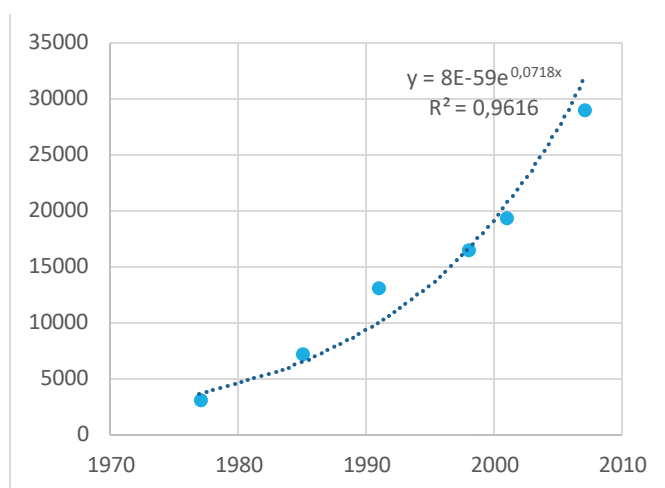
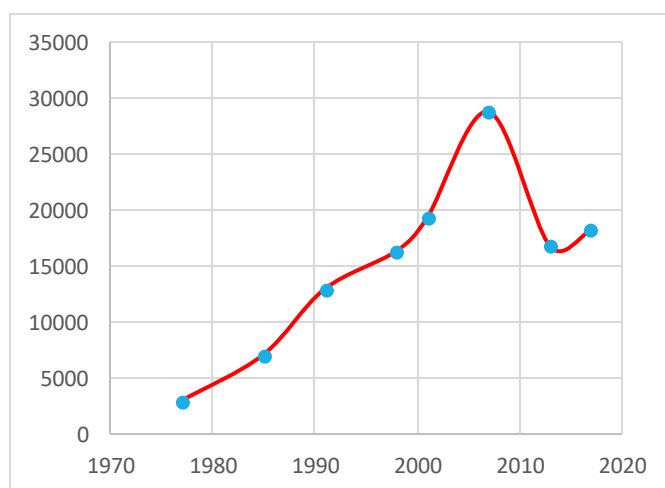


Figura 13. Expansión del cultivo de palma de aceite 1977-2017.



Como parte de los hallazgos se identificaron algunas aproximaciones para la década de 1980 con respecto a la principal fuente de datos explícitos sobre el área ocupada por los cultivos de palma de aceite en Puerto Wilches; Mujica *et.al.*⁶ indican un total de 9.700 ha sembradas, y Cano¹⁸ relaciona 11.939 ha para el mismo año, con respecto a 7.135 identificadas a partir de las imágenes; para el caso del área reportada en el 2008 se encuentran grandes diferencias ya que Mujica *et.al.*⁶ relacionan un total de 43.066 ha, Rincón⁵ relacionan 39.200 ha y Cano¹⁸ estima un total de 45.792 ha para el año 2010 frente a las 28.818 registradas en la investigación para 2007 como ya se ha referido. No

fue posible identificar la razón de las diferencias con respecto a los datos reportados por Mujica *et.al.*⁶ y Rincón⁵ debido a que se desconocen las metodologías de obtención de datos relacionados por ellos, sin embargo, con respecto a los datos reportados por Cano¹⁸ las diferencias se pueden fundamentar en procesos de generalización aplicados en dicho estudio detectados en los mapas de cobertura y uso elaborados en los cuales se induce existió sobrestimación de las áreas.

Desde el punto de vista sociocultural, el proceso de expansión del cultivo de palma de aceite transformó la estructura física del paisaje (Tabla 3); se presentó una transición de grandes extensiones de pastos, cultivos transitorios y áreas con vegetación herbácea o arbustiva al cultivo de la palma. Las áreas en pastos y otros cultivos presentaron una contracción cercana al 74% entre los años 1977 y 2017, mientras las áreas con vegetación herbácea o arbustiva se redujeron en un 45% en el mismo periodo, en concordancia con las dinámicas generales de cambio de uso asociadas al cultivo de palma de aceite en América Latina¹⁹.

Tabla 3. Distribución de áreas de cobertura y uso para los periodos de análisis

Cobertura	1977	1985	1991	1998	2001	2007	2013	2017
Centros poblados	54	93	95	119	107	203	186	181
Palma nueva	667	-	190	991	1.298	1.849	2.066	735
Palma joven	-	7.135	2.388	11.630	8.257	12.291	12.224	5.369
Palma adulta	2.358	-	10.418	3.762	9.784	14.678	2.547	12.124
Cultivos abandonados	-	-	-	-	-	-	10.578	15.621
Pastos	38.594	26.813	22.726	18.619	13.572	16.327	10.857	10.095

Vegetación herbácea o arbustiva	23.449	12.283	17.007	18.695	24.643	12.574	15.896	12.760
Vegetación natural de alto porte	22.226	29.044	23.227	16.664	18.756	19.891	19.434	17.441
Suelos desnudos	1.547	3.194	1.887	5.658	765	5.588	9.841	1.079
Cuerpos de agua	2.475	2.305	3.405	2.603	2.792	3.311	3.123	3.701
Nubes	-	496	-	2.602	55	-	369	1.146
Sin información	15	24	43	43	1.357	4.673	4.265	1.089

CONCLUSIONES

En el territorio de Puerto Wilches se evidencia que la dinámica de expansión del cultivo de palma de aceite ha estado sujeta a condiciones socioeconómicas y ambientales. De manera tangencial se pueden definir cinco factores determinantes en los cambios que se dieron en el área sembrada: a) estimulación estatal para grandes productores, b) asociación de medianos productores, c) estimulación estatal de pequeños productores, d) afectación de la PC, e) reactivación económica del municipio.

En el caso de Puerto Wilches se presentó una alta conversión de áreas con pastos y vegetación herbácea hacia los cultivos de palma de aceite, es de resaltar la simbiosis que se presentó con la expansión del área de los centros poblados, los cuales están directamente relacionados a la agroindustria de la palma de aceite.

El presente estudio es una herramienta que contribuye al entendimiento de las relaciones causa-efecto que han configurado el territorio, los

escenarios actuales y se convierte en un insumo para plantear escenarios futuros que contemplen los procesos de transformación propios del territorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al apoyo brindado por la Universidad Autónoma de Manizales, al Fondo de Fomento Palmero y a la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite Cenipalma.

REFERENCIAS

1. Fedepalma. *Anuario Estadístico 2017: Principales Cifras De La Agroindustria De la Palma De Aceite en Colombia 2012-2016*. (2017).
2. Fedepalma. Sistema de información estadística del sector palmero. <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/> (2018).
3. Ospina, M. & Jaramillo, D. *La Palma africana en Colombia: Apuntes y Memorias*. (Fedepalma, 1998).
4. Rangel Arenas, S. *A Paso de Yuma*. (2004).
5. Rincón, M. A. P.-. *Dinámica Del Sector Palmero En Colombia Y La Región Del Sur De Bolívar: Análisis De Sus Conflictos Ambientales* 1. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356005/Lecturas/Dinamica_del_sector_palmero-1.pdf (2010).
6. Mujica Granados, C., Torres, E. & Vargas Esparza, M. *Evolución del sector palmicultor*. vol. 3 (Universitaria de Investigación y Desarrollo, 2010).
7. ICA. *Resolución 507 de 2009*. 1–6 (2010).
8. Fedepalma. Avanza plan de erradicación del cultivo de la palma de aceite afectado con la. *El Palmicultor* vol. 480 20–21 (2012).
9. Glinskis, E. A. & Gutiérrez-Vélez, V. H. Quantifying and understanding land cover changes by large and small oil palm expansion regimes in the Peruvian Amazon. *Land use policy* **80**, 95–106 (2019).
10. Abburu, S. & Babu Golla, S. Satellite image classification methods and techniques: a review. *Int. J. Comput. Appl.* **119**, 20–25 (2015).
11. Jensen, J. *Introductory Digital Image Processing*. (Prentice Hall, 2004).
12. IDEAM & Ministerio del Medio Ambiente. *Leyenda nacional de coberturas de la tierra*. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010).
13. Pacheco, M. Historia de la Palma en Puerto Wilches. 1 <http://palmaafricanaunipaz.blogspot.com/2011/03/historia-de-la-palma-en-puerto-wilches.html> (2011).
14. Rugeles, L. *La Cooperativa de Palmicultores de Colombia COPALCOL un Caso de Empresa Asociativa Rural Exitosa*. (2011).
15. López, M. B. PUERTO WILCHES: SINDICATOS Y ACTORES POLÍTICOS ARMADOS, 1996-2002. *Controversia* **185**, 107–130 (2005).
16. Reyes, I. S., Ruíz, D. & Vargas, R. *Río de Babel*. (2005).
17. Gatto, M., Wollni, M. & Qaim, M. Oil palm boom and land-use dynamics in Indonesia: The role of policies and socioeconomic factors. *Land use policy* **46**, 292–303 (2015).
18. Cano, C. R. Adaptación De La Metodología De Cálculo De Huella Ecológica Para Los Cultivos De Palma Africana Usando Sistemas De Información Geográfica: Estudio De Caso Puerto Wilches Santander. *Colomb. For.* **17**, 60–76 (2014).

19. Furumo, P. R. & Aide, T. M. Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environ. Res. Lett.* **12**, 024008 (2017).