



Cartografía temática digital de la cuenca baja del río Luján (1990-2020): Un enfoque metodológico de análisis espacial

Thematic digital cartography of the lower basin of the Luján River (1990-2020): a
methodological approach to spatial analysis

 Clara Cantarelo

Instituto de Investigaciones Geográficas, Universidad
Nacional de Luján, Argentina
ccantarelo@mail.unlu.edu.ar

Recepción: 01 abril 2024

Aprobación: 27 junio 2024

Publicación: 01 noviembre 2024

Cita sugerida: Cantarelo, C. (2024). Cartografía temática digital de la cuenca baja del río Luján (1990-2020): Un enfoque metodológico de análisis espacial. *Geograficando*, 20(2), e162. <https://doi.org/10.24215/2346898Xe162>

Resumen: El artículo presenta una metodología detallada para generar cartografía temática de usos del suelo en la cuenca baja del río Luján para los años 1990 y 2020, utilizando tecnologías avanzadas como imágenes satelitales, teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta metodología abarca desde el preprocesamiento de imágenes hasta la aplicación de técnicas de clasificación supervisada para identificar diferentes coberturas del suelo. Se enfatiza el uso de la clasificación supervisada, respaldada por el conocimiento previo del área, el trabajo de campo y el análisis de índices como el NDVI. Mediante los resultados de la matriz de exactitud, se demostró que las cartografías creadas son precisas y representativas del área de estudio, validadas mediante el método Kappa. Además, se realizan análisis detallados de la exactitud de las clasificaciones por categoría, identificando las categorías con mayor correlación con la realidad.

Palabras clave: Cartografía temática, Clasificación supervisada, Coberturas del suelo, Cuenca baja del río Luján.

Abstract: The article presents a detailed methodology for generating thematic land use cartography in the lower basin of the Luján River for the years 1990 and 2020, using advanced technologies such as satellite imagery, remote sensing, and geographic information systems (GIS). This methodology encompasses everything from image preprocessing to the application of supervised classification techniques to identify different land coverages. The use of supervised classification is emphasized, supported by prior knowledge of the area, fieldwork, and analysis of indices such as NDVI. Through the results of the accuracy matrix, it was demonstrated that the created cartographies are accurate and representative of the study area, validated using the Kappa method. Additionally, detailed analyses of the accuracy of classifications by category are carried out, identifying categories with the highest correlation with reality.

Keywords: Thematic cartography, Supervised classification, Land coverages, Lower basin of the Luján River.



Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar una clasificación digital para los años 1990 y 2020 en la cuenca baja del río Luján. La clasificación de imágenes constituye un proceso fundamental en la interpretación y análisis de datos obtenidos a partir de tecnologías como la teledetección y SIG. Este procedimiento permite agrupar los píxeles de una imagen en categorías o clases dentro de un espacio multispectral, lo que facilita la identificación y delimitación de distintas coberturas del suelo.

La clasificación digital sigue un proceso análogo a la fotointerpretación visual, en la que se emplean diversos criterios como tono, textura, forma y modelos para identificar las coberturas del suelo en la imagen. Posteriormente, se extiende este modelo o patrón al resto de la imagen, asignando una categoría específica a cada superficie en función del patrón establecido.

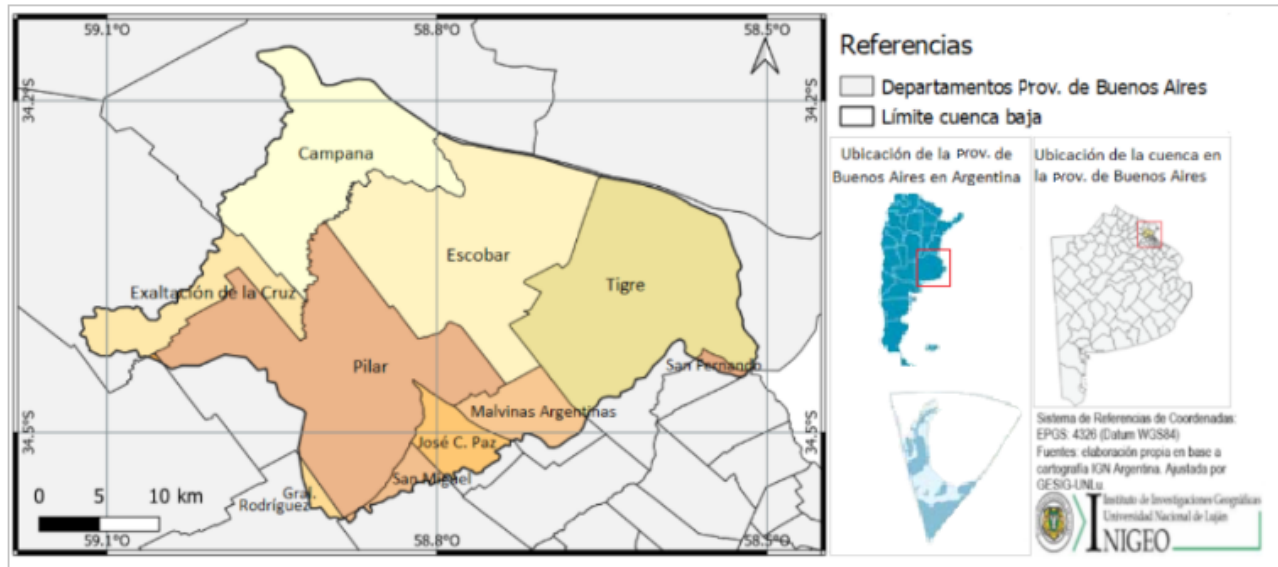
Existen dos enfoques principales de clasificación digital: supervisada y no supervisada. En la clasificación supervisada, se requiere que el usuario defina previamente las clases de interés y proporcione ejemplos representativos de cada clase para el entrenamiento del software. Por otro lado, la clasificación no supervisada no requiere la intervención del usuario para la identificación de las clases, ya que el software agrupa automáticamente los píxeles en clases estadísticamente similares.

En este estudio, se emplea la clasificación digital supervisada para evaluar los cambios en el uso del suelo en la cuenca baja del río Luján a lo largo de tres décadas. Se analizarán los resultados obtenidos en cada año y se compararán para identificar tendencias y cambios significativos en las coberturas del suelo en la zona de estudio.

Características del área de estudio

La cuenca del río Luján, situada en la provincia de Buenos Aires, según el Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján abarca un área total de 3.778 km² y comprende 16 partidos (Buzai y Lanzelotti, 2019). Este río nace de la unión de los arroyos Los Leones y Del Durazno, así como de la Cañada de Castilla en las localidades de Carmen de Areco y Chacabuco, para luego recorrer 115 km en dirección sudoeste-noreste hasta llegar a su desembocadura en el Delta del Paraná (Instituto Nacional del Agua, 2007). Además, la cuenca del río Luján comprende tres sectores: la cuenca alta, media y baja. La región de interés de este estudio se concentra en el último sector, que abarca los partidos de Pilar, Exaltación de la Cruz, Moreno, Malvinas Argentinas, Escobar, General Rodríguez, Tigre, San Fernando, José C. Paz y Campana, con una extensión total de 1.847,94 km². A continuación, en la Figura 1, se observa al área de estudio

Figura 1
Localización del área de estudio



Fuente: Elaboración propia sobre la base de capas IGN.

Metodología

SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

En primer lugar, se seleccionaron las imágenes del satélite Landsat 5 TM (para el año 1990) y Landsat 8 OLI (para el año 2020). Su descarga y exploración visual corresponde al path-rows 225-084, y fueron descargadas gratuitamente del Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS). Se consideró que las imágenes seleccionadas tenían el mínimo contenido de nubes. Las imágenes provenientes de la serie Landsat poseen la corrección geométrica, y vienen determinadas con su proyección y están rectificadas.

Para dar inicio al preprocesamiento, se calculó la corrección radiométrica que se emplea para mejorar la calidad de las imágenes, y reducir las anomalías producidas por el funcionamiento de los sensores y por la interacción de los factores físicos. Por ello, se realizó el tratamiento de los Números Digitales (ND). Luego, los valores de ND se transforman a valores de reflectividad a partir del cálculo de radiancia y la estimación de reflectividad (NASA, 2011).

En cuanto a la combinación de bandas, se pueden combinar de múltiples maneras en función de la característica que se deba resaltar en la imagen. En este caso, se utilizó la composición falso color compuesto estándar, que considera las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano, asignando los colores azul, verde y rojo, respectivamente.

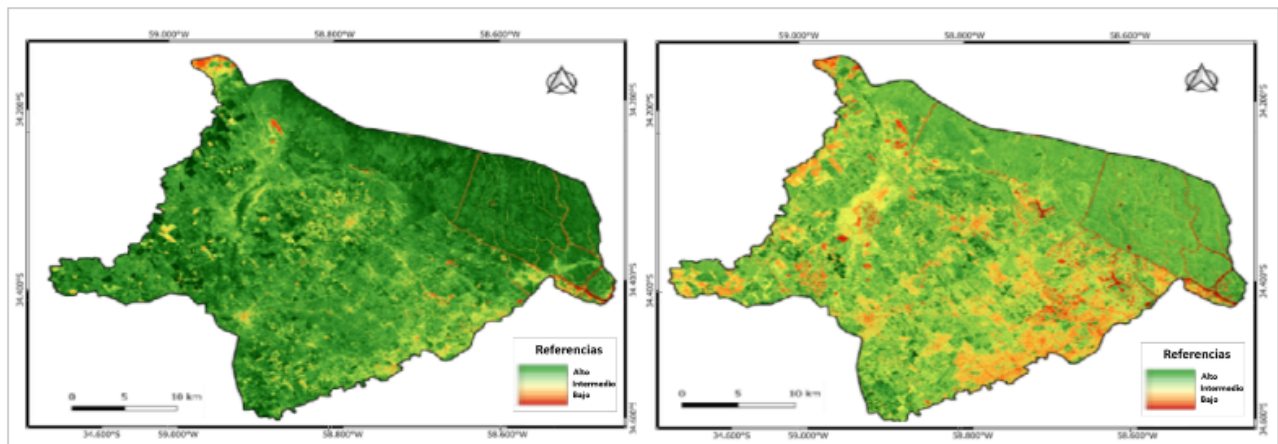
Cálculos de Índice de vegetación

El índice de vegetación normalizada (NDVI) ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de coberturas terrestres y determinar su estado general. Además, permite definir y visualizar las áreas de vegetación en el mapa, y determinar cambios. Se obtiene a partir de la siguiente operación:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

A partir de este cálculo, se visualizan los píxeles que corresponden a la cobertura vegetal. Los valores más altos están representados en color verde y evidencian las áreas rurales y las forestales naturales. Este valor disminuye a medida que se acercan a los núcleos urbanos, donde los píxeles obtienen valores medios y bajos. Por último, en color rojo, se observan los cuerpos de agua donde la presencia de vegetación es nula. La aplicación de este índice no sólo se utiliza para estudiar el estado de los cultivos, sino que también es óptimo para visualizar las áreas donde no hay presencia de la categoría vegetal. En la Figura 2 se observan los resultados del NDVI.

Figura 2
Índice de NDVI 1990-2020



Fuente: Elaboración propia sobre la base de satélite Landsat 5 y 8.

Clasificación digital

Fase de entrenamiento

En la fase de entrenamiento, se definen digitalmente las categorías temáticas de análisis. La clasificación supervisada parte de identificar la localización de cada cobertura presente en el área de estudio. Esto significó realizar un trabajo de campo previo y el análisis de cartas topográficas y fotografías aéreas mediante la utilización de Google Maps. A partir de esto, se seleccionaron las áreas de entrenamiento, que fueron sitios elegidos específicamente, ya que son conocidos, y representan al uso del suelo, dado que sus características espectrales nos sirven para entrenar al algoritmo de clasificación. Para cada área de entrenamiento se calculan los parámetros estadísticos (media, desviación estándar, covarianza, etc.), para luego evaluar cada píxel de la imagen, separarlo y asignarlo a una respectiva clase.

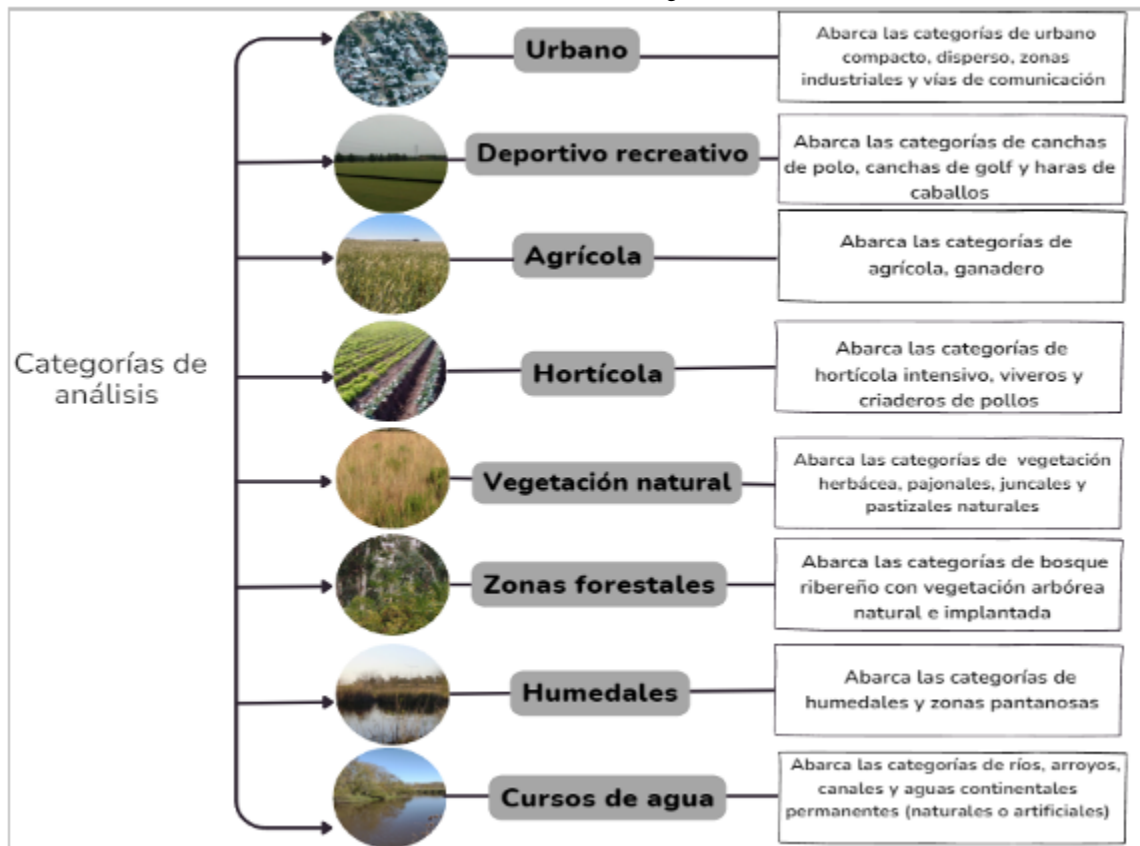
Para la correcta aplicación de esta clasificación, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Adoptar un esquema de clasificación ordenado
- Seleccionar áreas de entrenamiento.

- Extraer estadísticas de los datos espectrales del área de entrenamiento
- Seleccionar el algoritmo de clasificación adecuado
- Clasificar la imagen en n clases
- Evaluar estadísticamente la clasificación
- Comprobación *in situ* de los resultados de la clasificación o corroboración
- Corrección de errores

Las áreas de entrenamiento fueron seleccionadas a partir de la generación de Región de Interés (ROI, del inglés *region of interest*) para todas las categorías de análisis. La identificación de los ROI se realizó sobre una imagen satelital combinada en falso color compuesto. Fueron tomadas un total de 385 muestras, cuyos polígonos fueron elegidos como representativos de cada cobertura; a su vez, se consideraron tamaños diferentes y distribuidos por toda la imagen. Para realizar esta clasificación sólo se tuvieron en cuenta ocho categorías de análisis; además, se determinaron subclases. A continuación, en la Figura 3 se desarrollan las características de cada clase.

Figura 3
Definición de las categorías



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de separabilidad de resultados se realizó para evaluar la correcta definición de los ROI. La separabilidad de las clases se indica a partir del rango establecido entre valores mínimos y máximos, teniendo en cuenta, además, el valor de la media y el del desvío estándar. Esto quiere decir que cuanto más heterogéneos sean los valores de cada media, mayor será la separabilidad entre las clases. Por eso, las áreas que presentaron mayor igualdad fueron cuerpos de aguas y urbano disperso; ello se debe al patrón de edificación de las áreas urbanas cerradas. El resto de las categorías presentaron valores heterogéneos en todas las bandas. Como resultado, en la fase de asignación se obtuvo la imagen clasificada de los usos del suelo, en la que es visible el agrupamiento de los píxeles de todas las clases temáticas mencionadas anteriormente.

Fase de asignación

En la fase de asignación se aplicarán los algoritmos de clasificación. Los más utilizados son el de mínima probabilidad, paralelepípedos y la máxima probabilidad. Este último fue utilizado en el trabajo. De esta manera, se calcula la mayor probabilidad de que un píxel pertenezca a una determinada clase y no a otra. Este método de clasificación es uno de los más complejos, y por lo tanto se realiza gran cantidad de cálculos, pero es uno de los más confiables, debido a que se ajusta fielmente a la distribución verdadera de los datos. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

Valor del centroide de la clase k en la banda n

$$d_{ij}^{(k)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{N_{\text{bandas}}} (X_{ij}^n - \bar{X}_{ij}^{(k)})^2} \quad (\text{distancia euclídea})$$

donde $k=1,2,3,\dots,N_{\text{clases}}$

Valor de cada píxel en las bandas n

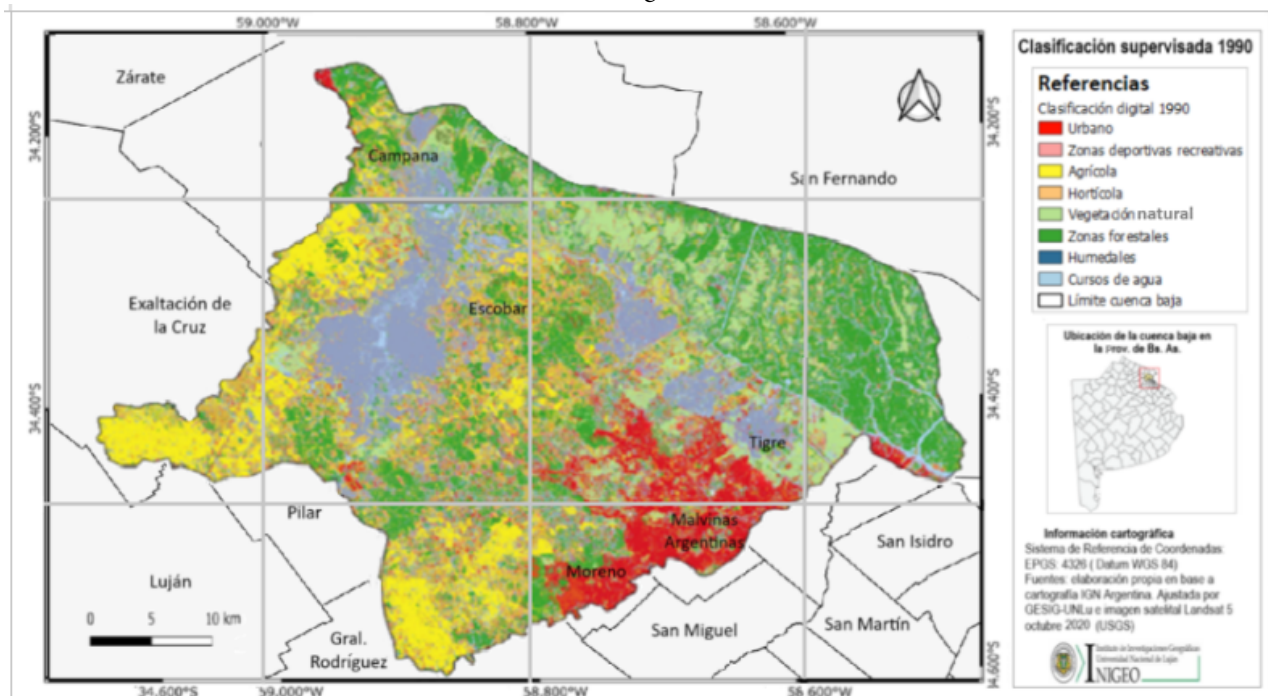
número de fila y número de columna en cada píxel de la imagen.

Fase de verificación

En esta fase se procedió a verificar los resultados alcanzados en la fase de asignación. La evaluación pretende obtener un valor cuantitativo de la exactitud de la clasificación digital, con la finalidad de lograr un producto cartográfico que representa con la mayor fiabilidad las características de interés del área de estudio. Los procedimientos para la verificación de resultados se basan en la comparación entre la cartografía obtenida y aquella información de referencia (fotografías aéreas, muestreo espacial, etc.) utilizada para la estimación del error de los resultados (Chuvieco, 2007; Primera y Gandini, 2014).

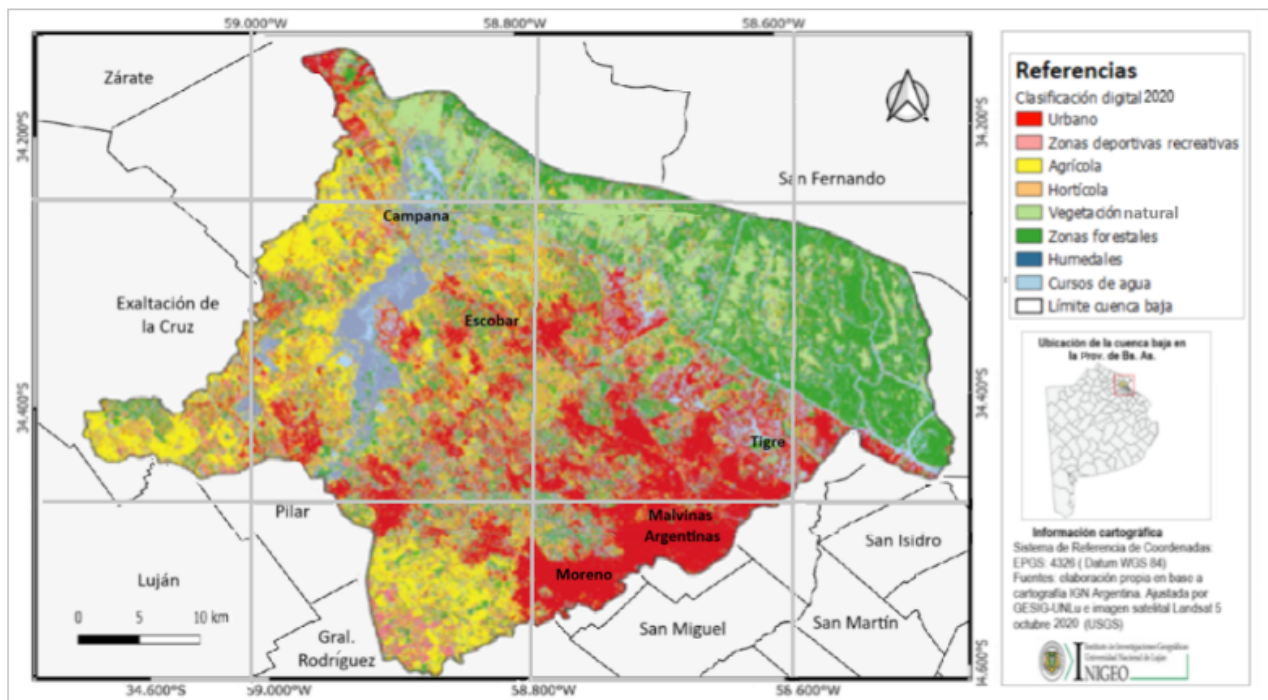
A continuación, en las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados de la clasificación supervisada.

Figura 4
Clasificación digital. Año 1990



Fuente: Elaboración propia en Qgis.

Figura 5
Clasificación supervisada. Año 2020



Fuente: Elaboración propia en Qgis.

Cálculos de exactitud y matriz de confusión

Para determinar la certeza de las clasificaciones logradas mediante la clasificación digital, se calcularon los parámetros de exactitud de las imágenes cartográficas obtenidas a partir de la implementación de la matriz de confusión. Las columnas indican las categorías de referencias, y las filas, las categorías del mapa obtenido de la clasificación digital. En la diagonal, marcada en color gris, se evidencian las correspondencias entre el mapa y la realidad. Asimismo, se calcularon los siguientes parámetros de precisión, según Chuvieco (2007).

- Precisión del productor: Cuando existe una alta correspondencia entre la clase de referencia y su clasificación en el mapa.
- Precisión del usuario: Hace referencia a la probabilidad de que los píxeles clasificados en el mapa verdaderamente lo sean en la realidad.
- Error de omisión: Indicar valores que no estarían incluido en la clasificación.
- Error de comisión: Hace referencia a los errores en la clasificación al ser incluidos en una categoría que no se corresponde con la realidad.

Además, se calculó el coeficiente Kappa. Este índice se emplea para evaluar la concordancia o productividad de instrumentos de medida cuyo resultado es categórico. Representa la producción de acuerdos observados más allá del azar, respetando el máximo acuerdo posible (Abraira, 2001). Para Congalton (1991), es una medida global de la exactitud de la relación entre la clasificación digital y la información de referencia, comparada con aquella que se podría generar también al azar. Los valores que se obtienen a partir del cálculo de este coeficiente van desde 0 a 1. De esta manera, los valores más cercanos a 1 indican mayor grado de concordancia, mientras que los valores cercanos a 0 indican menor acuerdo.

Este procedimiento se calculó utilizando el software QGIS y su complemento AtACaMa. Se evaluaron dos clasificaciones diferentes. El complemento AtACaMa de QGIS proporciona un soporte integral para la realización de muestreos, el diseño de respuestas y la estimación en un marco de inferencia basado en el diseño. El objetivo principal de AtACaMa es ofrecer las herramientas necesarias para cumplir con las pautas internacionales y las mejores prácticas en el diseño de muestreo, y la estimación de áreas de categorías de uso de la tierra y cambios en la tierra, así como para evaluar la precisión de los mapas.

Para el año 1990, la exactitud de la clasificación fue de 82,5 % (2938/3565); el índice Kappa fue sustancial, con un 0,7104. Por su parte, el mapa del año 2020 obtuvo 81,9 % (2698/3296), y el cálculo del índice Kappa fue de 0,693; también está dentro de la clasificación sustancial.

En las Tablas 1 y 2 se exponen la matriz del año 1990 y luego la del 2020.

Tabla 1
Matriz de confusión para el mapa 1990

CLASES	Compacto	Disperso	Industrial	Transporte	Recreativo	Agrícola H.	Veg natural	Humedales	Agua	Total	Precisión del usuario %	Error de comisión %
Compacto	792	78	19	25	7	15	0	0	0	936	84,6	15,4
Disperso	69	725	8	5	62	25	23	5	2	924	78,5	21,5
Industrial	35	10	87	2	0	0	3	0	0	137	63,5	36,5
Transporte	16	4	2	68	0	0	0	0	0	90	75,6	24,4
Recreativo	0	39	8	0	154	9	26	0	0	236	65,3	34,7
Agrícola H.	9	22	0	0	2	359	22	0	0	414	86,7	13,3
Veg natural	0	10	0	0	4	32	305	8	0	359	85,0	15,0
Humedales	0	3	0	0	0	0	8	239	3	253	94,5	5,5
Agua	2	5	0	0	0	0	0	0	209	216	96,8	3,2
Total	923	896	124	100	229	440	387	252	214	3565		
Precisión del productor %	85,8	80,9	70,2	68,0	67,2	81,6	78,8	94,8	97,7			
Error de omisión %	14,2	19,1	29,8	32,0	32,8	18,4	21,2	5,2	2,3			
Exactitud de la clasificación	2938/3565 82.5%											
Índice de Kappa	0.7104 Sustancial											

Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de la matriz de confusión del año 1990, podemos señalar que el mayor error de comisión, como el de omisión, está en el uso recreativo. Por ello, el menor error registrado fue para la categoría del agua.

En cuanto al uso compacto, podemos indicar que, de 936 puntos, 792 fueron asignados como compacto: un total de 84,6 % de precisión del usuario. Las mayores confusiones se dieron con el uso urbano disperso (78), lo que se debe a la similitud de cubiertas presentes entre el uso urbano compacto de menor densidad edilicia (representado por las localidades pequeñas y la baja edificación) y los grandes espacios verdes que hay en las urbanizaciones cerradas del uso disperso. Luego, la segunda confusión se da con las vías de transporte, lo que se debe a que los píxeles tienen el mismo color, y cómo las redes de transporte atraviesan las ciudades es muy difícil identificar y separar ambas categorías. El error de comisión fue de 15,4 %, y el de omisión, de 14,2 %.

Para el uso urbano disperso, de un total de 924 puntos de control, 725 fueron en correspondencia con la realidad. Esto indica un 21,5 % de error de comisión y deja un total de 78,5 % de precisión del usuario. Las principales confusiones se dieron con el uso urbano compacto (69) y el uso recreativo (62), seguido del agrícola (25) y de la vegetación natural (23). En cuanto al transporte, se registró un 75,6 % de precisión del usuario y un 68,0 % de precisión del productor. El error de comisión fue de 24,4 %, y el de omisión fue de 29,8 %, lo que indica un total de 16 puntos de referencia en el uso compacto. El uso recreativo, por su parte, señala las mayores confusiones en el uso disperso (39) y en la vegetación natural (26). La precisión del productor fue de 67,9 %, mientras que la del usuario fue de 65,3 %.

Dentro de agrícola, de los 414 puntos, 359 corresponden a la realidad, lo que deja como resultado un 86,7 % y 81,6 % de precisión del usuario y del productor, respectivamente. Las confusiones se dieron en relación con el uso disperso y con vegetación natural.

Las zonas húmedas están representadas por los humedales y cuerpos y cursos de agua. La primera de ella obtuvo un total de 239 puntos, que se corresponden con la realidad, y dejó como resultado un error del 5,5 % de comisión y un 5,2 % de omisión. Las confusiones fueron con la vegetación natural y con uso urbano disperso.

Para el año 2020, los principales errores de comisión se dieron en la zona industrial (3,3 %), transporte (31,1 %) y vegetación natural (26, 2%). Los errores de omisión son para el uso recreativo (31,3 %) y para vegetación natural (24,9 %). Tal y como se observa en la Tabla 2, las presiones de usuarios más altas se obtuvieron en agua (93,9 %) y en urbano disperso (81,4 %).

Tabla 2
Matriz de confusión para el mapa 2020

CLASES	Compacto	Disperso	Industrial	Transporte	Recreativo	Agrícola H.	Veg natural	Humedales	Agua	Total	Precisión del usuario %	Error de comisión %
Compacto	623	78	9	5	18	12	0	0	0	745	83,6	16,4
Disperso	42	716	6	2	42	12	18	2	3	843	84,9	15,1
Industrial	23	6	85	5	0	0	8	0	0	127	66,9	33,1
Transporte	21	8	4	73	0	0	0	0	0	106	68,9	31,1
Recreativo	0	10	5	0	213	12	11	0	0	251	84,9	15,1
Agrícola H.	12	23	2	0	16	369	28	0	0	450	82,0	18,0
Veg natural	0	22	0	0	21	19	265	32	0	359	73,8	26,2
Humedales	0	6	0	0	0	12	23	186	8	235	79,1	20,9
Agua	1	11	0	0	0	0	0	0	168	180	93,3	6,7
Total	722	880	111	85	310	436	353	220	179	3296		
Precisión del productor %	86,3	81,4	76,6	85,9	68,7	84,6	75,1	84,5	93,9			
Error de omisión %	13,7	18,6	23,4	14,1	31,3	15,4	24,9	15,5	6,1			
Exactitud de la clasificación	2698/3296: 81,9%											
Índice de Kappa	0.6932 Sustancial											

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, de los 745 puntos de referencias del uso urbano compacto, 623 fueron en coincidencia con la realidad. Las principales confusiones se evidencian en el uso disperso (78) y en el uso recreativo (18); los errores fueron del 16,4 % y 13,7% para la comisión y la omisión, respectivamente. El uso urbano disperso representa en la realidad 716 puntos de control sobre 843. Las diferencias en la cobertura de industrial se evidencian en el uso compacto (23); luego, en vegetación natural (8) y en urbano disperso (6). Esto quiere decir que, de los 127 puntos de control, 85 se corresponden realmente con este uso, lo que indica un error de comisión del 33,1 %. Para la cobertura de transporte, se tomaron 106 puntos de referencia, de los cuales 21 se asignaron a compacto, 8 a disperso y 4 a industrial.

El uso recreativo obtuvo significativos errores en las coberturas de agrícola (12), vegetación (11) y disperso (10). El error de omisión es el más alto, de 31,3 %, lo que indica que las confusiones de omisión se dieron en el uso disperso.

En cambio, en las zonas agrícolas corresponden 369 de 450 puntos de control. Los errores se destacan en vegetación natural y en el uso disperso. El error de emisión es de 18 %, mientras que el de omisión es de 15,4 %. En este último caso, los errores de omisión se observan en vegetación natural y en ambas áreas urbanas.

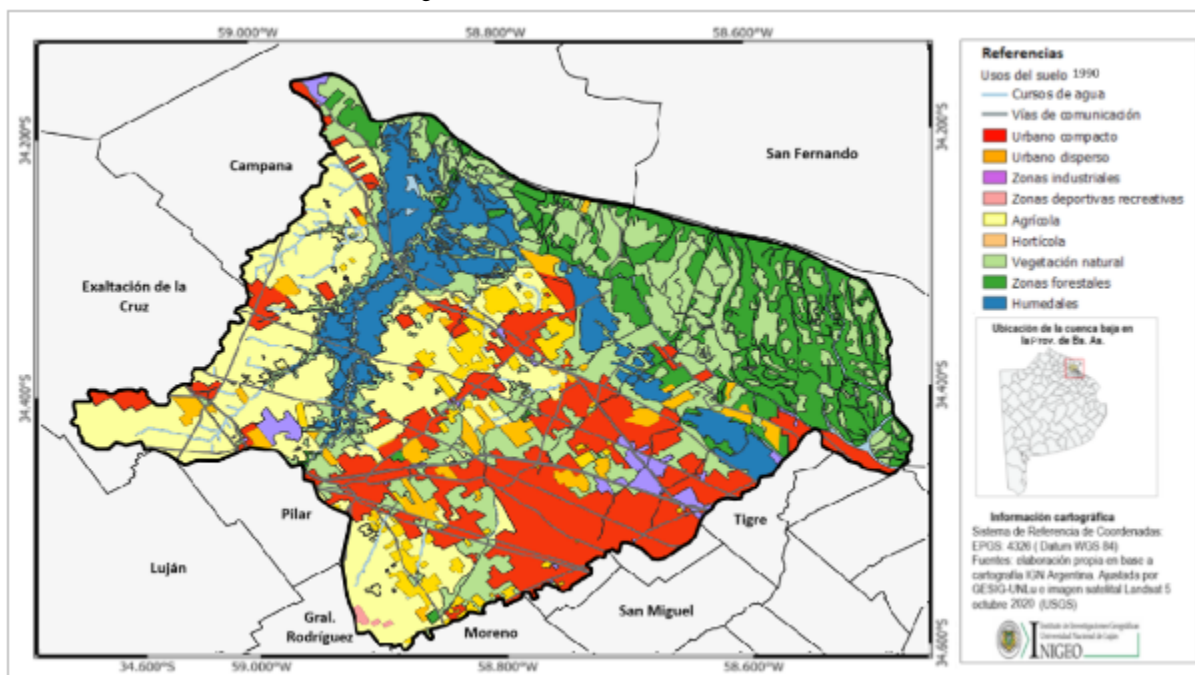
En este sentido, la vegetación natural indica 359 puntos de referencia. Las diferencias se perciben en la cobertura de humedales, disperso, recreativo y agrícola. La precisión del usuario fue de 73,8 %, mientras que la precisión del productor fue del 75,1 %. Los principales errores de omisión (24,9 %) se dieron en el uso agrícola y en el disperso. En cambio, por las zonas de humedales los principales puntos de control erróneos se dan en vegetación natural (23), agrícola (12) y agua (8). Esto indica que, de un total de 235 puntos, corresponden 186 a esta categoría. El 79,1 % pertenece a la precisión del usuario, mientras que la del productor fue de 84,5 %.

Por último, la cobertura de agua que, como se mencionó anteriormente, es la cubierta que menor error obtuvo. En este caso, las confusiones se encontraron en el uso disperso; se obtuvo un margen de error de comisión del 6,7 %, mientras que el error de omisión fue del 6,1 %, en el que 8 puntos se asignan en la categoría de humedales.

Resultados

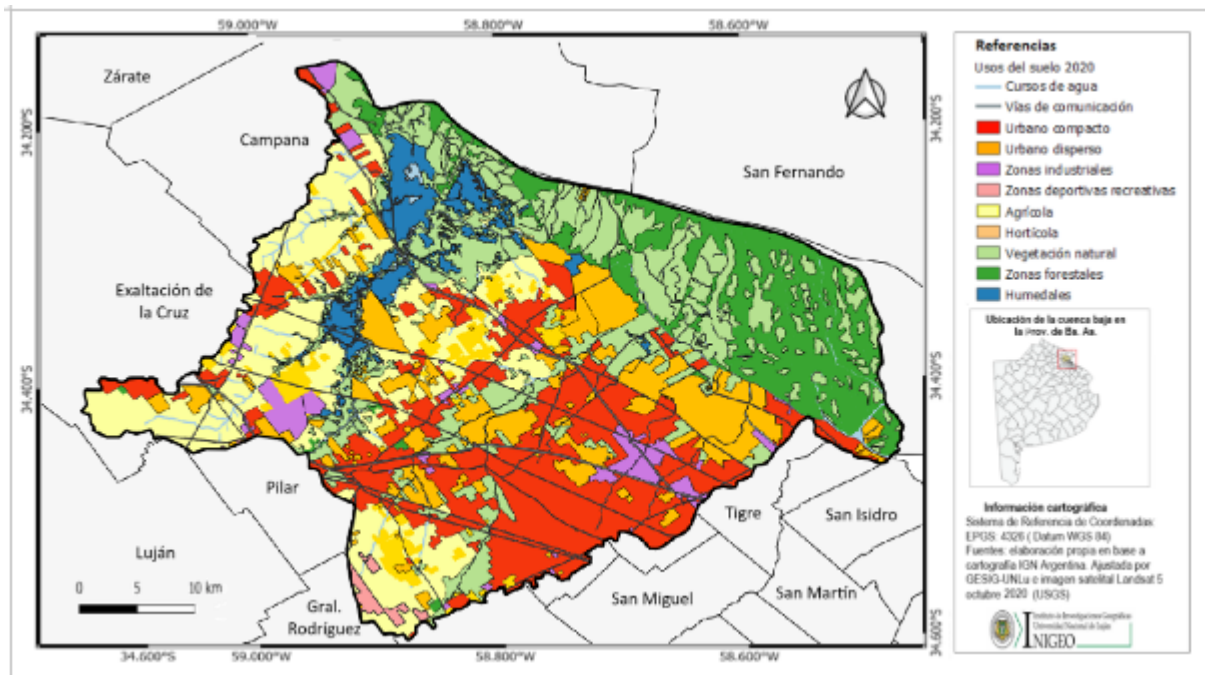
Mediante la clasificación digital de imágenes y la digitalización en pantalla se ha creado cartografía temática de las coberturas del suelo para los años 1990 y 2020, respetando la clasificación mencionada anteriormente.

Figura 6
Cartografía de coberturas del suelo. Año 1990



Fuente: Elaboración propia sobre la base de clasificación digital 1990.

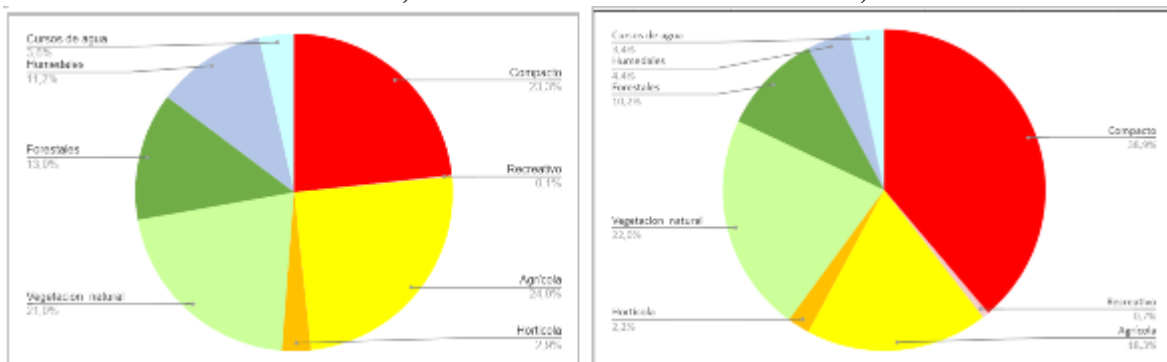
Figura 7
Cartografía de coberturas del suelo. Año 2020



Fuente: Elaboración propia sobre la base de clasificación digital 2020.

Como se observa en la Figura 8, el uso compacto en 1990 representaba el 23 % de la ocupación en la cuenca. Para el año 2020, se registró un crecimiento significativo, con un porcentaje de ocupación del 38,9 %. Por otro lado, las áreas deportivas recreativas mostraron un aumento considerable, pues pasaron del 0,1 % al 0,7 % entre ambos años. Las áreas agrícolas experimentaron una disminución, ya que descendieron de un 24,9 % a un 18,3 %, al igual que la producción hortícola, que pasó del 2,9 % al 2,2 %. Las áreas verdes de vegetación natural mostraron un leve incremento del 21 % al 22 %, mientras que las áreas forestales disminuyeron del 13 % al 10 %. Los humedales experimentaron el cambio más significativo, pues pasaron de ocupar un 11,4 % en 1990 a un 4,4 % en 2020. Finalmente, los cursos de agua también disminuyeron, ya que pasaron del 3,6 % al 3,4 %.

Figura 8
Porcentaje de coberturas en el total de la cuenca baja



Fuente: Elaboración propia sobre la base de cartografías de coberturas del suelo 1990 y 2020.

Conclusiones

En este artículo se presenta una metodología detallada para generar la cartografía temática de usos del suelo en la cuenca baja del río Luján, aprovechando herramientas avanzadas como imágenes satelitales, teledetección y SIG. Este estudio implica una serie de procedimientos técnicos, desde la descarga y preprocesamiento de imágenes satelitales hasta la aplicación de técnicas como la combinación de bandas espectrales, la interpretación visual y la aplicación de la clasificación supervisada, para generar la primera base de datos geográficos que permitirá identificar las diferentes coberturas del suelo.

La utilización de la metodología de clasificación digital supervisada para realizar cartografía de las coberturas de usos del suelo de la cuenca baja del río Luján ha resultado favorable. A partir del conocimiento previo del área de estudio, la realización del trabajo de campo, la interpretación de imágenes satelitales y los cálculos del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se logró reconocer las categorías de usos del suelo representadas en el mapa.

Posteriormente, se calculó la exactitud de estas clasificaciones utilizando el método Kappa, el cual arrojó resultados sustanciales en ambos años, lo que permitió reconocer que las cartografías creadas son aptas y representativas del área de estudio. Además, se realizaron análisis detallados de la exactitud de las clasificaciones por categoría, identificando aquellas que tienen una mayor correlación con la realidad. En particular, se encontró que las categorías de urbano y cuerpos de agua son las que presentan una mayor correspondencia con la realidad.

Los resultados obtenidos respaldan la utilidad y fiabilidad de la metodología propuesta para la generación de cartografía de usos del suelo en la cuenca baja del río Luján.

Referencias bibliográficas

- Abraira, V. (2001). Errores en las mediciones y clasificaciones clínicas: precisión y validez. *Medicina Familiar*, 27(5), 247-249. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(01\)73955-X](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(01)73955-X)
- Buzai, G. y Lanzelotti, S. (Dirs.). (2019). *Atlas de Geografía Humana de la Cuenca del río Luján*. Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Geográficas UNLu.
- Chuvieco, E. (2007). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Madrid: Ariel.
- Congalton, R. (1991). Una revisión de la evaluación de la precisión de las clasificaciones de los datos de detección remota. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Instituto Geográfico Nacional de Argentina (IGN). *En capas vectoriales*. Recuperado de <https://www.ign.gob.ar/>. Fechas de consulta: septiembre 2021 y abril 2022.
- Instituto Nacional del Agua (2007). *Diagnóstico del funcionamiento hidrológico de la cuenca del río Luján – provincia de Buenos Aires*. Fecha de consulta: 7 de mayo de 2024. Recuperado de <http://www.delriolujan.com.ar/estudioina.html>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2011). *Panorama de los productos de nieve de la NASA. CAZALAC*. Fecha de consulta: mayo, 2022. https://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/imagenes2/Remote_Sensing/span_S7P1_light.pdf
- Primera, M. y Gandini, M. (2014). *Procesamiento II. Guía práctica de Métodos de Clasificación supervisados y no supervisados*. Azul: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. Fecha de consulta: septiembre, 2022. Recuperado de <http://www.earthexplorer.usgs.gov>