

Comunicación

## Análisis de los servicios ecosistémicos utilizando datos satelitales

“De Pietri, Diana”; “Dietrich, Patricia”; “Boglioli, Silvia”; “Carcagno, Alejandro”; “Igarzábal, María Adela”.

[“dianadepietri@fadu.uba.ar”](mailto:dianadepietri@fadu.uba.ar) [“pdietr@fadu.uba.ar”](mailto:pdietr@fadu.uba.ar);  
[“silvia.boglioli@fadu.uba.ar”](mailto:silvia.boglioli@fadu.uba.ar); [“acarcagno@yahoo.com.ar”](mailto:acarcagno@yahoo.com.ar);  
[“cimmai@fadu.uba.ar”](mailto:cimmai@fadu.uba.ar)

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Centro de Información Metropolitana. Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

Línea temática 1. Escalas, diagnósticos y representaciones

### Palabras clave

“Uso de la Tierra y Cobertura del suelo”, “Área Metropolitana Buenos Aires”, “Herramientas Tecnológicas”, “Permeabilidad de la superficie”, “Índice de vegetación de diferencia normalizada”

### Resumen

En el marco del objetivo general del proyecto “Análisis espacio temporal de la cobertura del suelo y uso de la tierra en Argentina mediante herramientas tecnológicas de libre acceso”, se seleccionó como caso de estudio las transformaciones urbanas del AMBA (Área Metropolitana Buenos Aires) para ser evaluado a través de las herramientas proporcionadas por *Open Foris* y *Google Earth Engine*.

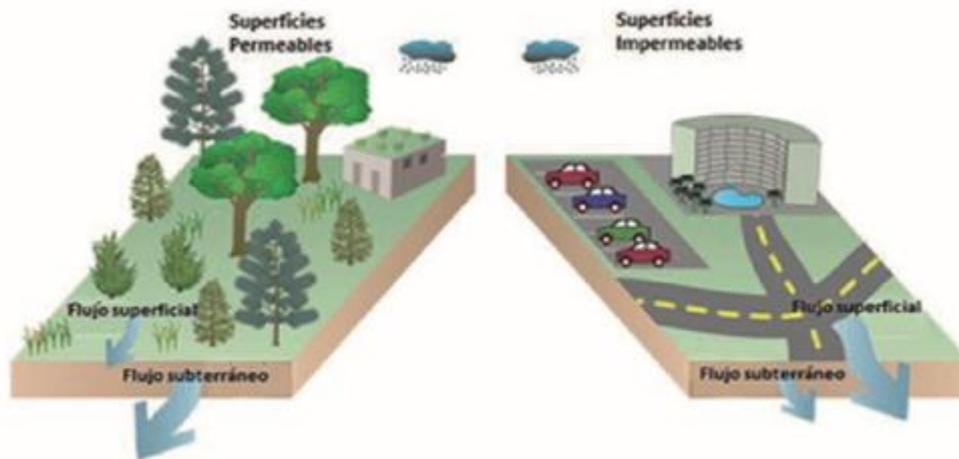
El proceso operativo se organizó en base a las escalas temporales y espaciales a fin de identificar las fuentes de información que contribuyan al estudio de caso seleccionado y a la generación de las bases de datos.

El método de recopilación de datos consistió en muestrear objetos geográficos a través de imágenes satelitales de alta resolución. Las condiciones actuales y pasadas del territorio en cada muestra se evaluaron mediante el seguimiento de diferentes fechas proporcionadas por Google Earth. Luego, la información se divide en categorías y subcategorías de uso de la tierra para facilitar el proceso de análisis de la información geoespacial y establecer indicadores.

La asociación entre la cubierta verde y las superficies de construcción en áreas urbanas pudieron analizarse con diferentes herramientas estadísticas; como también se evaluó la calidad de los servicios ecosistémicos producidos por la vegetación.

## **Introducción**

La expansión de las áreas urbanas presenta desafíos y oportunidades fundamentales para diseñar ciudades más habitables, saludables y resilientes. Las ciudades son vínculos claves entre los seres humanos y la naturaleza, requieren servicios ecosistémicos y generan impactos ambientales que conducen a cambios en el uso y la cobertura del suelo (Ciudad de Curridabat, 2019). Estas transformaciones dan como resultado cambios en los parámetros biofísicos que se manifiestan como cambios ambientales. La tendencia general de estos cambios es de áreas con temperatura baja, vegetación densa y humedad superficial alta (Figura 1-izquierda) a áreas con temperatura alta, vegetación escasa y humedad superficial baja (Figura 1-derecha) (Jiang et al, 2015). Asimismo, los cambios en los parámetros biofísicos se agudizan cuando el crecimiento de los asentamientos humanos se presenta de manera no planificada junto con los escenarios de cambio climático.

**Figura 1. Superficies permeables e impermeables**

Fuente: Geppert ,2022.

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. Esta técnica ofrece una oportunidad única para recopilar varios tipos de información a diferentes escalas, necesarios para una descripción completa de los sistemas urbanos. Entre otras herramientas, como las mediciones de campo y los modelos numéricos, la teledetección desempeña un papel importante al proporcionar periódicamente datos de grandes áreas y contar, por ejemplo, toda la vegetación de una ciudad celda por celda. Una de las potencialidades de la teledetección, es la capacidad de discriminar diferentes cubiertas vegetales, usos de suelo, masas de agua, o la detección de fenómenos naturales o provocados por la actividad humana gracias a la existencia de bandas multispectrales (los datos captados por los satélites se registran en diferentes bandas del espectro electromagnético). En consecuencia, la selección de imágenes, las escalas de trabajo y los métodos de análisis en estudios multitemporales son muy dispares.

Entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multispectrales, se destaca el uso de índices de vegetación ya que la vegetación es un indicador importante para evaluar diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas; como los fenómenos relacionados con la pérdida de biodiversidad, la desertificación, la relación entre la vegetación y la erosión del suelo, y la interacción vegetación-clima.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada "NDVI", (Rouse et al., 1974), se lo ha utilizado ampliamente como indicador del vigor de la biomasa vegetal, en estudios relacionados a comportamiento de cultivos, así como de vegetaciones boscosas naturales. Entre los servicios ecosistémicos que se pueden estimar con el NDVI se encuentran la producción de oxígeno, la regulación del clima y la calidad del aire, la conservación del suelo y el agua, la polinización y el control biológico.

El objetivo del trabajo fue analizar las entidades geográficas presentes en diferentes escenas satelitales del AMBA con herramientas tecnológicas de libre acceso para cuantificar cambios en la cobertura del suelo y uso de la tierra y establecer procedimientos para evaluar la oferta de servicios ecosistemas a través del índice NDVI.

## Metodología

El desarrollo operativo del proyecto se realizó en 4 etapas:

### *Etapas 1. Herramientas tecnológicas y características de los datos a relevar.*

Open Foris es un conjunto de herramientas gratuitas y de código abierto que proporciona criterios útiles para contribuir a la toma de decisiones basada en datos, en el fortalecimiento de la gestión sostenible y en satisfacer las necesidades de información nacionales, regionales y locales. Simplifica varias mediciones en imágenes satelitales en información valiosa que se puede transmitir mediante la producción de estadísticas, gráficos, mapas e informes.

El relevamiento de los datos para la construcción de una base de datos coherente a los fines del proyecto tiene una serie de consideraciones o criterios para su selección y ajuste a las herramientas mencionadas, según su:

- ❑ Criticidad o relevancia para cumplir con los objetivos planteados de las características del sensor seleccionado, Landsat TM, para el monitoreo de los recursos terrestres.
- Calidad de la escena satelital en relación a la presencia o ausencia de nubes en la fecha seleccionada o respecto de algún fallo que genere errores en los píxeles.
- Nivel de resolución espacial a fin de establecer los elementos / objetos geográficos a ser diferenciados a través de la imagen satelital por su nivel de detalle (Techos, arbolados, etc.).
- Fecha de la escena satelital para identificar aspectos como:
  - El ciclo de vida de la vegetación, perenne o caduco
  - Ocurrencia o no de precipitación previa.
- Selección de los objetos geográficos a monitorear en base a los elementos de interpretación de la información satelital. Los elementos de interpretación pueden agruparse jerárquicamente en criterio espectral (tono y color), criterio espacial simple (textura, tamaño y forma), criterio espacial complejo (sombras, localización, patrón especial) y criterio temporal (condiciones estacionales) (Pérez Gañan,2019).
  
- ❑ Factores organizacionales que intervienen en el uso de información;
- Selección de un modelo de análisis para la clasificación del dato:
  - Definición de categorías y subcategorías para luego facilitar el proceso de análisis espacio- temporal de la información proveniente del territorio (generar un catálogo).
  - Comparar las clases y subclases en el mismo período estacional para determinar una métrica de cambio (metros cuadrados de bosque caducifolio en verano del 2000 vs 2010).
  - Rango del período de comparación por ejemplo cada 5 o 10 años.

- Definición de las transformaciones de cobertura y usos de la tierra posibles según el área de estudio. Como es el análisis de la transformación de la cobertura verde a construido. El verdor proviene de coberturas: Herbáceas, arbustivas, arbóreas, cultivos y/o forestación. La cobertura de material construido incluye casas, edificios, establecimientos industriales, estacionamientos, galpones y otros.

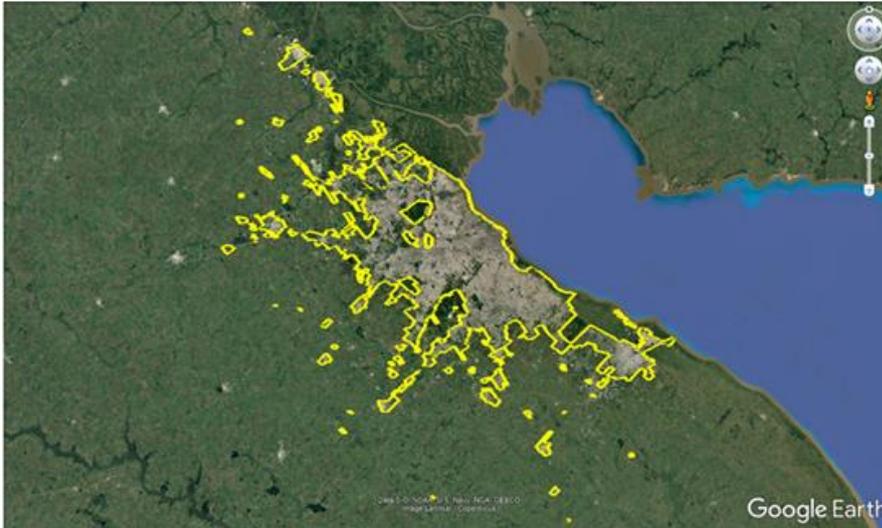
### *Etapa 2. Área de estudio*

La segunda etapa comprende la definición del área de estudio y la adecuación de los procedimientos, programas y herramientas analizados en la etapa 1 al caso de estudio. Es necesario considerar:

- ❑ El alcance geográfico del área de estudio.
- ❑ El proceso principal a analizar, por ejemplo, el crecimiento urbano y las transformaciones que conlleva en el territorio.
- ❑ La métrica de medición. Los procesos de crecimiento urbano fueron analizados en su vínculo con cambios de usos del suelo asociados al tipo de cobertura. Las relaciones entre uso y cobertura de la tierra son variadas, pudiendo existir múltiples usos en un mismo tipo de cobertura de la tierra y viceversa. En razón de esto, entre las primeras tareas está definir las relaciones entre la cobertura y uso de la tierra que van a ser utilizadas. La cobertura de la tierra se define como los materiales y entidades bióticas que se observan sobre la superficie terrestre (vegetación, roca, agua etc.) En contraste, los usos de la tierra se refieren a las actividades que se lleva a cabo en una unidad de tierra

El análisis de las tendencias de cambios de los tipos de cobertura del suelo y uso de la tierra, (*Land cover and Land use*) se realizó sobre el Área Metropolitana de Buenos Aires- AMBA, utilizando la metodología propuesta por (*FAO Open Foris –Google Earth “GE”*) de monitoreo de las transformaciones del espacio geográfico en áreas urbanas.

### ***Figura 2: Delimitación del área de estudio (Línea amarilla)***



Fuente: Elaboración propia

### *Etapa 3. Relevamiento. Clasificación de objetos geográficos “OG”*

La tercera etapa incluye el relevamiento de los datos para la construcción de la base de datos del proyecto, seguida de la identificación de OG detectables en la escena del satélite.

El relevamiento se realizó mediante una serie de muestras distribuidas en el área de estudio en forma aleatoria. De Pietri, D. et al (2022).

En el ámbito de la geografía, los OG son elementos fundamentales para comprender y analizar la configuración de nuestro entorno. Estos objetos se agrupan y clasifican con base en dos categorías principales: cobertura natural y cobertura antrópica.

La clasificación según cobertura natural se refiere a aquellos elementos que existen en la naturaleza, con la mínima intervención del ser humano. Estos objetos pueden ser árboles, pastura, ríos, suelos desnudos y otros componentes del paisaje.

Por otro lado, la clasificación basada en cobertura antrópica se centra en aquellos objetos que han sido creados, modificados o influenciados de manera significativa por la actividad humana. Aquí se incluyen elementos como construcciones de casas, edificios, industrias, calles, autopista, y otras infraestructuras construidas por el ser humano.

Los OG fueron clasificados según distintos criterios, tales como su uso, forma o materialidad. Por ejemplo, en términos de uso, pueden dividirse en objetos de construcciones residenciales, industriales, comerciales, recreativo. En cuanto a forma, podemos encontrar objetos lineales como autopistas y ríos, y objetos poligonales como industrias o campos de cultivo.

La materialidad se refiere a los materiales que componen los objetos geográficos, como, agua, vegetación, concreto, entre otros.

**Figura 3: Tabla de clasificación de objetos geográficos**

Cobertura	Objetos Geográficos	Características del objeto geográfico		
		Uso	Forma	Materialidad
<b>Natural</b>				
Verde	Herbácea/cesped Arbusto Arbol Verde pastura Verde cultivo Verde forestación	Parque Plaza Plazoletas Jardines Canchas Otros	Polígono	Verde o biota
Agua	Cursos de agua Laguna	Río/arroyo Lago/laguna	Lineal Polígono	Agua
Tierra	Suelo desnudo Suelo anegado Tierra/residuos	Basural Baldío Anegada Cultivo	Polígono	
<b>Antrópico</b>				
Construído	Construído casa Construído edificio Construído establecimiento industrial Construído establecimiento colectivo Construído estacionamiento Construído patios Construído canchas deportivas Construído piletas Construído embalse	Residencial Comercial Recreativo	Polígono	Cemento Teja Membrana Cerámica Pintura asfáltica Baldosas Chapa Piedra Madera
Circulación	Calle/ Avenida Autopistas/Rutas Vereda	Peatonal/vehicular Fluvial/Aérea	Lineal	Asfalto Cemento Tierra Adoquín Otro

Fuente: Elaboración propia

#### *Etapa 4. Análisis*

La última etapa metodológica corresponde con el análisis de los datos a través de herramientas estadísticas.

Cada OG observado en las muestras fue analizado en primer lugar en forma independiente y luego integrado al conjunto de las muestras del área de estudio.

Para evaluar los OG se comparó la condición de su cobertura en las distintas fechas provistas por el GE según su condición presente/actual y pasada, registrándose dicha información a través de la encuesta satelital. De esta manera se generó una base de datos para establecer los distintos porcentajes de la representación (cobertura) de los OG en el área de estudio. Luego se clasificaron y se agruparon. Toda aquella cobertura de los OG asociados con una función de infiltración, absorción y/o acumulación del agua de lluvia fueron clasificados y agrupados en un indicador permeabilidad en contraposición de aquellos que representaban condiciones de impermeabilidad y/o de calentamiento de la superficie.

#### **Figura 4: Indicadores ecológicos**

---

**Permeabilidad**

---

<b>Vegetación</b>	Herbácea/césped Arbustos Árboles Cultivos Forestación	<b>Tierra</b>	Suelo desnudo Anegado Residuos
-------------------	---	---------------	--------------------------------------

---

**Impermeabilidad**

---

<b>Construido</b>	Casas, Edificios Establecimientos industriales Galpones Estacionamientos Patios Canchas deportivas Piletas	<b>Circulaciones</b>	Peatonal Vehicular Ferroviario Aerea
-------------------	---	----------------------	---

---

Fuente: Elaboración propia

Los cambios en el uso de la tierra se realizan por comparaciones entre el resultado obtenido del muestreo correspondiente al período 2022 (actual) y los resultados de la cobertura correspondiente a escenas satelitales que representan los periodos 2015-2010-2005.

Se aplicaron diferentes herramientas estadísticas entre los indicadores definidos (diagrama de barra; asociaciones lineales; superposición de la distribución de los valores en el territorio según estacionalidad, interpolación geográfica, entre otros) De Pietri, D. et all (2022)

Entre los índices satelitales para evaluar el servicio ecosistémico de una región se seleccionó el índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI, por su capacidad para establecer el vigor de la biomasa vegetal a través de registrar la cantidad y la calidad de la vegetación de un sitio.

Para este análisis, las diferentes fechas estudiadas, fueron agrupadas según si corresponden al verano (diciembre, enero, febrero, marzo) o invierno, (junio, julio, agosto, septiembre)

**Resultados**

La característica de los OG observados y registrados en el relevamiento satelital brindaron diferente tipo de información según la herramienta utilizada (figura 5).

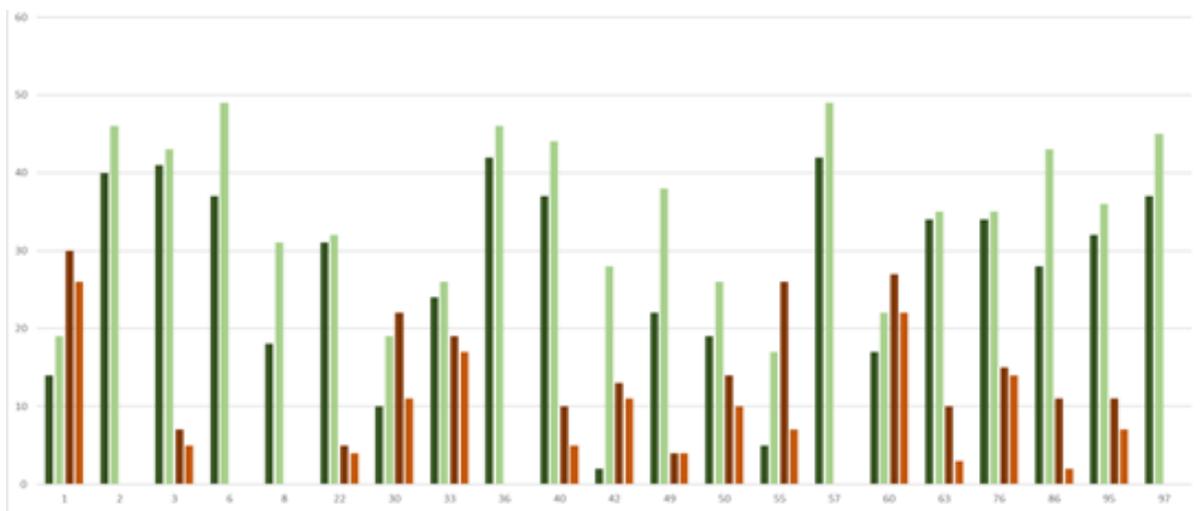
**Figura 5: Tabla de comparaciones con diferentes herramientas**

INSTRUMENTO	RESULTADO
Base de datos	Generación de indicadores
Diagrama de barra	Tendencias de los indicadores
Ajuste a la curva/Gráficos x/y	Asociación entre indicadores
Índice NDVI	Servicio ecosistémicos

Fuente: Elaboración propia

El uso de gráficos de barras ayudó a identificar tendencias generales en los cambios en la cobertura de los indicadores del estudio.

**Figura 6: Comparación de la cobertura verde y la cobertura antrópica.**



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Vegetación y tierra. Verde oscuro corresponde al período 2022, y el verde claro al período 2021-2016.

Construido y circulación: el marrón oscuro corresponde al período 2022 y marrón claro al período 2021-2016

En ellos se aprecia que, la cobertura verde de este periodo es menor que la del periodo anterior, caso contrario ocurre con la superficie construida, que es mayor en el periodo actual en relación al periodo anterior.

Estas tendencias determinan el análisis posterior de los datos para evaluar si la pérdida de vegetación es el resultado del aumento del área construida y estimar la asociación entre la pérdida de vegetación y el aumento del área construida en cada período a través de gráficos XY.

Asimismo, la línea de tendencia resultante mide qué tan bien se relacionan las dos métricas y el número de muestras incluidas en estos análisis de asociación estuvo determinado por la presencia del indicador en el período estudiado.

El lado izquierdo de la (Figura 7) muestra la correlación entre la pérdida de cobertura de espacios verdes y el aumento del área edificada entre diferentes

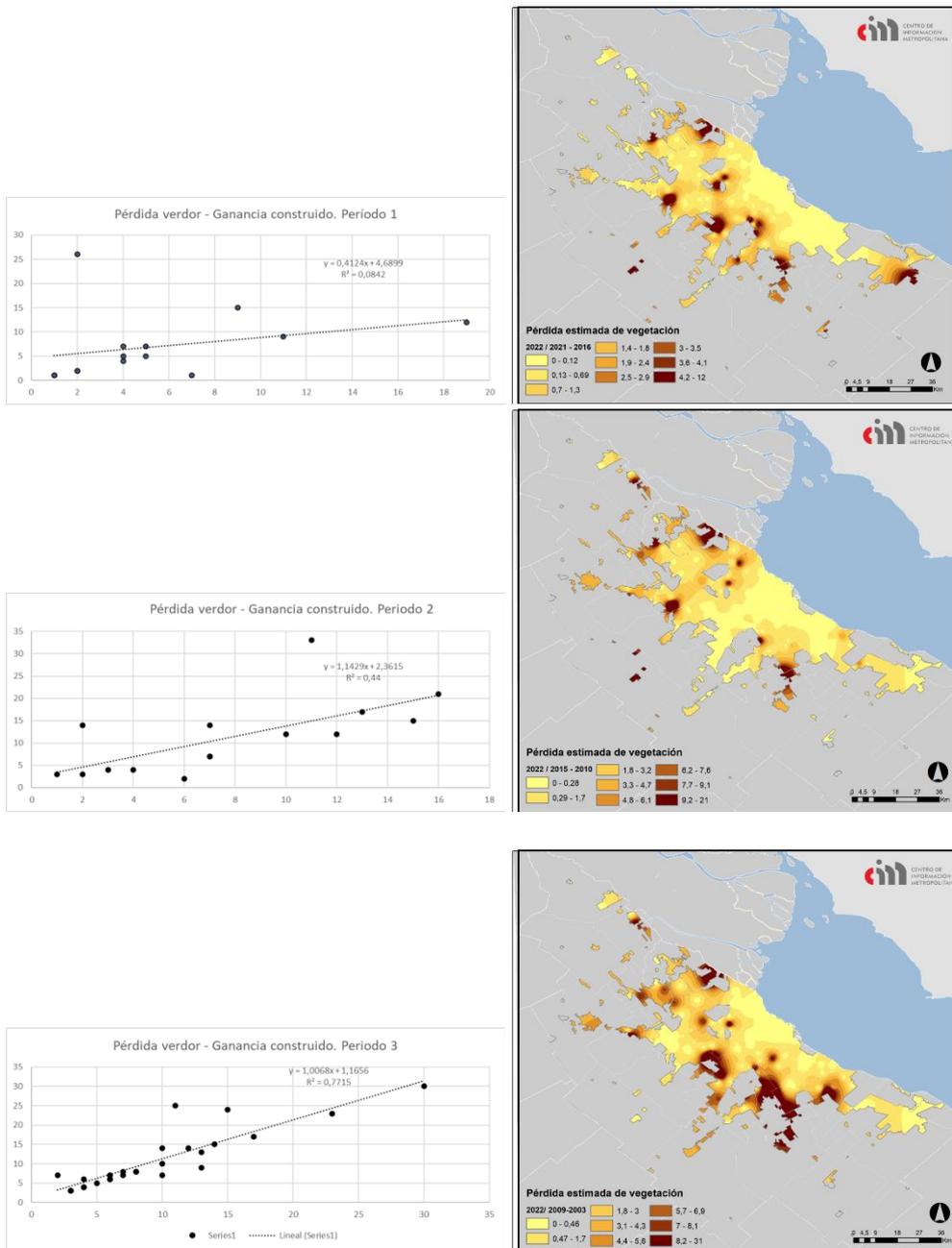
períodos. La línea de tendencia en el gráfico XY representa el mejor ajuste entre las variables, y la ecuación de la recta y el  $R^2$  asociado se muestran en el extremo superior del gráfico. A la derecha se muestra un mapa del área de estudio, donde se representa la distribución de la pérdida de vegetación estimada, por la ecuación de la recta, de acuerdo con el período en cuestión. Los tonos más oscuros indican ubicaciones con la mayor pérdida de vegetación.

En síntesis, en periodo 3 - comparación del período actual “2022” versus período anterior “2003 a 2009”- mostró una clara correlación de la pérdida de vegetación debido al aumento de la superficie edificada. Estos valores indican que el 77% de la cobertura de áreas verdes relevadas disminuyó debido al aumento en el área de construcción en dicho periodo.

***Figura 7: Pérdida de vegetación debido al aumento de la superficie construida.***

Asociación entre indicadores

Perdida estimada de vegetación



Fuente: Elaboración propia

### Índice verde: Análisis de servicios ecosistémicos

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las personas recibimos desde el

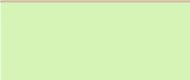
medio ambiente o la naturaleza. El NDVI se utiliza para estimar los servicios ecosistémicos que se derivan de la vegetación.

El NDVI del AMBA fue obtenido de la biblioteca de imágenes disponibles en Google Earth Engine “GEE” y asociado al muestreo realizado desde OF.

El valor NDVI, de una muestra se definió por un único valor que integra todos los OG presente en la superficie en cuestión. Por lo tanto, para cada muestra se obtuvo valores de NDVI y valores de cobertura vegetal tanto para las imágenes de verano como de invierno. Figura 8

Las definiciones de clases o categorías de cobertura vegetal ayudaron a establecer un rango de valores para el NDVI con el fin de establecer indicadores para evaluar los servicios ecosistémicos.

**Figura 8: Tabla de valores de cobertura verde y NDVI**

Cantidad de puntos en la muestra	Porcentaje de cobertura verde en la muestra	Rango de equivalencias en valores del Índice NDVI	Categorías en el mapa	Servicios ecosistémicos
12.5	25	< 0.35		Regular
25	50	0.36 a 0.50		Bueno
37	75	0.51 a 0.65		Muy bueno
49	100	0,66 a 0.79		Excelente
49	100	> 0.80		Optimo

Fuente: Elaboración propia

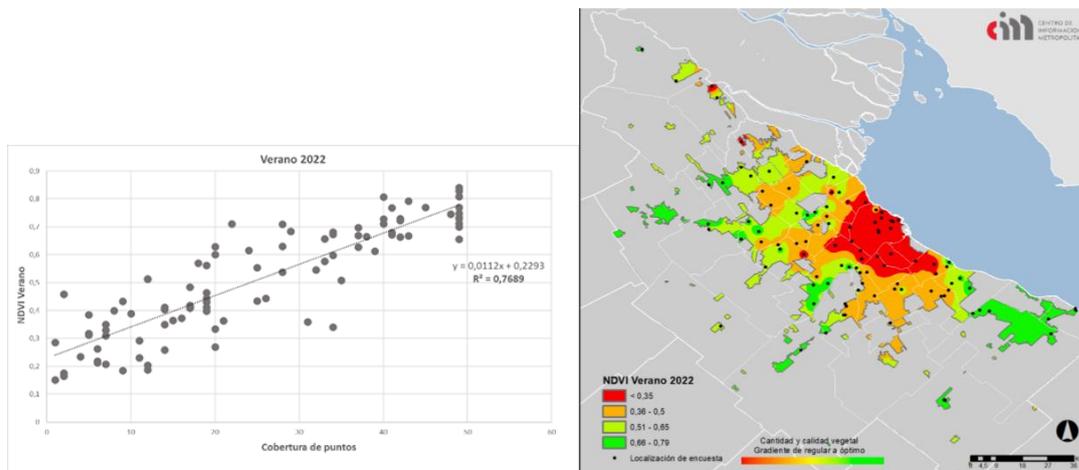
La estimación de la asociación entre la cobertura verde y los valores de NDVI utilizando  $R^2$  muestra una correlación igual a 0,7689 para el verano de 2022. En otras palabras, se describe la tendencia general de cada aumento en la cobertura verde asociado con un aumento en el valor del índice NDVI. Es decir, más del 75% del aumento del NDVI en el verano de 2022 se explica por el aumento de la cobertura verde. La distribución de los valores de la categoría NDVI para el verano de 2022 se muestra en Figura 9.

Similar análisis se realizó para la cobertura verde y el NDVI correspondiente al invierno del 2022. Si bien en el gráfico XY se observa una tendencia positiva la gran dispersión de los puntos hace que el valor de la asociación sea bajo ( $R^2$  igual a 0.3649). Cuatro de las muestras presentan valores de NDVI cercanos al cero e inclusive negativos en un rango de cobertura vegetal alto. Estos sitios con alta cobertura verde, pero con valores bajos o extremadamente bajos de

NDVI pueden estar indicando alguna otra condición ambiental, como la superficie anegada, cubierta con agua, lo que reduciría el índice verde por lo antedicho (Figura 9).

En el mapa se observa una mayor distribución de la categoría que representa el bajo vigor vegetal y prácticamente es inexistente la categoría de vigor vegetal excelente.

**Figura 9: Gráfico x/y. Análisis de asociación entre la cobertura verde y el índice NDVI de verano 2022. Mapa NDVI Verano (2022)**

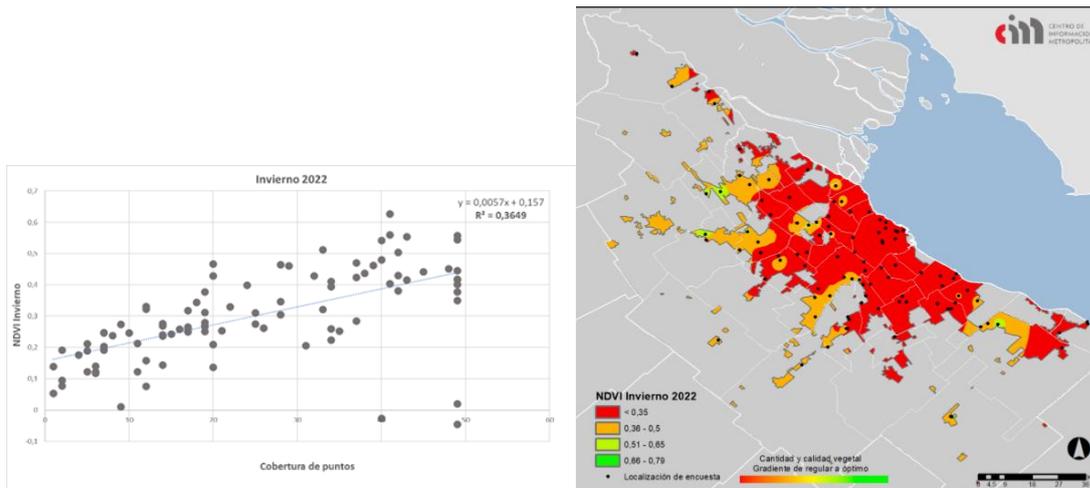


Fuente: Elaboración propia

Nota grafico: El muestreo correspondiente a la escena satelital del verano del 2022 muestra un buen ajuste a la recta ( $R^2=0.7689$ ) entre la cobertura verde y el valor del índice verde.

Nota mapa. Los diferentes tonos observados en el mapa de la figura 9 representan la distribución de las categorías de los servicios ecosistémicos, desde un alto vigor vegetal (tonos verdes, verde claro) a bajo vigor vegetal (rojo).

**Figura 10: Gráfico x/y Análisis de asociación entre la cobertura verde y el NDVI de invierno ,2022. Mapa NDVI Invierno (2022)**



Fuente: Elaboración propia

Nota grafico: Las muestras correspondientes al invierno del 2022 presentan mayor dispersión a la tendencia central ( $R^2=0.3649$ ) en relación al verano.

Nota mapa. Los diferentes tonos observados en el mapa de la figura 10 representan la distribución de las categorías de los servicios ecosistémicos, desde un alto vigor vegetal (tonos verdes claro) a bajo vigor vegetal (rojo).

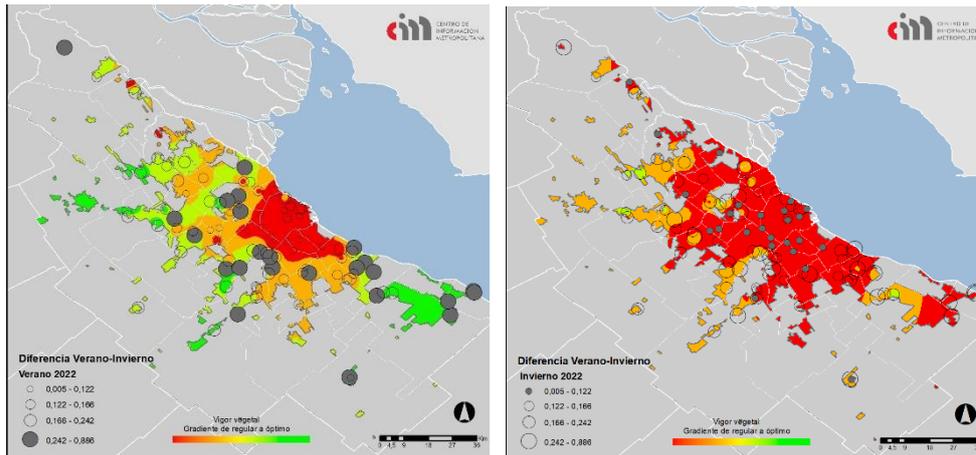
Las diferencias en los valores del NDVI para el verano y el invierno de 2022 se agrupan por cuartiles para identificar dónde se localizaban las mismas.

Estas fueron representadas en el mapa de las categorías de NDVI de verano e invierno mediante una superposición geográfica (figura 11)

El mapa NDVI de verano (figura 11 de la izquierda) muestra que las mayores diferencias en NDVI entre verano e invierno (grandes círculos grises) se distribuyen en sitios con un vigor vegetal bueno a muy bueno. Viceversa, el Mapa NDVI de invierno (figura 11 de la derecha) muestra que las diferencias más pequeñas de NDVI entre el verano y el invierno (pequeños círculos grises) se distribuyen en sitios con una alta cobertura de suelo edificado.

Es decir que todas las muestras localizadas en un área de bosque el índice verde presentó mayor fluctuaciones estacionales en relación a los valores sobre una matriz construida en el área urbana. En este último caso la escasa vegetación no muestra variación verano-invierno .

**Figura 11: Comparación NDVI verano –invierno, 2022**



Fuente: Elaboración propia

### Consideraciones finales

El monitoreo satelital por puntos es una herramienta innovadora que consiste en un muestreo territorial en base a interpretaciones visuales de los OG en imágenes de alta resolución.

El diseño del muestreo se basó en una malla de parcelas distribuidas aleatoriamente a través del área de estudio. El método es fácil y rápido de implementar, y para alcanzar altos niveles de precisión, puede optarse por un gran número de muestras para medir eventos de cambio infrecuentes que no se pueden detectar fácilmente y con precisión en una muestra en el campo.

La identificación de datos geográficos utilizables como indicadores es un recurso clave para el diagnóstico, seguimiento y toma de decisiones.

Los OG identificados fueron agrupados en categorías y subcategorías de uso de la tierra para facilitar la interpretación de los procesos ambientales en estudio mediante indicadores.

La base de datos generadas de los indicadores para los distintos puntos de la malla, y para diferentes periodos de tiempo, fue analizada mediante herramientas estadísticas.

Los resultados observados pueden clasificarse en una escala regional donde se analiza los aspectos urbanos en función de los usos de la tierra y resultados más locales donde se analiza la variación interna del OG para el seguimiento. En este último caso, se expresan como porcentajes de cobertura que incrementa o que disminuye en un período dado y se identifican las zonas con mayor pérdida o ganancia de la cobertura verde en relación de la cobertura antrópica dentro del área urbana. De esta manera también se identifican los periodos de tiempo con mayor tendencia al cambio.

En definitiva los OG son clasificados en base a servicios ecosistémicos, por ejemplo las superficies absorbentes están definidas por el espacio verde y el suelo desnudo, mientras que las superficies impermeables lo conforman

aquellos elementos generados por la actividad humana (construcciones y espacios de circulación para el tránsito).

Los histogramas y los diagramas de barra facilitaron el análisis de las tendencias de los distintos tipos de cobertura a través de las variaciones en las muestras recolectadas. Estos contribuyeron a establecer si la pérdida de vegetación en el área metropolitana se debió a un incremento de la superficie construida.

Los valores NDVI constituyen un indicador de niveles de verdor o salud vegetal. En este punto se asumió que los valores NDVI son máximos cuando la muestra presenta una cobertura verde del 100% y corresponde a la estación de verano. No obstante, en el área de estudio, se pudo establecer cuando los valores del NDVI son bajos, éstos pueden ser el resultado de 2 escenarios. Uno en sitios con alta cobertura verde con episodios de exceso de agua por anegamientos debidos a precipitaciones previas a la fecha de la escena satelital o cuando la vegetación esta degradada o no saludable. El segundo escenario estaría dado en sitios con baja cobertura verde sobre tejido construido de alta densidad. En este caso, no hay suficiente recurso verde para generar un servicio ecosistémico o beneficios al entorno.

## Bibliografía

Argentina. Archivo General de la Nación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado en [https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta\\_alicia\\_barchuk\\_0.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_alicia_barchuk_0.pdf)

Britos, A; Barchuk, A (2013) Dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra a través de modelos de no-equilibrio. Asociación Española de Teledetección. Revista de Teledetección 40. Recuperado el 20/07/2023 en [http://www.aet.org.es/revistas/revista40/Numero40\\_08.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista40/Numero40_08.pdf)

Cerrón J, del Castillo J, Bonnesoeur V, Peralvo M, Mathez-Stiefel S L. 2019. "Relación entre árboles, cobertura y uso de la tierra y servicios hidrológicos en los Andes Tropicales: Una síntesis del conocimiento". Occasional Paper No. 27 Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, CONDESAN. Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF). Lima, Perú. ( DOI: <http://dx.doi.org/10.5716/OP19056.PD>. Recuperado el 20/07/2022 en: [https://condesan.org/wp-content/uploads/2019/09/20190918\\_Arboles\\_agua\\_Andes\\_Imprenta.pdf](https://condesan.org/wp-content/uploads/2019/09/20190918_Arboles_agua_Andes_Imprenta.pdf)

De Pietri, D. et all (2022) Centro de Información Metropolitana, Universidad de Buenos Aires Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Recuperado el 20/07/2023 de: <https://cim.fadu.uba.ar/jornadas/>

De Pietri, D. et all (2008) Indicadores ambientales derivados de las transformaciones del uso de la tierra en el área metropolitana de Buenos Aires (1985-2001) *AREA14*: pág. 67

Geppert S ( 2022) Atlas de Servicios Ecosistémicos de la Gran Área Metropolitana Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) Recuperado el 20/07/2023 de: <https://panorama.solutions/es/user/sabrina-geppert>

Google Earth Engine (2018) Google Earth engineearthengine.google.com  
Edwin Ángeles Paredes (2015) Herramientas Open Foris. Módulo de Inventarios – SNIFFS Lima -Perú  
[https://www.academia.edu/12129843/HERRAMIENTAS\\_OPEN\\_FORIS](https://www.academia.edu/12129843/HERRAMIENTAS_OPEN_FORIS)

Grupo Interinstitucional de monitoreo de bosques y uso de la tierra. Protocolo para el uso de la plataforma Open Foris (2016).Collect Earth - Earth Engine. Guatemala,(2018 Agosto)  
<https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Gt%20ERPDP%20Advanced%20Draft%20Anexo%20IV.pdf>  
[www.openforis.org](http://www.openforis.org)

Jiang Y; Fu P; Weng Q. Evaluación de los impactos del uso de la tierra asociado con la urbanización/cambio de cobertura en la temperatura y humedad de la superficie de la tierra: un estudio de caso en el medio oeste de los Estados Unidos. *Teledetección* . 2015; 7(4):4880-4898.  
<https://doi.org/10.3390/rs70404880>

Le et al. (2008) y por Le et al. (2010) Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos Vietnam y Ghana a nivel de cuencas.

Loredo, L; Reyes, E; Hernández, H; Reyes-Pérez, O; Flores-Flores, J., & Sahagún-Sánchez, F. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 22(1), 125-140. Recuperado el 23/10/2020, de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712016000100125&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712016000100125&lng=es&tlng=es).

Municipalidad de Curridabat .(2019). Sistema de monitoreo de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas en el cantón de Curridabat. Curridabat-Costa Rica. Recuperado el 20/07/2023 de: [https://labmeh.catie.ac.cr/wp-content/uploads/2019/07/Sistema-Monitoreo-Biodiversidad\\_Curridabat.pdf](https://labmeh.catie.ac.cr/wp-content/uploads/2019/07/Sistema-Monitoreo-Biodiversidad_Curridabat.pdf).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. Recolección, análisis y reporte de información forestal. Herramientas tecnológicas de libre acceso para contribuir con el inventario nacional forestal y de fauna silvestre del Perú. 2009. <http://www.fao.org/3/a-i6740s.pdf>

Pérez Gañan, R. (2019) Introducción a la teledetección. Universidad Virtual de Quilmes. Recuperado el 20/07/2023 de: <https://static.uvq.edu.ar/mdm/teledeteccion/unidad-3.html>

Pizaña, G; Mauricio, J; Romero, C; Nirani, & Díaz, O; Benjamín, J. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal-uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena. *Ciencia forestal en México*, 34(105), 135-156. Recuperado el 23/10/2020 de:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-35862009000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000100007&lng=es&tlng=es).

Rodriguez ,Cruz, Yunier, & Pinto, M. (2018). Modelo de uso de información para la toma de decisiones estratégicas en organizaciones de información. *Transinformação*, 30(1), 51-64. Recuperado el 20/07/2023 en: <https://doi.org/10.1590/2318-08892018000100005>

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1974) Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium *Nasa*, Nasa SP-351, Washington DC, 309-317.