

Artículo de investigación

# Análisis Multitemporal de la Degradación del Suelo en la Cuenca del Arroyo Yukyry en el periodo 2001-2019

Juan Salvador Villagra<sup>1\*</sup>; Brenda Sandoval<sup>1\*</sup>; Stefani Ortiz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción.

\* E-mail: [jvillagra@fiuna.edu.py](mailto:jvillagra@fiuna.edu.py); [bsandoval@fiunal.edu.py](mailto:bsandoval@fiunal.edu.py); [sortiz@fiuna.edu.py](mailto:sortiz@fiuna.edu.py)

Recibido: 07/11/2023; Aceptado: 20/12/2023; Publicado: 28/12/2023

## Resumen

El suelo es un recurso indispensable para la realización de todo tipo de actividades antrópicas, además, es sabido que este se ve amenazado cada día más por la manera y el ritmo en el cual es utilizado. Las dinámicas territoriales tuvieron consecuencias perjudiciales en el suelo y, como respuesta a esta problemática, se constituyó la Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación y sequía (CNLUD). Esta convención, para evaluar la degradación del suelo, hace uso del complemento Trends Earth, disponible en el software QGIS. La Cuenca del Arroyo Yukyry no es una excepción, ya que en los últimos años y con el aumento poblacional, se ha convertido en parte del Área Metropolitana de Asunción, la capital de Paraguay. La metodología de la CNLUD fue replicada para la presente investigación. Los resultados obtenidos muestran que, tanto las prácticas agrícolas intensivas como los procesos de urbanización desorganizada son los que generan mayor impacto negativo en el estado del suelo en la cuenca.

**Palabras clave:** suelo; degradación; Trends Earth

## Multi-Temporal Analysis of Soil Degradation in the Yukyry Stream Basin.

### Abstract

Soil is an indispensable resource when it comes to carrying out many types of anthropogenic activities, in addition, it is known that it is increasingly threatened by the way and pace at which it is being used. These territorial dynamics had damaging consequences for soil and, as a response to this problem, the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) was constituted. This convention uses the complement Trends Earth to evaluate soil degradation, available for the software QGIS. The Yukyry Stream Basin is no exception to this, given that in the past years and due to population growth, the region has become a part of the Metropolitan Area of Asunción, Paraguay's capital. The UNCCD methodology was replicated for this investigation. The results that were obtained demonstrate that both intensive agricultural practices and disorganized urbanization processes have the greatest negative impact on the basin's soil.

**Keywords:** soil; degradation; Trends Earth

---

## 1. Introducción

Los diversos fines que se le ha dado al suelo incluye: agricultura, ganadería, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, soporte para las edificaciones,

eliminación de residuos y actividades de ocio y recreo, entre otros (Dorronsoro, 2007). Esto, sumado al lento ritmo de regeneración del recurso, conduce a una degradación creciente, así como a una pérdida irrecuperable del suelo. En cuanto a la degradación del suelo, esta comprende el conjunto de procesos que provocan una reducción de la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios (Núñez, *et al.*, 2007).

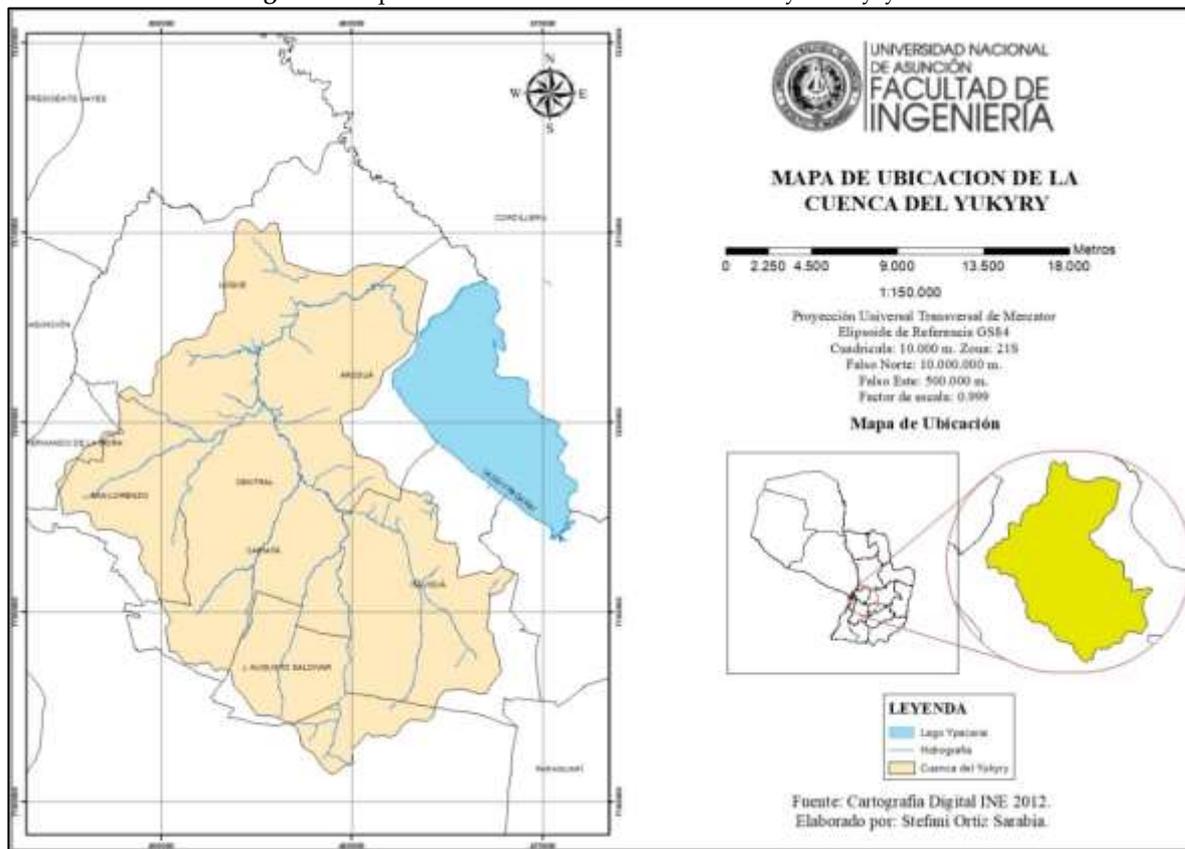
Paraguay se caracteriza por tener como base de su economía el sector agroganadero y las actividades económicas primarias, haciéndolo sumamente dependiente del suelo y de tener una buena calidad de este. Al ser un país exportador de carne bovina y de soja, es de vital importancia la óptima gestión del suelo y su uso. Además, un gran sector de la población paraguaya subsiste trabajando en el campo, por lo cual mitigar la degradación del suelo conlleva una importancia a nivel social. Por ende, se deben llevar a cabo trabajos e investigaciones que reflejen la afectación de la actividad antrópica sobre este recurso.

Uno de los ODS del Plan de Desarrollo Paraguay 2030 hace enfoque en “combatir la desertificación, restaurar la tierra y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y esforzarse por lograr un mundo sin degradación de la tierra para 2030”. Por ende, como objetivo general del trabajo se plantea el de analizar multi temporalmente la degradación del suelo en la Cuenca del Arroyo Yukyry.

## 2. Materiales y métodos

La zona de estudio comprende la Cuenca del Arroyo Yukyry, mostrada en la Figura 1, teniendo en cuenta que constituye un afluente al lago Ypacaraí cuyo caudal de aporte corresponde al 38% en un año normal y entre 36.5 y 40 % en años secos y húmedos respectivamente (UNA, 2005). Abarca parte de los distritos de Luque, Areguá, San Lorenzo, Capiatá, Julián Augusto Saldívar, Itauguá e Itá del departamento de Central en Paraguay y sus coordenadas UTM Zona 21 J son 463663.52 m E y 7204950.44 m S. En adición, es una de las más importantes que se encuentra ubicada sobre el Acuífero Patiño, además es una de las cuencas con mayor actividad antropogénica del área del acuífero y se podría considerar del país (Monte, *et al.* 2008).

Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca del Arroyo Yukury



Fuente: Elaboración propia

Para la identificación de las principales actividades que afectan el suelo de la cuenca se realizó una revisión bibliográfica de proyectos y trabajos de investigación que detallan cuáles exactamente son las actividades que caracterizan a la Cuenca del Arroyo Yukury, al ser un afluente del Lago Ypacarai, y cómo exactamente afectan al suelo dichas actividades.

En lo que compete a determinar la variación de la degradación del suelo en la cuenca, se hizo uso del programa QGIS en su versión 3.28.4, específicamente del complemento Trends Earth. Este complemento fue elaborado en respuesta a la metodología propuesta por la Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación y sequía (CNLUD), y para evaluar la degradación de la tierra, hace uso de 3 subindicadores:

- · Degradación de la cubierta terrestre
- · Degradación de la productividad de la tierra
- · Degradación de las reservas de COS (carbono orgánico en el suelo)

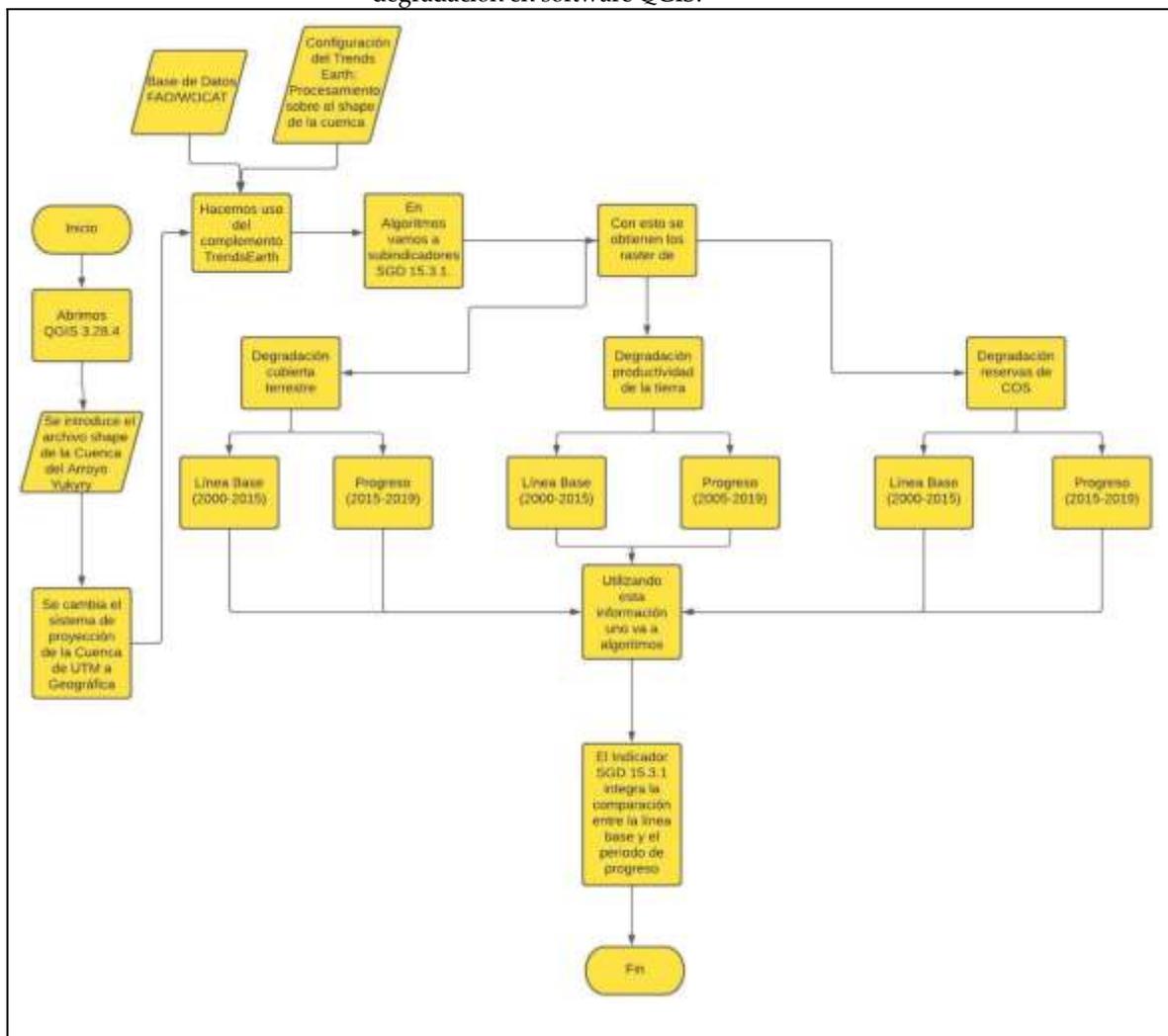
En lo que corresponde a la evaluación de cada subindicador, se toma como línea base el periodo de 2001 a 2015 y como lapso de progreso el periodo 2015 a 2019, con excepción del sub indicador de degradación en la productividad de la tierra, que toma como periodo de progreso el de 2005 a 2019, puesto que este es el intervalo de tiempo que requiere este subindicador para poder tener una

evaluación certera de los cambios existentes en cuanto a la productividad del suelo. La base de datos que utiliza Trends Earth corresponde a los disponibilizados por la FAO/WOCAT.

Cabe destacar que la resolución de los datos proveídos por la FAO/WOCAT es de 300x300 metros en cuanto al tamaño de celda, por lo que la precisión de los resultados no reflejará la situación real del suelo de la cuenca de manera tan efectiva como lo harían datos con mayor resolución espacial. En consecuencia, el trabajo presenta una visión de la aplicación del complemento de Trends Earth a escala 1:150.000, haciendo uso de datos a nivel global.

Finalmente, para identificar las zonas mayormente afectadas por la degradación, utilizando el mismo complemento de Trends Earth, se hace posible la integración de los productos obtenidos tanto para el periodo de línea base tomado (2000-2015) y el periodo de progreso (2015-2019). Con esta información, se puede, además, estimar el área (en km<sup>2</sup>) que sufrió degradación, que se mantuvo estable y que mejoró para ambos periodos de análisis. En la Figura 2 se puede ver el flujograma que indica los pasos seguidos para llegar a los resultados deseados.

**Figura 2.** Flujograma de pasos seguidos para determinar las zonas mayormente afectadas por la degradación en software QGIS.



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Resultados.

#### 3.1. Identificación de las principales actividades que afectan el suelo en la cuenca.

Barboza (2000) afirma que dos factores que influyen decisivamente en el manejo de los recursos de la cuenca son: el desarrollo de las actividades productivas en la cuenca, que puede ser expresada en el uso de la tierra y sus tendencias, y el crecimiento poblacional, directamente relacionado con la tendencia a la urbanización y consecuentemente a la generación de efluentes domésticos.

La cuenca del arroyo Yukyry sufre de pérdida de área boscosa y vegetación característica que alteran las condiciones naturales de los ecosistemas que se encuentran en el sitio. Este despeje del recurso bosque se realiza con mayor frecuencia en establecimientos dedicados a la explotación ganadera y agrícola, esta última actividad se caracteriza por ser tanto de productores a pequeña escala que cultivan algodón, maíz y mandioca como de productores a gran escala que producen mayormente soja y maíz.

Lo recién citado ocasiona erosión, en conjunto con otros factores contribuyentes, asociados con la topografía de la zona, las lluvias y la capacidad natural del suelo para erosionarse. En adición, la falta de vegetación ribereña resulta en la pérdida de la cobertura de protección de las orillas del arroyo, contribuyendo al ingreso de los estratos superiores del suelo al cauce, ocasionando así la sedimentación en ciertos tramos del cauce hídrico.

Cabe mencionar también que, otro de los problemas que se presenta en la Cuenca del Arroyo Yukyry, es la urbanización no planificada, de manera dispersa, y sin consideraciones al drenaje, al saneamiento o la capacidad del suelo. No sólo por los cambios de por sí que sufre el suelo al expandirse la mancha urbana y cómo afecta esto su calidad, sino que se tiene así planicies de inundación de los principales arroyos en la cuenca siendo pobladas, con problemas de inundación y saneamiento básico para los habitantes (Escobar *et al.* 2005).

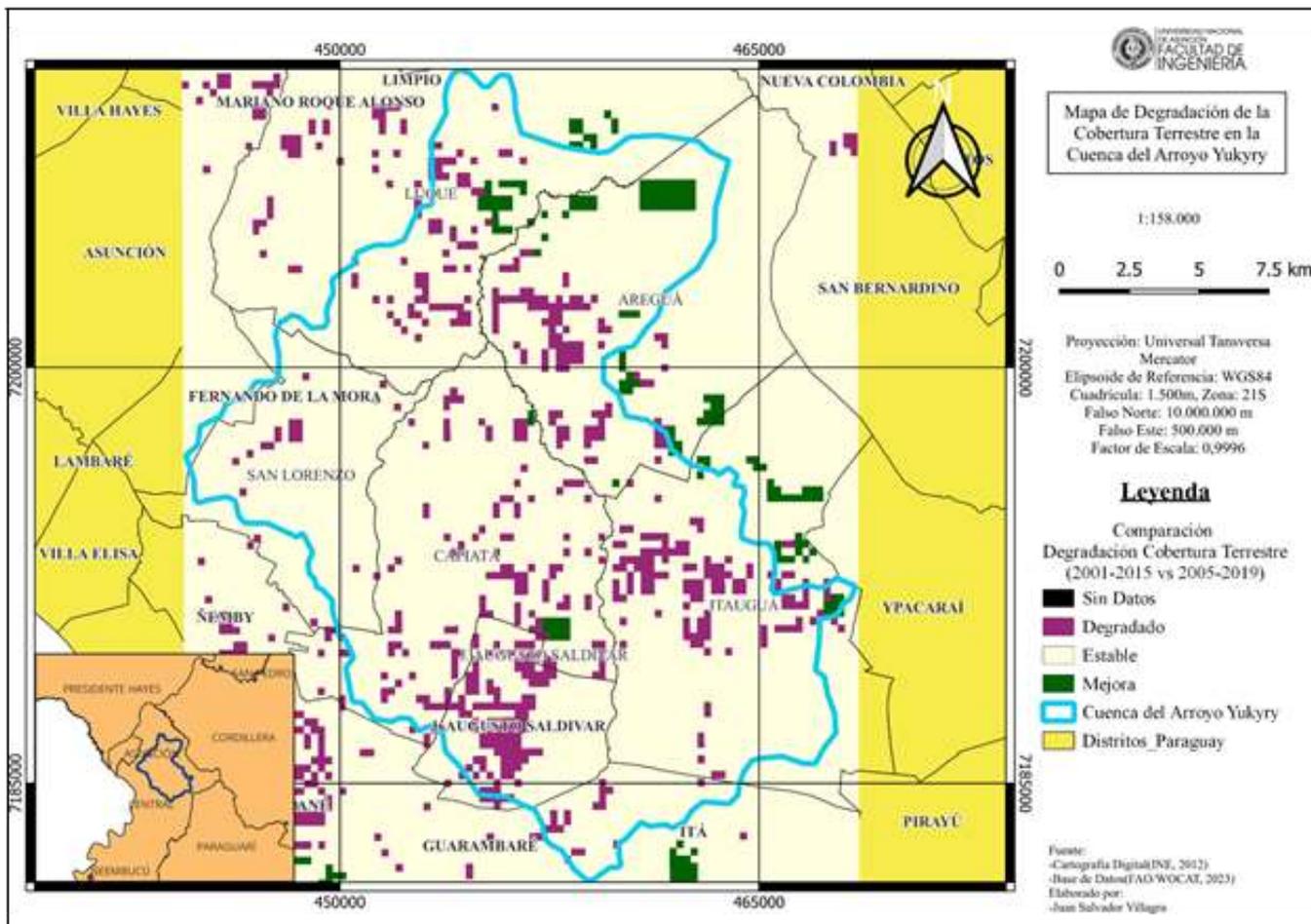
#### 3.2. Determinación de la variación de la degradación del suelo en el periodo 2001 a 2019.

Como resultado de la aplicación de la metodología de la Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación y sequía (CNLUD) y luego de hacer uso de la herramienta Trends Earth en el software QGIS, se obtienen rasters que indican qué porciones de la tierra sufrieron degradación, cuáles fueron las que se mantuvieron estables y cuáles son las que presentaron alguna mejora. Cada una según los distintos criterios o sub indicadores que fueron citados anteriormente.

##### 3.2.1. Degradación de la cobertura terrestre.

Considera los cambios de uso del suelo que se dan en la cuenca y cómo estos se asocian a procesos de degradación (por ejemplo, cambio de uso forestal a uso urbano representa disminución en la calidad del suelo y un aumento en el riesgo de degradación). El resultado obtenido es se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Mapa de degradación de cobertura terrestre en la Cuenca del Arroyo Yukyry en el periodo 2001-2019



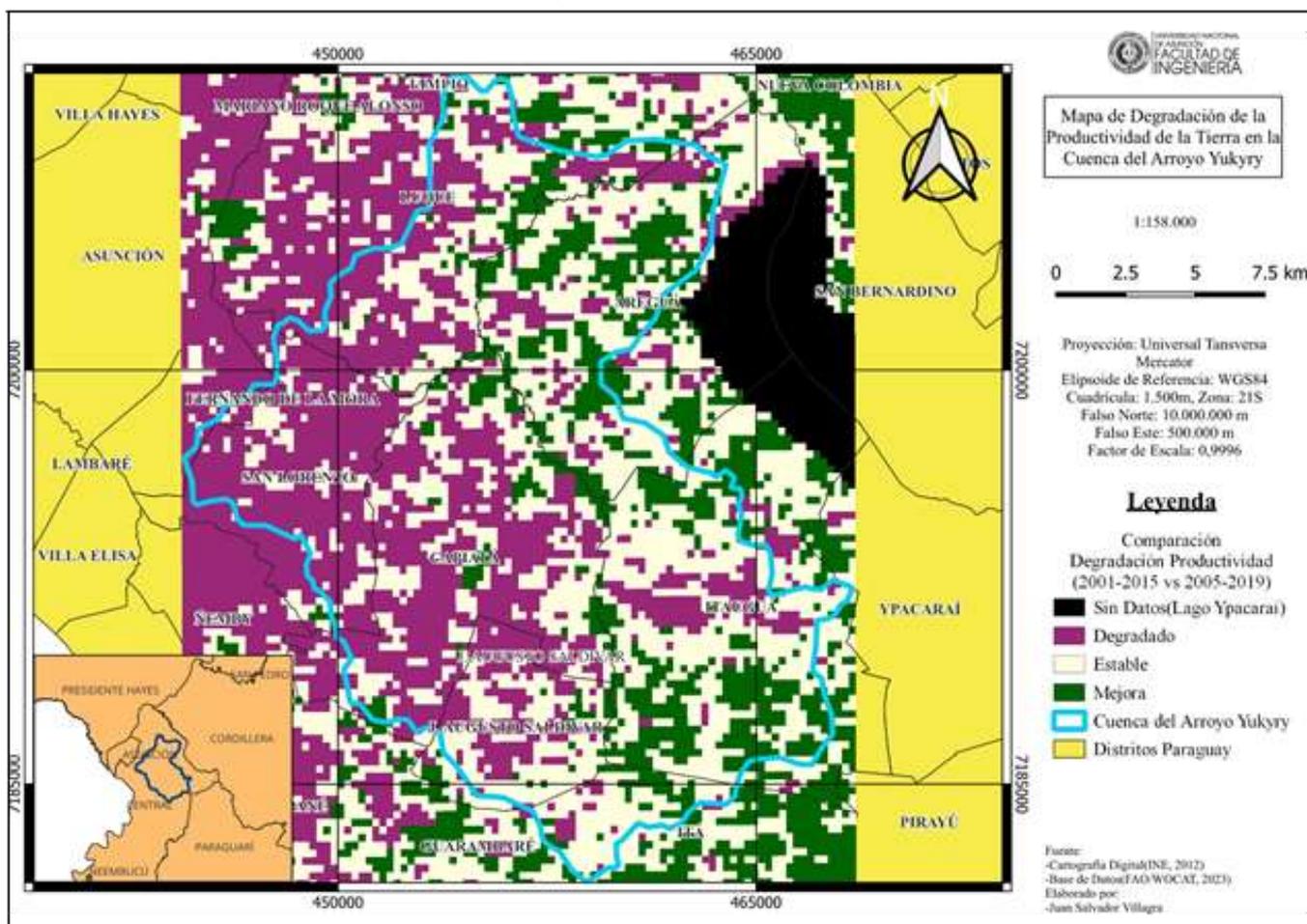
Fuente: Elaboración propia

Puede verse que, si bien gran parte de la cuenca se mantuvo estable durante el periodo de análisis y se ven lugares donde hubo mejoras, existe degradación en varios sitios de su superficie, sobre todo en el límite Este y hacia el Sur; siendo el distrito que presenta más afectación por la degradación según este subindicador el de J. Augusto Saldívar.

### 3.2.2. Degradación de la productividad de la tierra.

La productividad del suelo o de la tierra es un aspecto complejo o que integra características y propiedades del suelo, en sentido estricto, con prácticas culturales y con características y propiedades de otros elementos ambientales (vegetación, litología, pendiente, etc.) mutuamente interrelacionados (Ministerio del Ambiente de Andalucía, 2006). Para la Cuenca del Arroyo Yukyry se obtuvo el resultado que se muestra en la Figura 4.

**Figura 4.** Mapa de degradación de la productividad de la tierra en la Cuenca del Arroyo Yukyry en el periodo 2001-2019.



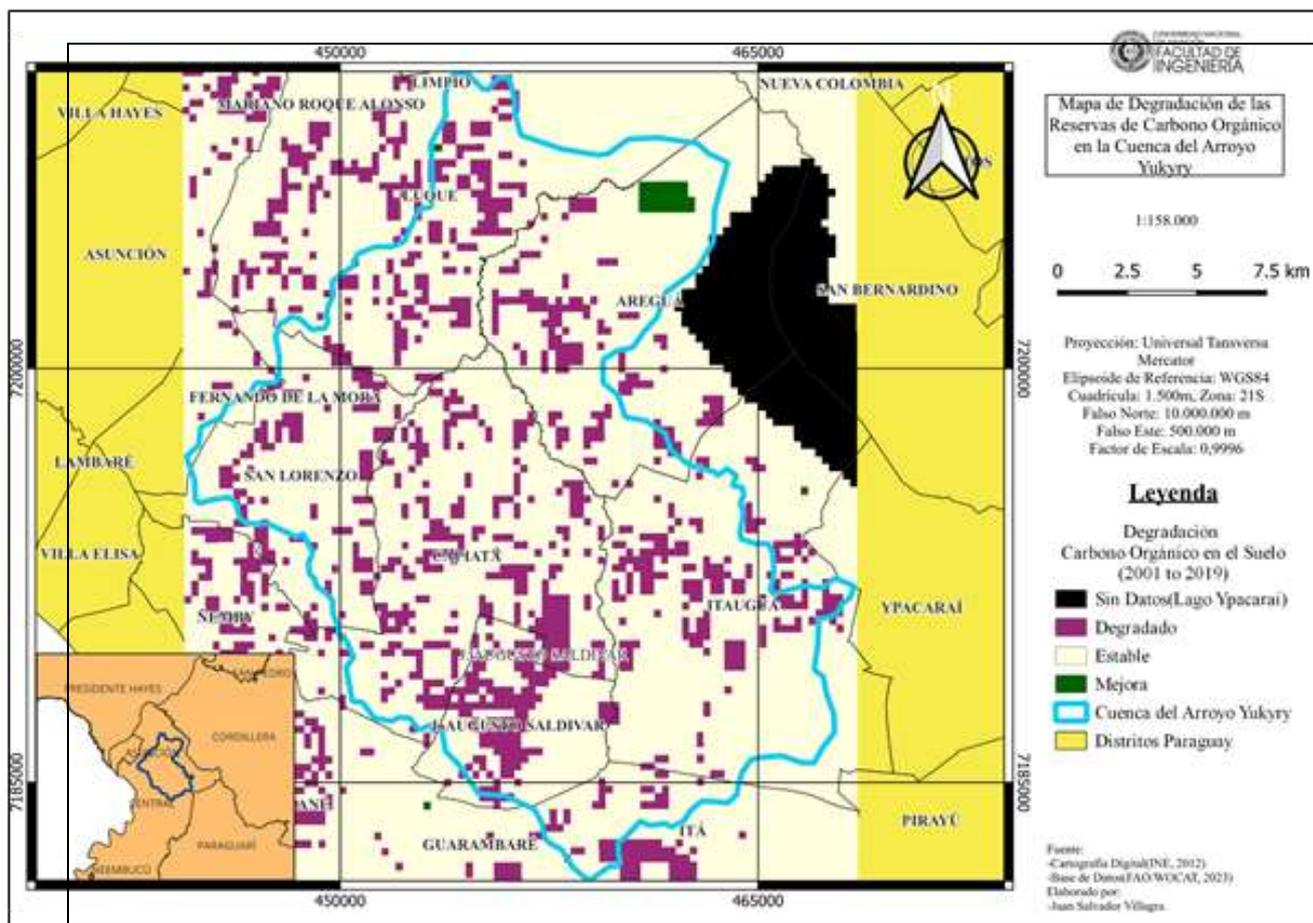
Fuente: Elaboración propia

En el mapa puede visualizarse que, si bien la cuenca presenta varias áreas de mejora en su borde Este (siendo en este subindicador en el cual se registró más mejoría) sufre un grave estado de degradación en la parte central y en las áreas que conforman el centro-oeste y el oeste, siendo los distritos que presentan mayor degradación los de San Lorenzo, Capiatá y Luque.

### 3.2.3. Degradación de las reservas de carbono orgánico.

El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo (Martínez, *et al.* 2008). En la Figura 5 se ven los resultados arrojados luego de aplicar la metodología del trabajo.

Figura 5. Mapa de degradación de las reservas de carbono orgánico en la Cuenca del Arroyo Yukyry en el periodo 2001-2019



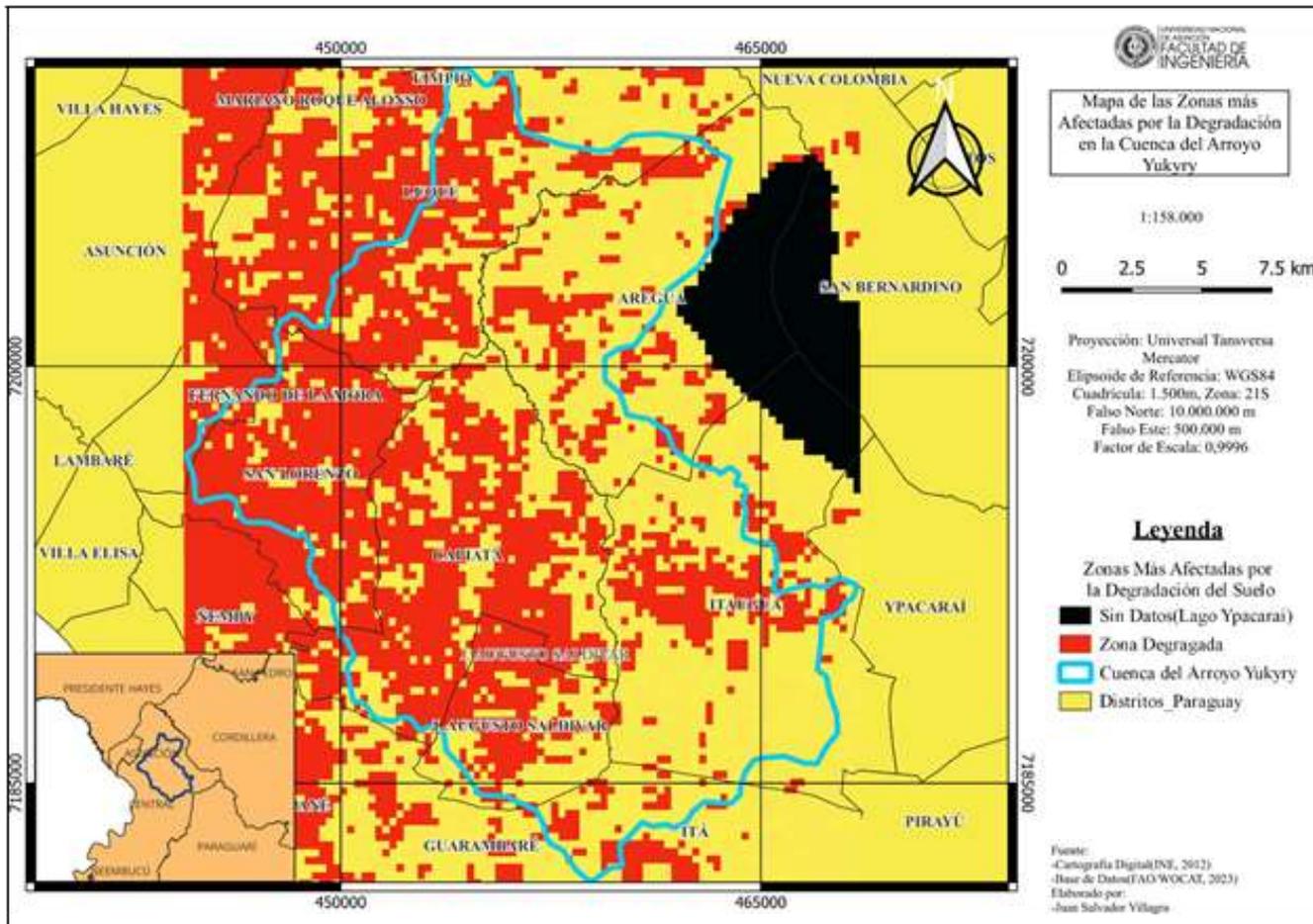
Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que, en cuanto a este subindicador, la cuenca presenta degradación distribuida a lo largo de toda su extensión y una mejora mínima. Tanto Capiatá como J. Augusto Saldívar, ubicados hacia el sur, pueden considerarse como los más afectados

### 3.3. Identificación de las zonas mayormente afectadas por la degradación del suelo.

En cuanto a las zonas que fueron mayormente afectadas por la degradación, se tuvo en cuenta la integración de los resultados obtenidos en los puntos anteriores, por consiguiente, se tiene lo mostrado en la Figura 6. Este producto considera la comparación de los tipos de degradación expuestos en los subindicadores de la metodología aplicada y los combina para tener la actualización del periodo de línea base con el periodo de reporte o de progreso. La misma herramienta Trends Earth posibilita la obtención de este producto y genera gráficos que exponen de una manera clara los cambios y la degradación ocurridos en el área de estudio.

Figura 6. Mapa de zonas más afectadas por la degradación en la Cuenca del Arroyo Yukyry.

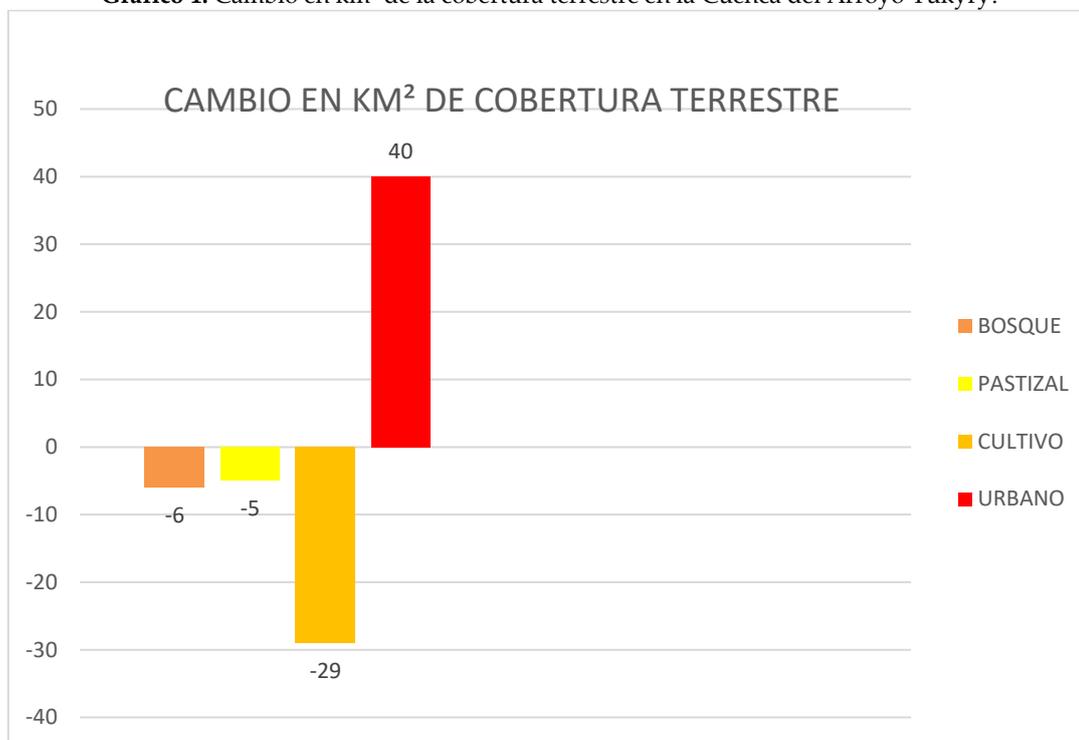


Fuente: Elaboración propia.

Al ver el mapa se comprueba que, una gran porción de la cuenca, en especial la que se ubica hacia el oeste de esta, atraviesa intensos procesos de degradación, y, al ver que estas áreas corresponden principalmente a los distritos de San Lorenzo, Luque y Capiatá, se puede afirmar o asumir que este estado de gravedad en cuanto a la degradación del suelo está estrechamente ligado a la urbanización que se da de manera desordenada y a un ritmo muy acelerado.

El Gráfico 1 permite visualizar el cambio en cobertura terrestre en km<sup>2</sup>, según cuál es el tipo de uso de suelo que se le atribuye en la cuenca. Los valores negativos indican una pérdida de ese tipo de cobertura, que se manifiesta como un cambio de uso de suelo.

Gráfico 1. Cambio en km<sup>2</sup> de la cobertura terrestre en la Cuenca del Arroyo Yukyry.



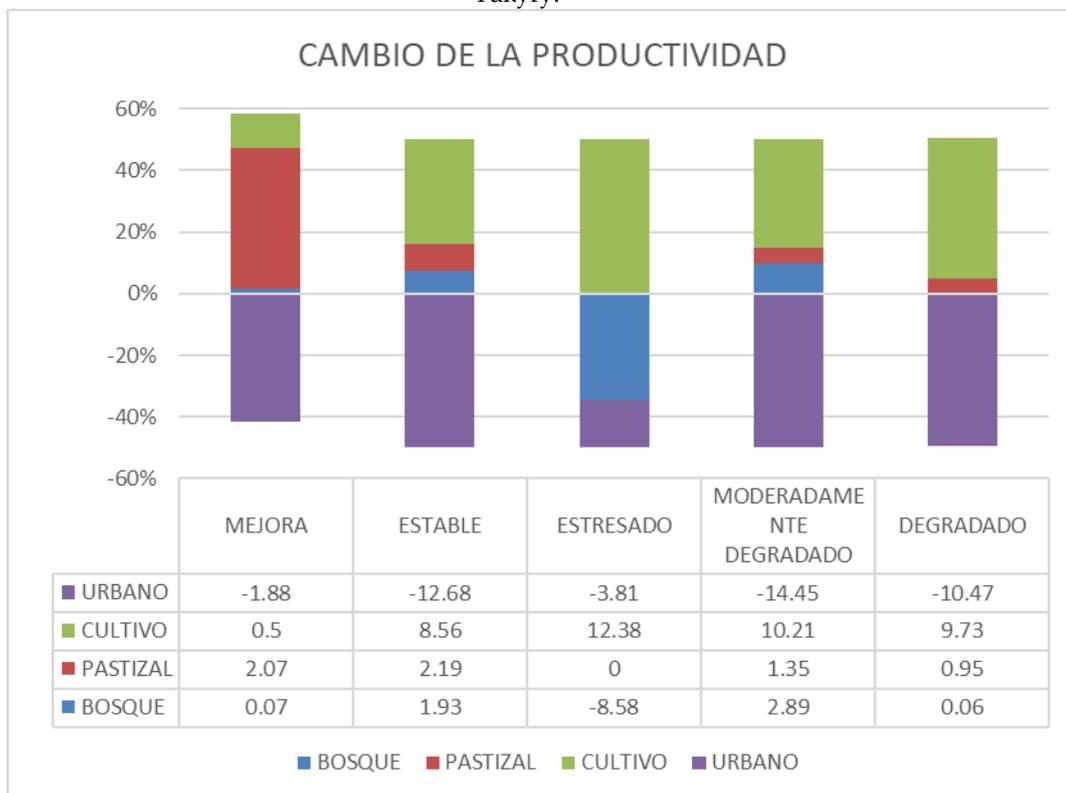
Fuente: Elaboración propia

Aquí también se ve que los usos: forestal, pastizal y cultivo fueron modificados a uso urbano. De esta manera, se puede ver el cambio que experimentó la cobertura terrestre en el lapso 2001 a 2019.

De esta manera, se tiene una noción de cuál es el ritmo y en qué aspecto cambia la cobertura de la tierra en la cuenca, viéndose que son los usos de zona urbana y cultivo los que constituyen una mayor porción de la superficie y que es la urbanización la que presenta incremento, asociado al aumento de la población entre los dos años considerados.

En el Gráfico 2 se puede visualizar el porcentaje de aumento o disminución de la productividad de la tierra diferenciando según tipo de cobertura de suelo y el estado de degradación en el que se encuentra el suelo de la cuenca según los otros dos criterios (de izquierda a derecha: incremento o mejora, estable, estresado, declinación o degradación moderada, declinado o degradado, sin datos).

**Gráfico 2.** Aumento o disminución en porcentaje de la productividad de la tierra en la Cuenca del Arroyo Yukyry.

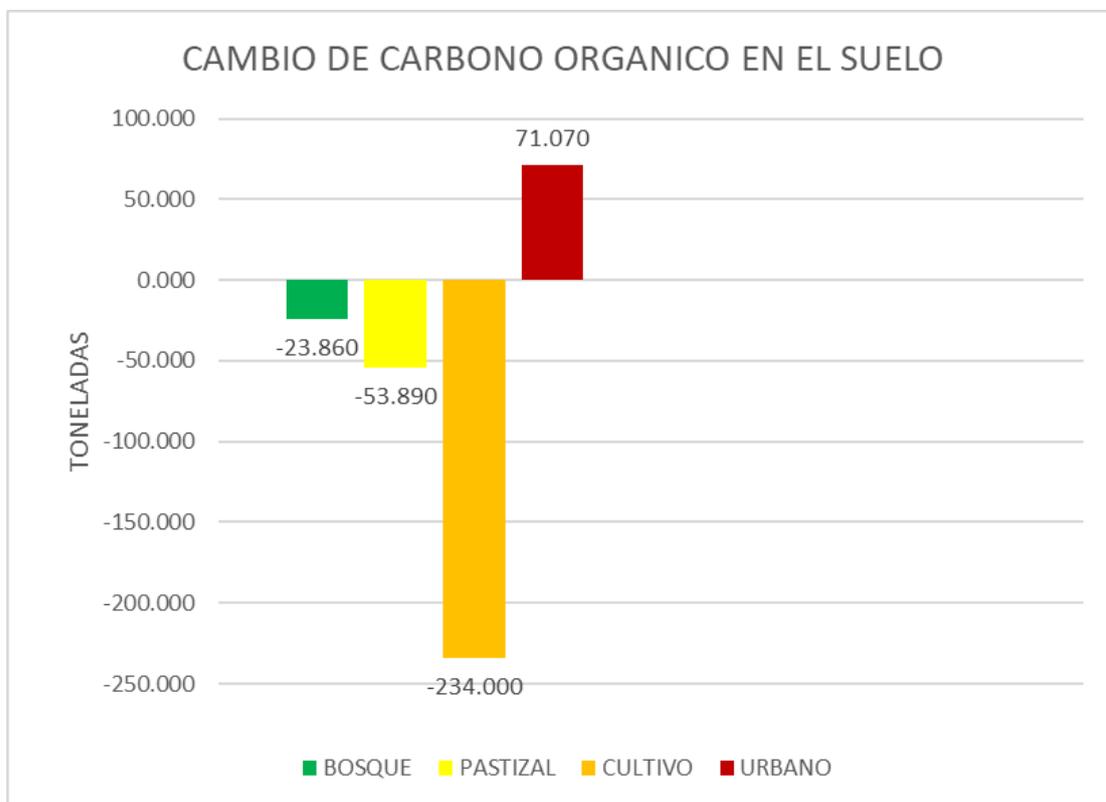


Fuente: Elaboración propia

Claramente, se observa que la mayor disminución en porcentaje de productividad de la tierra se dio en las áreas urbanas, mientras que las áreas destinadas a cultivo presentaron aumentos considerables en productividad.

El cambio en las reservas de carbono orgánico, en toneladas, se muestra en el Gráfico 3, donde también se diferencia según el tipo de uso de suelo.

**Gráfico 3.** Cambio en toneladas de las reservas de carbono orgánico en la Cuenca del Arroyo Yukyry.



Fuente: Elaboración propia

Queda demostrado así que, las áreas de cultivo son las que presentaron una mayor disminución en cuanto a la cantidad de carbono orgánico y la zona urbana fue la única que tuvo un aumento en este ámbito.

Finalmente, el Gráfico 4 presenta el resumen de cuánto de la superficie de la cuenca se encontraba en estado de degradación, en estado de mejora o en estado estable. Esto ya haciendo sobre el suelo el contraste de los parámetros y criterios que se evaluaron en el periodo de análisis.

La categoría de tierra en estado estable es la que existe en mayor proporción, seguida de una gran porción en estado degradado y una muy pequeña fracción en estado de mejora.

#### 4. Conclusiones

Queda demostrado así que, las áreas de cultivo son las que presentaron una mayor disminución en cuanto a la cantidad de carbono orgánico y la zona urbana fue la única que tuvo un aumento en este ámbito.

Tras observar los resultados del estudio, quedó evidenciado que, los tipos de cobertura terrestre que presentan más dinamicidad son los de uso cultivo y uso urbano, siendo San Lorenzo, Capiatá y Luque los que experimentan más aumento en este último ámbito. La degradación que se evaluó con respecto a cada subindicador sostiene una relación importante con estos cambios que presenta el suelo en la

extensión de la cuenca; la mala gestión de las tierras y el inapropiado manejo de los recursos de la cuenca repercute directamente en la afectación que sufrirá el suelo en cada criterio considerado.

De estos subindicadores, el que se vio más afectado fue el de la productividad de la tierra, que experimentó decrecimiento abrupto en porcentaje en todos los diferentes estados del suelo (mejorado, estable, estresado, degradación moderada, degradado) en la cuenca a lo largo de todo el periodo de estudio. Aunque, al estar vinculada la productividad a los cambios de cobertura y también a las reservas de carbono, cualquier impacto negativo sobre la primera tiene consecuencias perjudiciales sobre las otras dos. Por ende, se requiere de planteamientos que unifiquen los 3 aspectos que conforman los subindicadores para llegar a soluciones reales a la hora de administrar la cuenca. Habiendo investigado acerca de las principales actividades que afectan el suelo en la Cuenca del Arroyo Yukyry, se concluye que: la agricultura intensiva, junto con la manera desordenada y desmedida con la que se da la expansión de la mancha urbana los factores que tienen mayor impacto sobre el suelo en la cuenca. Por lo tanto, a modo de tener una posible solución se recomienda llevar adelante prácticas más sostenibles de las actividades productivas citadas, como pueden ser la de plantación de pasturas naturales para alimentar al ganado, la rotación de cultivos, la utilización de abono verde, o el uso de agroquímicos y plaguicidas en menor medida y de forma más puntual y localizada.

En cuanto al proceso de urbanización, siempre que haya aumento de población, será necesario contar con más viviendas y servicios para las personas, y, por consiguiente, inevitable la expansión de la mancha urbana. Aunque, como propuesta de mitigación de esta problemática, se plantea la elaboración y correcta implementación de planes de ordenamiento territorial, que ofrezcan alternativas de zonificación y proyecciones de crecimiento poblacional que sean algo acertadas y ayuden a organizar el territorio.

Finalmente, de manera a conseguir resultados más representativos de la realidad y, por ende, de mayor utilidad para la gestión de la Cuenca del Arroyo Yukyry, se recomienda obtener datos de cambio de uso de suelo, de variaciones en la productividad de la tierra y de reservas de carbono orgánico a nivel local, que cuenten con una resolución mayor a la que provee la FAO/WOCAT.

Como futuras líneas de investigación se propone la de analizar la influencia que tiene la degradación del suelo en los recursos hídricos de la zona, o el impacto a la biodiversidad presente y a la distribución de especies de fauna y/o flora en los ecosistemas que pueden ser encontrados en la cuenca.

### **Referencias bibliográficas**

Burbano, H. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. Revista de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

Cotler, H. Sotelo, E. Domínguez, J. Zorrilla, M. Cortina, S. Quiñones, L. (2007). *La conservación de suelos: un asunto de interés público*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Distrito Federal, México.

Dorronsoro, C. (2007). *Edafología y química agrícola*. Universidad de Granada, España.

Escobar, G; Pusineri, J; Takahashi, R; Valdovinos, A. (2005). *Sistemas de apoyo a la toma de decisiones en el Marco de la Ley 3239: Modelo Hidrológico de la Cuenca del Yuquyry*. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Martínez, E; Fuentes, J; Acevedo, E. (2008) *Carbono orgánico y propiedades del Suelo*.

Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. Universidad de Chile.

Núñez, S. Pérez, M. Cuesta, M. J. Cabrera, J. A. (2007) *Procesos de Degradación del Suelo*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Universidad de Madrid.

Oldeman, L. R. 1988. *Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation*. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)

Silva, S. Correa, F. (2009). *Análisis de la Contaminación del Suelo: Revisión de la Normativa y Posibilidades de Regulación Económica*. Universidad de Medellín.



Esta obra se encuentra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento - Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.