

Artículo de investigación

Análisis de la relación entre espacios verdes y población de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina.

Claudia María Pizzichini^{1*}; Jorge Marcelo Sisti^{2}**

¹ Universidad Nacional del Sur. ² Universidad Nacional de La Plata.

* E-mail: claudiapizzi@gmail.com ** E-mail: jsisti@ing.unlp.edu.ar

Recibido: 1/4/2021; Aceptado: 10/5/2021; Publicado: 15/5/2021

Resumen

Los espacios verdes, considerados pulmones de las ciudades, aumentan su valorización cuando se analizan sus ventajas sobre la salud y el bienestar del residente urbano. En la ciudad de Bahía Blanca, situada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, se localizan desde el año 1970 varias empresas que constituyen un polo petroquímico. Los espacios verdes allí constituidos, debieron ubicarse alejados de muchos barrios de la localidad. Este trabajo refleja el estudio y evaluación del cumplimiento de los índices establecidos por la Organización Mundial de la Salud de tales espacios con relación a su población. El desarrollo del mismo tuvo su base en una imagen satelital que fue convertida a valores de reflectancia a nivel suelo y georreferenciada mediante puntos de control; posteriormente se aplicó una clasificación supervisada y contrastada. Esa información, junto a los datos poblacionales referidos a fracciones censales, facilitaron mediante la aplicación de técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (GIS) obtener índices y cartografía representativa de las relaciones estudiadas.

Palabras clave: espacios verdes; índice verde; técnicas de teledetección; SIG

Analysis of the relationship between green spaces and the population at Bahía Blanca city, Argentina

Abstract

Green spaces, considered lungs of cities, increase in value when their advantages over the health and well-being of urban residents are analyzed. In the city of Bahía Blanca, located in the southwest of the province of Buenos Aires, Argentina, several companies that constitute a petrochemical pole have been located since 1970. The green spaces constituted there must have been located far from many neighborhoods in the town. This work shows the study and evaluation of compliance with the indices established by the World Health Organization of those spaces in relation to their population. Its development was based on a satellite image that was converted to reflectance values at ground level and georeferenced through control points; subsequently a supervised and contrasted classification was applied. This information, together with the population data referring to census fractions, made it possible through the application of remote sensing techniques and Geographic Information Systems to obtain indices and representative cartography of the relationships studied.

Keywords: green areas; green index; remote sensing techniques; GIS

1. Introducción

La ciudad de Bahía Blanca cuenta con ciertos espacios verdes y lugares de esparcimiento, y si bien existen diversos estudios que los comparan con grupos poblacionales, es escasa la producción cartográfica que muestre la localización de esos espacios verdes respecto de datos referidos a los habitantes. El municipio a través de su página de internet, en el área "Arbolado urbano y Espacios Públicos" registra la distribución de especies arbóreas georreferenciadas, pero no dispone de documentación que manifieste la distribución respecto de grupos poblacionales, en concordancia con el estudio planteado en este trabajo.

1.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es demostrar la utilidad de la aplicación de técnicas de teledetección y de SIG para extraer datos de la imagen satelital, obtener información, analizar distintas relaciones entre las zonas verdes de la ciudad de Bahía Blanca y la población residente en el área urbana y sustanciarlas mediante el cálculo de variados índices; asimismo documentarla cartográficamente y sentar las bases para la continuidad de estudios relacionados a la presente temática.

1.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos que llevan adelante esta investigación a partir del empleo de técnicas de teledetección y de SIG son:

- Determinar la distribución de los espacios verdes en la ciudad de Bahía Blanca. mediante el procesamiento y análisis de la imagen satelital.
- Establecer el IVU de cada una de las fracciones censales a partir de los resultados de la clasificación de la imagen satelital en relación con los datos censales.
- Ubicar geográficamente los espacios verdes públicos destinados a recreación y los espacios libres.
- Evaluar la accesibilidad de la población a los espacios de recreación, a partir de la determinación de las distancias desde las fracciones censales.

El procesamiento de imágenes satelitales junto a los datos censales estudiados a través de un Sistema de Información Geográfica, permitirán el cálculo de variados índices referidos a la distribución espacial de las áreas verdes de la ciudad y su relación con diferentes grupos poblacionales. La elaboración de mapas temáticos brindará la posibilidad de identificar los resultados en forma visual y observar las regiones donde los parámetros esperados no fueran cumplidos.

La confección de la base de datos, más las variabilidades estadísticas, como así también los gráficos, ayudarán a la actualización continua de la información obtenida, brindando la dinámica y vigencia de las diferentes lecturas actualizadas de la situación. Toda esta información brindará al gobierno de la ciudad la posibilidad de evaluar la evolución de los índices y tomar las medidas convenientes para

su conservación dentro de los valores recomendados.

2. Fundamentación teórica

Los espacios verdes son pensados como los pulmones de las ciudades, por medio de la capacidad reconstituyente de las plantas se puede disminuir la contaminación, tanto del aire como sonora, bajar la temperatura, retener la humedad, proteger al suelo de la erosión y promover la biodiversidad, según la publicación en la página web del gobierno del municipio de Bahía Blanca, en el área “Arbolado Urbano y Espacios Públicos” (2019). La ley 8912 (1977) de la provincia de Buenos Aires “Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo”, define como “Espacios verdes y libres públicos” a los sectores públicos donde predominen la vegetación y el paisaje y cuyas funciones principales sean servir a la recreación de la comunidad y contribuir a la depuración del medio ambiente.

El Índice Verde Urbano (IVU) de una ciudad es la cantidad, en metros cuadrados, de área verde que existe por cada habitante. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que las ciudades dispongan, como mínimo, de un área verde de entre 10 m² a 15 m² por habitante, distribuidos proporcionalmente con relación a la densidad de población (Tella y Potocko, 2009). La Ley 8912 que rige los estándares de ordenamiento territorial en la provincia de Buenos Aires establece un mínimo de 10 m²/habitante razón por la que en algunos análisis se aceptó este valor mínimo.

Los espacios verdes, además de promover el bienestar físico actuando como degradantes de la contaminación, son elementos clave en el control de los riesgos naturales y de los cambios climáticos (Cat-Med, 2009). En referencia al estudio de estos espacios, (Lima *et al.*, 1994) recomiendan estandarizar y uniformar la terminología empleada en estudios relacionados con áreas verdes urbanas.

La ciudad de Bahía Blanca cuenta con un espacio verde público destinado a la recreación denominado Paseo de las Esculturas donde miles de adolescentes, muchos de ellos provienen de barrios alejados, se concentran los fines de semana, generando un encuentro de identificación juvenil (Rubio y Santarelli, 2005). Baxendale y Buzai en 2019, proponen la inclusión de Infraestructura Verde, vocablos que orientan a la integración de distintos usos del suelo, cuando se gestionen el desarrollo y la planificación del crecimiento de una ciudad o región. Refieren este planteo a la distribución espacial de las áreas verdes dentro de la zona de estudio y su relación con diversos usos territoriales.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son las herramientas capaces de almacenar, manipular, gestionar y representar gráficamente datos con algún tipo de componente espacial (Chuvienco, 2010). La realización de mapas temáticos brinda la posibilidad de ubicar geográficamente los resultados obtenidos mostrando su distribución espacial (Buzai, 2008).

Para el desarrollo de esta tarea se propone implementar un SIG que facilite, recurriendo a técnicas de teledetección aplicadas en el tratamiento y análisis de la imagen satelital y con el empleo de datos censales e información de campo, estudiar la realidad de los espacios verdes en la ciudad de Bahía Blanca.

Durante el año 2020 y como consecuencia de la pandemia por Coronavirus, las poblaciones tienen que aislarse en sus hogares debido a los peligros de contagio. Esto derivó en que diferentes organismos consideren prioritario el mantenimiento del verde urbano y por ende integrarlos a los servicios esenciales. Pasado el estado de alarma, los habitantes de las ciudades necesitan más que antes concurrir a los espacios verdes y sería necesario prever su mantenimiento para que cuando puedan ser utilizados estén totalmente seguros y saludables, pues se observa que serían imprescindibles para la recuperación física y mental de las personas (Argimon de Vilardaga, 2020). Entre esos organismos destaca que el Ayuntamiento de Barcelona declaró al mantenimiento del verde urbano como Servicio Público Esencial, en el acuerdo adoptado por la Comisión de Gobierno, en la sesión ordinaria del 21 de abril de 2016.

3. Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

La ciudad de Bahía Blanca, cabecera del partido homónimo, está situada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Su ubicación es próxima al Puerto de Ingeniero White, que por su calado de 45 pies es uno de los puertos de aguas profundas más importantes de Sudamérica. Esa condición propició que a partir del año 1970 un polo petroquímico se localizara en sus proximidades ocupando el área costera. En consecuencia, fueron cambiando los destinos de las tradicionales zonas verdes de esparcimiento a intereses industriales. En consecuencia, se generaron nuevos espacios recreativos en el periurbano, situación que provocara la fragmentación del espacio urbano (Rosake y Ercolani, 2012).

3.2. Elementos utilizados

Los elementos empleados para llevar a cabo esta actividad fueron:

- Imagen del satélite SPOT 5 de fecha 22 de septiembre de 2012 con resolución espacial de 10 m provista por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).
- Programa ENVI. Programa de procesamiento y análisis de imágenes de la empresa ESRI.
- Programa QGIS. Sistema de Información Geográfica de software libre.
- Datos de población correspondientes al Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Argentina (INDEC, 2010).
- Archivo vectorial de las fracciones censales de la ciudad de Bahía Blanca, INDEC 2010.

El procesamiento de la imagen se efectuó con los programas ENVI 4.7. El tratamiento de los datos y la cartografía fueron realizados mediante el uso de las herramientas del sistema de información geográfica QGIS. En la confección de la cartografía se incorporaron elementos desde la base de datos SpatiaLite y marcadores SVG y se transformaron archivos desde QGIS mediante el programa TCX Converter.

3.3. Elección de la imagen

La imagen seleccionada para la realización de este trabajo es una imagen multispectral correspondiente al sensor HRG 2 del satélite SPOT 5. Fueron consideradas las siguientes características: la resolución espacial, libre de nubes y la fecha de toma, 22 de septiembre, donde es

medio el crecimiento de la vegetación y resulta por ello, la mejor época para su estudio; así también se consideró el año, 2012, próximo a la fecha del último Censo Nacional.

La mencionada imagen fue provista por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina. Los parámetros de la escena son: Scene ID, 5 693-428 12/09/22 14:15:30 2 J; K-J identification, 693-428; Instrument, HRG 2; Spectral mode, J y nivel de preprocesamiento, Level 2A que entrega todas las bandas con la misma resolución 10m. Las bandas B1 y B2 pertenecen a la región del espectro visible, la banda B3, al infrarrojo cercano (NIR) y la banda B4 al infrarrojo medio (SWIR).

3.4. Definición del espacio objeto de estudio

En el marco de la organización y a fin de cumplir con los objetivos propuestos, se define como espacio verde a toda superficie con predominio de vegetación arbórea que incluye parques, plazas y jardines localizados en espacios públicos, como así también la vegetación arbórea ubicada en los centros de manzana y en las veredas de vías públicas.

3.5. Reflectancia

Las técnicas de teledetección están difundidas en diversos organismos que se valen de imágenes satelitales para el desarrollo de sus actividades. Ellas han crecido con un ritmo acelerado en la variedad de información que proveen y en los diferentes campos científicos donde se aplican (Chuvieco, 2010): agricultura, medio ambiente, ordenamiento territorial, bases de datos cartográficas, etcétera. Los valores de energía que reflejan los componentes de la superficie terrestre, son los utilizados para extraer la información que brinda una imagen satelital. Estos valores se corresponden con la reflectancia de cada pixel, la que es imprescindible para la posible comparación de resultados a través del tiempo o entre imágenes provenientes de diversos sensores.

Las imágenes obtenidas por distintos medios de distribución, si bien muchas veces cuentan con variados niveles de preprocesamiento, en general presentan píxeles con valores de nivel digital (ND) relacionados con un valor de gris y no constituyen una magnitud física. La distribución de color exhibida en cada banda es diferente a la de la energía reflejada desde la superficie de la tierra (Richards y Jia, 1999). La primera acción entonces es la transformación de esos valores ND a los verdaderos o más aproximados, correspondientes a la energía reflejada por los elementos que componen la superficie terrestre: la reflectancia a nivel de suelo, valores estos contrastables con los registros obtenidos en campo.

Durante la primera etapa se le efectuaron a cada una de las bandas, a partir de los coeficientes de calibración radiométrica, de la irradiancia solar de cada una y del ángulo de elevación solar extraídos del metadato de la imagen, las conversiones a radiancia y a reflectancia exoatmosférica. Luego, por medio de la aplicación de la corrección atmosférica se obtuvo la imagen en valores de reflectancia a nivel de suelo.

Con el propósito de evaluar y analizar el comportamiento de la firma espectral en la distintas bandas del espectro, fue seleccionada una muestra de arbolado. La Figura 1 representa la respuesta de ella en cada uno de los cuatro canales espectrales antes referidos.

3.5.1. Radiancia

Los valores de ND fueron convertidos a valores de energía captados por el sensor, la radiancia. La radiancia espectral en cada píxel se define como la cantidad de flujo radiante por unidad de longitud de onda radiada en un cono por unidad de ángulo sólido a través de una fuente de superficie con área conocida (Gómez González, 2006).

El valor de radiancia (Lb (p)) de cada píxel de una imagen SPOT 5 se calcula a partir de los coeficientes de calibración radiométrica de cada banda proporcionados en el metadato de la imagen:

$$Lb(p) = \frac{ND(p)}{GAIN(b)} + BIAS(b)$$

Donde:

ND (p): Nivel digital del píxel

GAIN (b) y BIAS (b): coeficientes de calibración para la banda: Physical gain y Physical offset (BIAS).

La unidad de medición de radiancia es:

$$[Lb(p)] = \frac{W}{m^2 * \mu m * sr}$$

Los valores de los parámetros gain y bias Tabla 1, se obtuvieron del metadato de la imagen.

Tabla 1: Longitud de onda y coeficientes de calibración de cada banda

Banda	Longitud de onda	Physical gain.	Physical offset
1- verde	0.50 - 0.59 μm	2.652085	0
2- rojo	0.61 - 0.68 μm	2.756030	0
3- NIR	0.78 - 0.89 μm	1.682725	0
4-SWIR	1.58 - 1.75 μm	8.071986	0

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Radiancia normalizada o radiancia a tope de atmósfera

Los valores de radiancia obtenidos son los valores físicos captados por el sensor considerando la dirección de la luz solar en su misma dirección; en consecuencia, deben ser corregidos por la influencia de la inclinación solar: el coseno del ángulo de incidencia de la luz solar con respecto a la vertical del lugar ($\cos(\theta_z)$). obtiene con la aplicación de esa fórmula, la radiancia a tope de atmósfera:

$$TOA(\theta_z) = \frac{Lb(p)}{\cos(\theta_z)}$$

Para el cálculo de los valores de radiancia normalizada, en la fórmula se reemplazó el $\cos(\theta_z)$ por el seno de la elevación solar expresada en radianes y presente en el metadato de la imagen.

Elevación solar: 43.963543°

3.5.3. Reflectancia a tope de atmósfera

La reflectancia espectral a tope de atmósfera ($\rho(\text{toa})$) es la relación entre la radiación normalizada y la irradiación solar entrante:

$$\rho(\text{toa}) = \frac{\pi \cdot Lb(p)}{E_o(b) \cdot \cos(\theta_z)}$$

Donde:

$Lb(p)$: radiancia

$E_o(b)$: irradiancia solar

θ_z : ángulo cenital solar

Esta fórmula de cálculo de reflectancia a tope de atmósfera, puede expresarse:

$$\rho(\text{toa}) = X \cdot 3.14159265 / (E_o(b) \cdot \sin(3.14159265 \cdot \alpha / 180))$$

Donde:

X: valor de radiancia para cada banda

$E_o(b)$: irradiancia solar para cada banda

α : ángulo de elevación solar expresado en radianes

Los valores de irradiancia solar Tabla 2, se extrajeron del metadato de la imagen y fueron aplicados luego en cada fórmula utilizada para hallar la reflectancia a tope de atmósfera.

Tabla 2. Cálculo de la reflectancia a tope de atmósfera.

Banda	Reflectancia a tope de atmósfera
Verde	$B1 \cdot 3.14159265 / (1858 \cdot \sin(3.14159265 \cdot 43.963543 / 180))$
Rojo	$B2 \cdot 3.14159265 / (1575 \cdot \sin(3.14159265 \cdot 43.963543 / 180))$
Infrarrojo cercano	$B3 \cdot 3.14159265 / (1047 \cdot \sin(3.14159265 \cdot 43.963543 / 180))$
Infrarrojo medio	$B4 \cdot 3.14159265 / (234 \cdot \sin(3.14159265 \cdot 43.963543 / 180))$

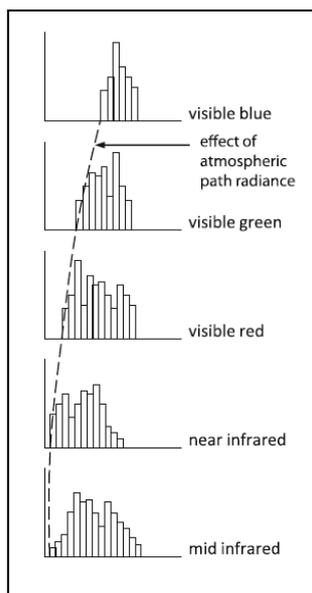
Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Reflectancia a nivel de suelo

Las correcciones anteriores permitieron obtener el valor físico que representa la energía captada por el sensor en cada banda desde el tope de la atmósfera. Esos valores de radiación no son los aconsejables para el procesamiento de la imagen dado que deben ser corregidos por la transmisividad, la irradiancia difusa y por la radiancia atmosférica. Debido a la dispersión de la energía, tales valores tienen incorporados los efectos producidos por los distintos componentes de la atmósfera. Atento a ello, los cálculos para estas correcciones se realizan aceptando algunas condiciones atmosféricas estándar (Chuvieco, 2010).

Los valores más bajos en cada una de las bandas no son próximos ni iguales a cero, sobre todo en las bandas más cortas del espectro electromagnético. Esto se debe al efecto de la dispersión atmosférica, principalmente a la dispersión de Rayleigh (Richards y Jia, 1999). Se usa esta propiedad en el modelo de substracción por cuerpo oscuro o Dark Object Subtraction (DOS). El modelo DOS fue propuesto por Chaves (1988) y es utilizado en muchas correcciones por ser de una formulación sencilla. Enuncia que esa dispersión aumenta los niveles digitales Figura 1, en áreas de las imágenes de agua limpia y calma, donde por sus propiedades físicas deberían mostrar valor de reflectancia nulo. La corrección por substracción de cuerpo oscuro se aplica restando en cada banda el valor mínimo del histograma a los valores de radiancia de cada píxel de la escena.

Figura 1. Efecto de la dispersión atmosférica en la radiancia.



Fuente: Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction (Richards y Jia, 2013).

El cálculo de los valores de reflectancia a nivel de suelo se realiza mediante la asignación de los valores mínimos de radiancia de cada banda determinados por los histogramas de frecuencias y mediante la fórmula identificada abajo. En la Tabla 3 se muestran el valor mínimo de radiancia y la ecuación aplicada a cada una de las bandas.

Cálculo de reflectancia a nivel de suelo:

$$(DOS) = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot (Lb(p) - Lb(p) \text{ mín})}{Eo(b) \cdot \cos(\theta z)}$$

Donde:

Lb (p): Radiancia

Lb (p) mín: valor mínimo de radiancia

d: distancia tierra sol expresada en uA (unidad astronómica)

Eo (b): Irradiancia solar

θz: ángulo de incidencia solar

El metadato de la imagen permite extraer la siguiente información:

elevación solar: α= 43.963543°

equivalent radiance (W.m⁻².Sr⁻¹.um⁻¹)

Tabla 3. Cálculo de reflectancia a nivel de suelo para cada banda del EEM.

Banda	Radiancia mínima	Reflectancia a nivel de suelo
Verde	0.37706	$(X-0.37706)*3.14159265/(1858*\sin(3.14159265*43.963543^\circ/180^\circ))$
Rojo	0,36284	$(X-0,36284)*3.14159265/(1575*\sin(3.14159265*43.963543^\circ/180^\circ))$
Infrarrojo cercano	0.29427	$(X-0.29427)*3.14159265/(1047*\sin(3.14159265*43.963543^\circ/180^\circ))$
Infrarrojo medio	0.12388	$(X-0.12388)*3.14159265/(234*\sin(3.14159265*43.963543^\circ/180^\circ))$

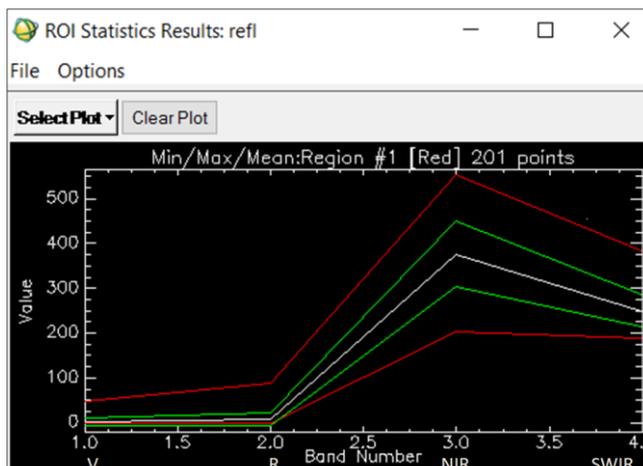
Fuente: elaboración propia.

Donde:

X: radiancia en cada píxel de la banda.

Los valores obtenidos en cada etapa de la corrección radiométrica de la imagen, muestran la importante variación en sus resultados producto de las consideraciones durante la trayectoria de las energías incidente y reflejada. La transformación de los valores digitales de la imagen a valores de reflectancia posibilita abordar trabajos de procesamiento de imágenes a partir de valores de reflectancia a nivel de suelo. Son los valores más próximos o que mejor representan a la energía radiada por los elementos que componen la superficie terrestre. El cálculo aplicado a esta imagen SPOT sería de mucha utilidad para futuros trabajos que requieran el procesamiento de imágenes satelitales. Esta imagen corregida radiométricamente podría ser comparada con imágenes captadas por otros sensores, esta corrección es imprescindible para la realización de estudios multitemporales que consideren a ésta como base de estudio (Chuvieco, 2010).

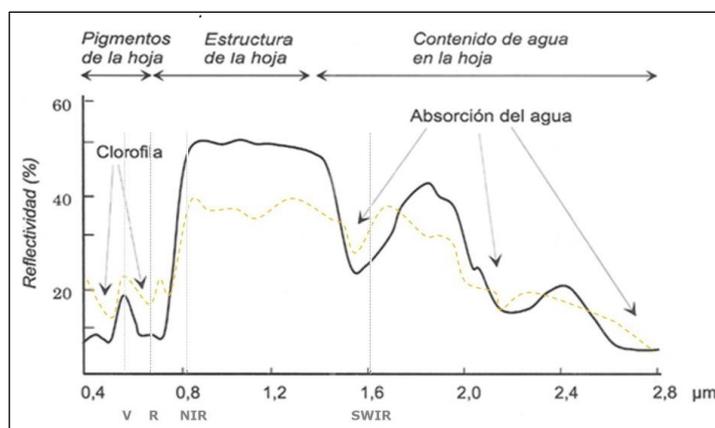
Figura 2. Respuesta espectral de los valores de reflectancia a nivel de suelo para una muestra de vegetación.



Fuente: elaboración propia mediante programa ENVI.

El análisis del resultado representado en la Figura 2, y relacionado con la Figura 3, permite inferir poca reflectancia en la banda del verde, y se entiende que es debida a la vegetación rala, con especies muy añosas, y posiblemente también exista vegetación enferma. La banda del rojo muestra un ligero aumento de reflectancia y se presume que es producto de la escasa actividad fotosintética. La banda del infrarrojo cercano, si bien tiene alta reflectancia, la diferencia con respecto a la banda del rojo es menor a la que presentaría una vegetación vigorosa. Es esencial recordar que el sensor mide en píxeles, en este caso tienen una resolución de 10 m y en ese valor inciden el ángulo de elevación solar, el suelo que no tiene cobertura vegetal, la condición fenológica de la cobertura, etcétera. La banda del infrarrojo medio (1,6 μm) indica mayor reflectividad a la esperada para vegetación ideal, de donde se deduce que existe la posibilidad de bajo contenido hídrico en la vegetación.

Figura 3. Respuesta espectral de la vegetación. La línea punteada muestra el comportamiento de vegetación enferma respecto de la vegetación sana.



Fuente: Teledetección ambiental (Chuvieco, 2010).

3.6. Georreferenciación

Las coordenadas geográficas de la imagen están georreferenciadas utilizando el sistema geodésico mundial WGS 84 (World Geodetic System 1984), proyectado al sistema de coordenadas cartográficas

Universal Transversa de Mercator, UTM (Universal transverse Mercator) en la hoja 20, zone 20S. Código EPSG 32720 del European Petroleum Survey Group (IGN, 2017); permite relacionar la información del sistema de referencia con la proyección cartográfica y los datos de mapas interactivos. El sistema WGS 84 tiene su base en el elipsoide de referencia cuyo radio ecuatorial es de 6378137.0 m y el achatamiento en los polos es de $1/298.257223563$ m.

El sistema de coordenadas cartográficas UTM es una proyección cilíndrico-elíptico-envolvente, secante en el meridiano central, siendo éste representado con un factor de escala igual a 0.9996. La proyección está dividida en 60 husos de 6° de Longitud que se enumeran de Oeste a Este a partir de la faja 1 cuyo meridiano central es -177° . Los paralelos se dividen en 20 bandas de 8° de Latitud y de Sur a Norte. La primera banda identificada es con la letra C y pertenece al rango de -72° a -80° .

La georreferenciación se efectuó mediante el programa ENVI 4.7, a cada una de las cuatro bandas de la ventana que comprende el área urbana de la ciudad de Bahía Blanca. Fue realizada partir de puntos de control de campo sobre la base de la imagen con valores de reflectancia a nivel de suelo. Los puntos elegidos fueron seleccionados propiciando una distribución estratégica dentro de la imagen, a fin de que la abarcaran en su totalidad, que tuvieran una distribución homogénea y que fueran fácilmente localizables. Entre ellos se encuentra el Punto VBCA de la Estación Permanente de Monitoreo Satelital Continuo, situada en el área de Agrimensura de la Universidad Nacional del Sur y algunos otros puntos coincidentes con los límites de las fracciones censales.

Los puntos de control poseían coordenadas Gauss Krüger con Datum Campo Inchauspe 1969. Los Puntos Datum tienen entre sus características, que las coordenadas astronómicas y elipsóidicas son iguales y las rectas normales al elipsoide y al geoide son coincidentes. Este punto tiene su ubicación geográfica con Latitud Sur $35^\circ 58' 17''$ y Longitud Oeste $62^\circ 10' 12''$ en proximidades de la ciudad de Pehuajó de la provincia de Buenos Aires. Tanto el Sistema de proyección Gauss Krüger como este Datum tienen como elipsoide de referencia al Internacional 1924, cuyas dimensiones están dadas por el eje ecuatorial de 6.378.388 m y aplanamiento en los polos de $1/297$ m.

Esas coordenadas fueron transformadas al sistema de coordenadas geográficas WGS 84 UTM/zona 20S empleando la traslación del origen en los parámetros x , y , z ; resultan: $\Delta x = -148$ m, $\Delta y = 136$ m y $\Delta z = 90$ m. Esta transformación se realizó con el propósito de contar con un sistema de referencia global que facilitara su vinculación con otras aplicaciones compatibles con el programa QGIS que se utilizaría para el procesamiento de la imagen.

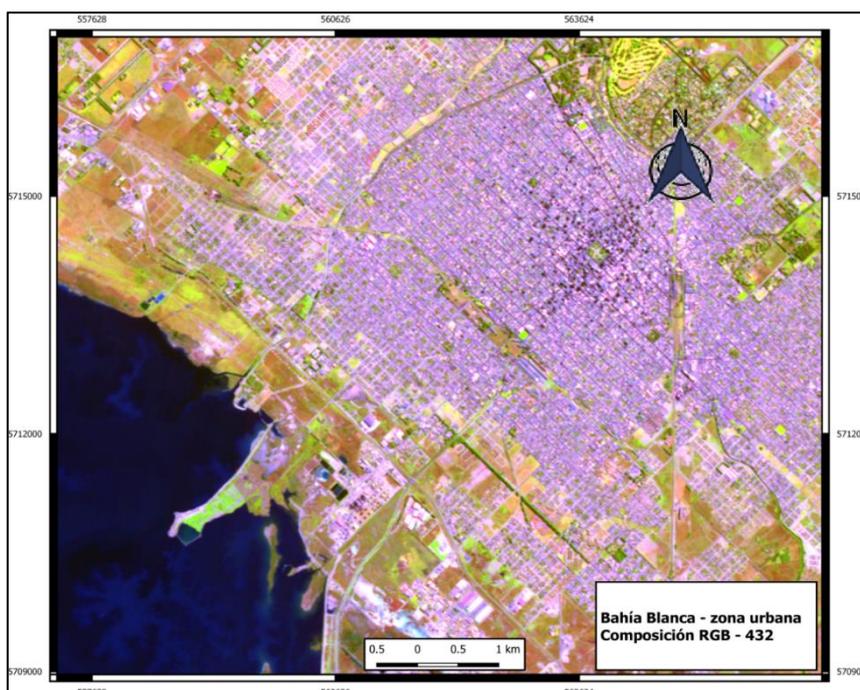
Posteriormente se relacionaron las coordenadas de la imagen con las de campo y se realizó a partir de la función de transformación lineal, pues es una zona sin variaciones altimétricas importantes. El ajuste está dado por la diferencia entre el valor de la coordenada de píxel obtenida y el de la coordenada verdadera de cada punto tratado. Sobre estos valores lineales puede calcularse el error medio cuadrático (Root Mean Squared, RMS). Ese valor de RMS permite evaluar la calidad del ajuste, que en este estudio resultó menor a 10 m y fue considerado aceptable.

Creada la nueva matriz, se completó con el trasvase de los ND de la imagen a esta nueva posición y se hizo por el método del vecino más próximo. Este método toma el valor del píxel que se localiza a mayor cercanía y es el método de remuestreo aconsejado para realizar clasificaciones posteriores pues no altera los valores de los ND originales.

En la finalización se contrastó y comprobó el resultado de la georreferenciación con las posiciones y coordenadas de los puntos reservados para ese fin.

3.7. Preparación de la imagen

Figura 4. Subescena de la imagen SPOT. Composición color.



Fuente: Fuente: elaboración propia mediante los programas ENVI y QGIS

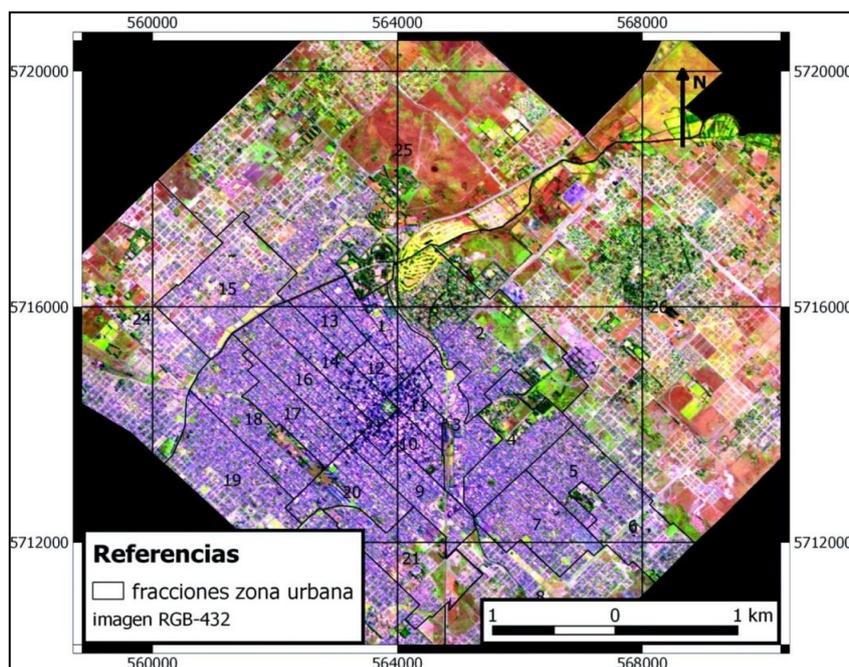
La primera tarea realizada con la imagen fue el ajuste de su tamaño y consistió en la confección de una subescena de ella restringiendo el resultado a la cobertura de la zona de estudio. Esta nueva imagen abarca, en cada una de sus cuatro bandas, toda el área urbana de la ciudad de Bahía Blanca. Luego se estableció que la imagen compuesta RGB, SWIR-NIR-red (432), era la apropiada para la interpretación visual de las diversas coberturas Figura 4, en particular aquellas con vegetación. El estudio y valorización de las distintas bandas de la imagen fue realizado con el programa ENVI y la confección de la cartografía fue desarrollada recurriendo al uso de herramientas del programa Q-GIS.

3.8. Datos censales

Los datos a nivel de fracción surgidos del Censo Nacional del año 2010 fueron provistos por el INDEC. Junto a la información extraída de la imagen satelital y a los datos censales, se utilizó el archivo vectorial que delimita las fracciones censales y en conjunto con los anteriores permitieron el desarrollo del trabajo mediante el empleo de las herramientas propias del sistema de información geográfica.

Sobre la base de la subescena de Bahía Blanca se realizó la superposición de la capa vectorial que representa a las fracciones censales. Posteriormente se aplicó una máscara con el objetivo de obtener aislada el área urbana de la ciudad Figura 5, a través de la herramienta *Dissolve* de QGIS.

Figura 5. Área urbana con la aplicación de una máscara y la superposición vectorial de las fracciones censales.



Fuente: elaboración propia mediante el programa QGIS

3.9. Clasificación

La aplicación de técnicas de teledetección permite varias formas de clasificar una imagen satelital. Con el propósito de mostrar y comparar resultados se hizo uso de estas posibilidades. En el inicio del proceso de clasificación, se decidió realizar una clasificación no supervisada; luego, una supervisada y posteriormente se evaluó una nueva imagen obtenida a través del empleo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

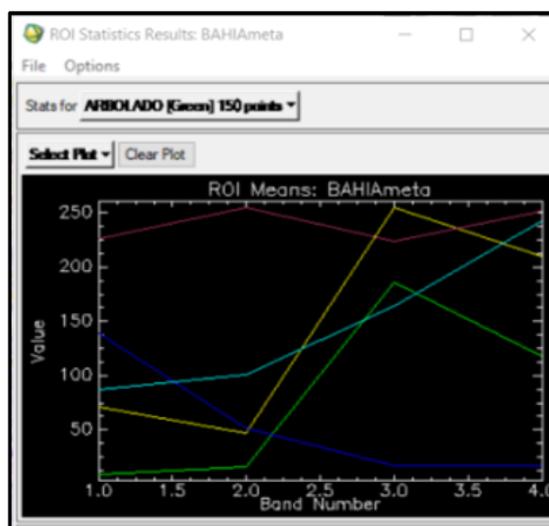
La clasificación no supervisada se realizó por el método Medias K (K-Means) y se obtuvieron 25 conjuntos o clases que agrupaban píxeles según su nivel de gris y que en esta imagen son valores de reflectancia. Es fundamental señalar que esas clases obtenidas corresponden a respuestas de valores físicos de la imagen, y no siempre a iguales componentes de la superficie señalada. Fue por ello y haciendo uso del conocimiento de toda el área urbana, que se logró reagrupar las clases anteriores y formar grupos representativos de las regiones buscadas, principalmente los variados espacios verdes que sirvieron para la toma de muestras de la clasificación supervisada.

3.9.1. Clasificación supervisada

En otra instancia, se buscó analizar los resultados de una clasificación supervisada. Con objeto de seleccionar las bandas que se utilizarían en esta clasificación se elaboró un diagrama de firmas espectrales Figura 6, para todas las coberturas. Las bandas seleccionadas para componer la imagen

que más facilitarían seleccionar las muestras de las distintas categorías y que servirían para obtener una mejor discriminación en la cubierta de arbolado fueron las bandas B3 y B4. Estas bandas fueron de notable importancia en la determinación de los sitios de entrenamiento, los que luego permitirían lograr una muy buena discriminación de las coberturas.

Figura 6. Diagrama de firmas espectrales.



Fuente: elaboración propia mediante el programa ENVI.

Durante la fase de entrenamiento, se identificaron las áreas de igual o similar respuesta espectral asistida mediante la aplicación de elementos de fotointerpretación como tono, color, textura y patrón que respondieran a las respuestas buscadas. También en esta etapa el conocimiento de la región fue relevante, resultó de gran ayuda en la localización de las áreas que más representaban a cada categoría; fueron definidas en regiones donde su visualización fuera de máxima homogeneidad y aceptando la variabilidad que indican los píxeles con su presencia en la imagen.

Cabe destacar que la más exhaustiva elección de las áreas se realizó con los espacios verdes, por ser éstos el motivo de estudio; los criterios de fotointerpretación fueron sustanciales en el momento de la observación visual y permitieron analizar el contraste espacial bien diferenciado entre las zonas de bosque, las de arbolado medio y las zonas de pastos.

Las categorías seleccionadas fueron:

- edificado
- suelo desnudo
- verde bajo
- verde medio
- verdes altos
- agua
- pavimento

La etapa de asignación de todos los píxeles de la imagen a las distintas categorías, se efectuó usando el método de Máxima Probabilidad donde el análisis de correspondencia de cada píxel se realiza a partir de funciones de probabilidad: se determina la máxima probabilidad para cada píxel de pertenecer a una clase. Sus algoritmos distribuyen los niveles digitales a partir de la media y de la desviación típica en cada categoría.

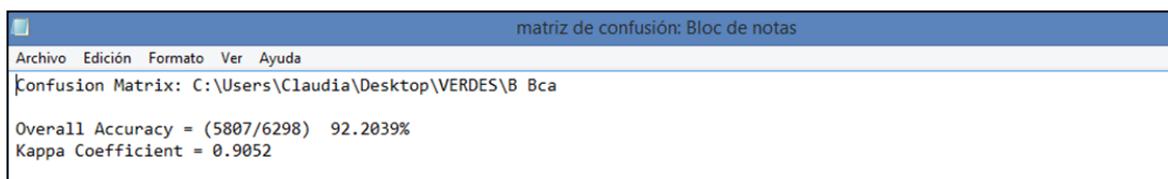
Durante su evaluación e interpretación visual se encontró en esta imagen una clara concordancia con los aspectos conocidos a nivel de campo. Permitió que se diferenciases correctamente tanto el arbolado, como las zonas de verdes bajos; en cambio, existen en la imagen algunos espacios de suelo natural representados con el mismo color que los mostrados por el suelo con construcciones, aunque esta situación no fue destacable pues estas categorías no son el motivo de estudio y además su patrón, tono y textura son diferentes.

3.9.2. Comprobación de los Resultados - Matriz de Confusión

A efectos de lograr una revisión rigurosa de los resultados obtenidos en la clasificación, fueron reservadas previamente muestras de distintas regiones de la imagen compuesta con la finalidad de realizar la evaluación de esos resultados conforme a su comparación.

La post-clasificación, recurriendo a esas selecciones, posibilitó testear las regiones clasificadas a través de la elaboración de una matriz de confusión Figura 7. Esta matriz permite la evaluación del rendimiento del algoritmo aplicado en la clasificación, realizando un conteo de errores y aciertos de las zonas que fueron clasificadas respecto de las reservadas y consideradas ubicaciones verdaderas. Los resultados de esa evaluación son la Fiabilidad Global (*Overall Accuracy*) y el Índice Kappa.

Figura 7. Matriz de Confusión: Fiabilidad Global e Índice Kappa.



Fuente: captura de pantalla del programa ENVI.

En la captura de la Figura 22 se observa la Fiabilidad Global o Proporción de Acuerdos Observados (Po) de la clasificación completa es del 92,20%. Esta es la relación entre las predicciones verdaderas dadas por el algoritmo y el total de las predicciones.

Si bien los resultados de Fiabilidad Global e Índice Kappa están calculados también por algoritmos propios del software, se creyó conveniente hallar estos índices analíticamente con el objetivo de aplicar técnicas estadísticas relacionadas con la evaluación de los resultados de la clasificación.

3.9.2.1. Fiabilidad Global - (Po)

$$Po = \frac{\text{traza de la matriz}}{\text{total de píxeles de la muestra}}$$

$$P_o = \frac{580 + 1020 + 1189 + 1247 + 1131 + 473 + 167}{6298}$$

$$P_o = 0.9220387424579232$$

Obtenida la Fiabilidad global, se consideró propicio obtener otros resultados estadísticos a fin de concluir con la determinación de la Fiabilidad Real de la clasificación.

2.9.2.2. Proporción de Acuerdos por Azar (Pe)

La proporción de acuerdos esperados en la hipótesis de acuerdos por azar (Pe) se define:

$$P_e = \frac{\text{suma de los productos entre los píxeles seleccionados en cada categoría y los clasificados}}{\text{cuadrado del total de píxeles}}$$

$$P_e = \frac{598 * 617 + 1028 * 1041 + 1455 * 1361 + 1247 * 247 + 1320 * 1369 + 482 * 476 + 168 * 187}{6298^2}$$

$$P_e = 0.1775454632272984$$

3.9.2.3. Error Proporcional Total – (Ept)

El Error Proporcional Total es el complemento a 1 de la Fiabilidad Global:

$$E_{pt} = 1 - 0.9220387424579232$$

$$E_{pt} = 0.077612575420768$$

2.8.2.4. Error Estándar del Muestreo – (ES)

$$ES = \sqrt{\frac{\text{fiabilidad global\%} * \text{error proporcional total\%}}{\text{total de píxeles de la muestra}}}$$

$$ES = \sqrt{\frac{92,20387424579232 * 7,7612575420768}{6298}}$$

$$ES = 0.34$$

3.9.2.5. Fiabilidad Real (FR)

$$FR = \text{fiabilidad global\%} \pm (1,96 * \text{error estándar})$$

El intervalo de confianza indica que el valor poblacional se encuentra en un determinado rango de valores. A un intervalo de confianza de un 95% de certeza le corresponde el estadístico $z = 1,96$. El estadístico z describe la posición de una observación relativa a la media en unidades de desviación estándar.

$$FR = 92,2 \pm (1,96 * 0,34)$$

$$FR = 92,2 \pm 0,67$$

La Fiabilidad Real de la Clasificación se encuentra entre: 91,53 y 92,87%

3.9.2.6. Índice Kappa – (K)

El índice Kappa fue enunciado por Cohen (1960) y está presente en el informe de la matriz de confusión: $K=0,91$; este índice da la concordancia entre dos observadores donde resulta máxima en $K=1$.

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

En este cálculo resultó:

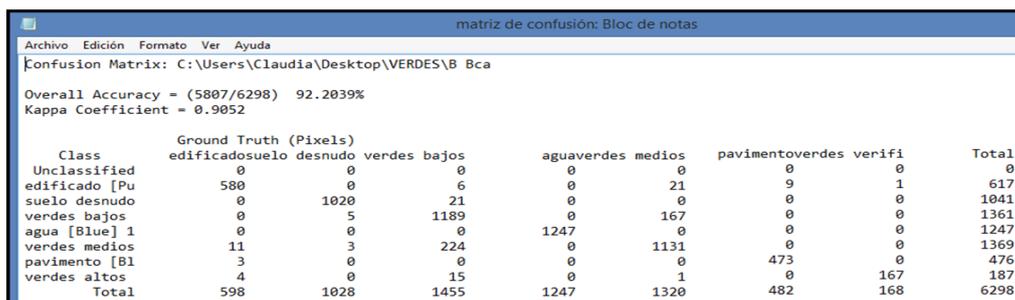
$$K = \frac{0,922039 - 0,1775454632272984}{1 - 0,1775454632272984}$$

$$K = 0,9052093501655207$$

El índice Kappa obtenido analíticamente e informado en la matriz de confusión, indica que existe un acuerdo alto, aproximadamente de un 90% del máximo acuerdo posible que corresponde al 100%; y un 10% del supuesto por azar.

El análisis del resto de la información de la matriz de confusión Figura 8, detallado a continuación muestra la relación entre las distintas categorías.

Figura 8. Matriz de confusión entre las muestras seleccionadas y la adjudicación a las distintas categorías.



Class	Ground Truth (Pixels)							Total
	edificados	suelo desnudo	verdes bajos	aguaverdes medios	pavimento	verdes verifi		
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0
edificado [Pu]	580	0	6	0	21	9	1	617
suelo desnudo	0	1020	21	0	0	0	0	1041
verdes bajos	0	5	1189	0	167	0	0	1361
agua [Blue] 1	0	0	0	1247	0	0	0	1247
verdes medios	11	3	224	0	1131	0	0	1369
pavimento [Bl]	3	0	0	0	0	473	0	476
verdes altos	4	0	15	0	1	0	167	187
Total	598	1028	1455	1247	1320	482	168	6298

Fuente: captura de pantalla del programa ENVI.

Cada fila de la matriz representa los puntos de las clases de referencia que les fueron adjudicados en la clasificación; cada columna, está constituida por la totalidad de los puntos de cada clase de referencia e indica la cantidad que fueron asignados a cada clase durante el proceso de clasificación. La diagonal principal o traza de la matriz expresa la cantidad de píxeles donde se produce acuerdo entre la clase de referencia y la clase en la que fueron ubicados luego de la clasificación.

La lectura de la matriz de confusión permite deducir que del total de los píxeles clasificados en la imagen como verdes altos (187), 20 fueron por comisión, esto es agregados a esta categoría cuando en realidad pertenecen a otras clases (4 corresponden a edificado, 15 a verdes bajos y 1 a verdes medios); asimismo, 1 de los 168 se omitió lo que inferiría una deficiencia en la toma de la muestra (fue clasificado como edificado).

Figura 9. Errores de omisión y de comisión.

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
edificado [Pu]	6.00	3.01	37/617	18/598
suelo desnudo	2.02	0.78	21/1041	8/1028
verdes bajos	12.64	18.28	172/1361	266/1455
agua [Blue] 1	0.00	0.00	0/1247	0/1247
verdes medios	17.38	14.32	238/1369	189/1320
pavimento [Bl]	0.63	1.87	3/476	9/482
verdes altos	10.70	0.60	20/187	1/168

Fuente: captura de pantalla del programa ENVI.

La Figura 9 exhibe el detalle de los píxeles y porcentajes de los errores de comisión y de omisión. Del total de los píxeles clasificados en la imagen como verdes altos, fueron clasificados:

- 20 píxeles por comisión y representan el 10,70% (20/187). Son los píxeles que, según los valores de referencia, fueron asignados durante la clasificación al grupo verdes altos.
- el píxel omitido de los 168 es el 0,6% de la muestra (1/168). Este píxel debería haber sido asignado a verdes altos.

Figura 10. Exactitud de productor y de usuario.

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
edificado [Pu]	96.99	94.00	580/598	580/617
suelo desnudo	99.22	97.98	1020/1028	1020/1041
verdes bajos	81.72	87.36	1189/1455	1189/1361
agua [Blue] 1	100.00	100.00	1247/1247	1247/1247
verdes medios	85.68	82.62	1131/1320	1131/1369
pavimento [Bl]	98.13	99.37	473/482	473/476
verdes altos	99.40	89.30	167/168	167/187

Fuente: captura de pantalla del programa ENVI.

La exactitud de la muestra o exactitud del productor en la Figura 10, es el porcentaje de píxeles que fueron correctamente clasificados, el 99,4% (167x100:168). La exactitud de los píxeles clasificados o exactitud del usuario es el porcentaje de los píxeles que fueron bien clasificados en relación al total de los clasificados en la categoría resultando el 89,3% (167x100:187).

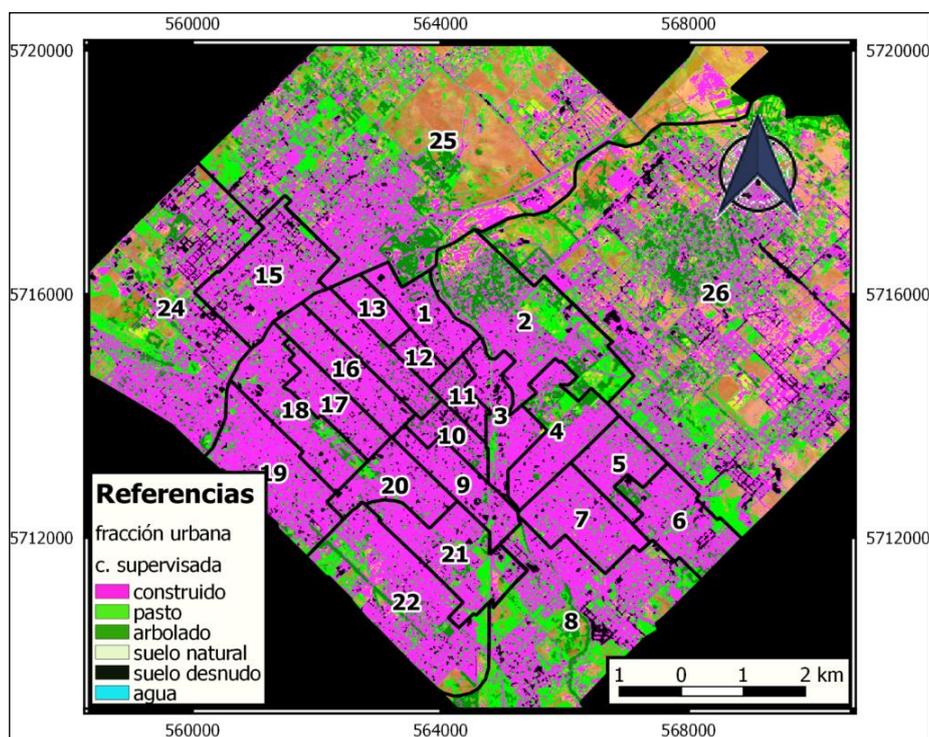
El posterior control de campo y el conocimiento de la región permitieron corroborar los resultados obtenidos en la clasificación supervisada. Sobre esta importante base fueron definidas según se muestran en la Tabla 4, las referencias a utilizar en la cartografía Figura 11, para lo cual se definieron:

Tabla 4. Conversión de la designación de las áreas de entrenamiento para las referencias cartográficas.

Áreas de entrenamiento	Referencias cartográficas
verdes altos	arbolado
verde medio	pasto
verde bajo	suelo natural
suelo desnudo	suelo desnudo
edificado	construido
pavimento	construido
agua	agua

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Imagen clasificada con la superposición de la capa vectorial de fracciones censales urbanas.



Fuente: elaboración propia mediante el programa QGIS.

3.10. Aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica

Si bien la ciudad de Bahía Blanca posee variados espacios verdes y lugares de esparcimiento, es también motivo de este trabajo final conocer y analizar las relaciones existentes entre las superficies ocupadas por esos espacios con su distribución respecto de los grupos poblacionales utilizando técnicas de teledetección y SIG. El estudio se realizó a partir de los datos de población, de la imagen clasificada y de la capa vectorial de las fracciones censales urbanas.

3.10.1. Índice Verde Urbano (IVU)

El índice verde urbano calculado con relación a la población que reside en el área de una fracción censal, permite valorar si la localización del arbolado es homogénea en toda la ciudad o si cuenta con sectores, en este caso las fracciones, con marcadas diferencias respecto del rango sugerido.

$$IVU = \frac{\text{superficie arbolada}}{\text{población}}$$

La aplicación de herramientas del sistema de información geográfica permitió hallar el IVU correspondiente a cada fracción Tabla 5. En la primera etapa se calculó el arbolado existente en cada una de las fracciones expresado en metros cuadrados; luego, el índice verde urbano para cada una de esas áreas:

Tabla 5. Valores de Índice Verde Urbano para cada fracción censal.

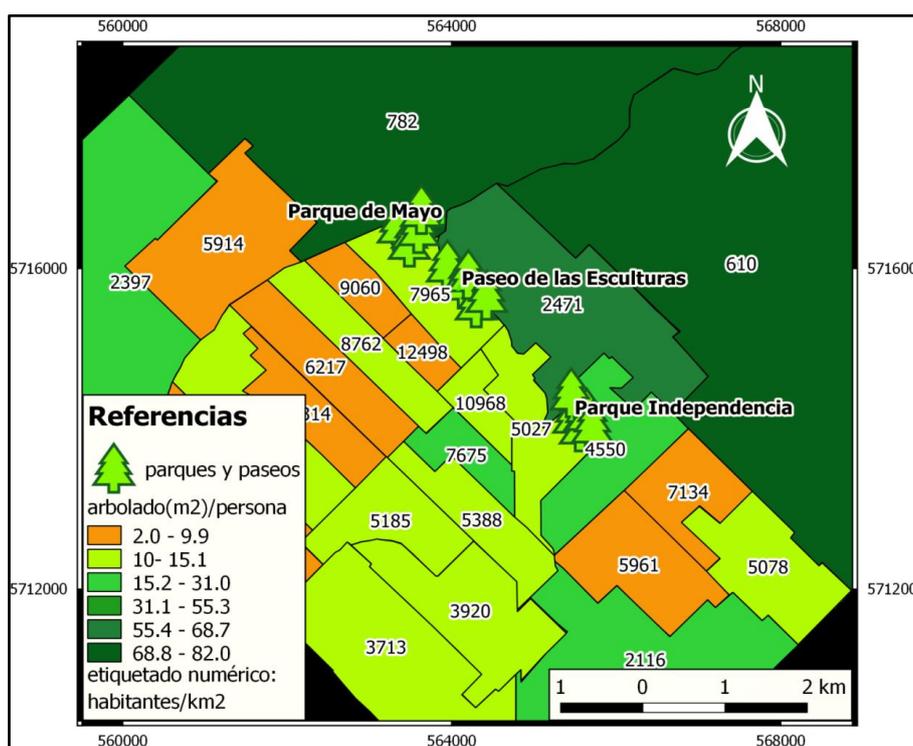
fracción censal	habitantes	arbolado (m ²)	IVU
fr1	10083	111700	11.08
fr2	10643	625600	58.78
fr3	7167	87300	12.18
fr4	8762	193800	22.12
fr5	8495	46200	5.44
fr6	9119	118500	12.99
fr7	10748	41900	3.90
fr8	17124	380800	22.24
fr9	6797	69800	10.27
fr10	5414	114000	21.06
fr11	6235	96000	15.40
fr12	4988	41800	8.38
fr13	5773	27700	4.80
fr14	11114	138100	12.43
fr15	15861	26400	1.66
fr16	8984	79300	8.83
fr17	7114	54600	7.68
fr18	8637	131700	15.25
fr19	16361	86600	5.29
fr20	7218	102400	14.19
fr21	8677	85200	9.82
fr22	15634	211200	13.51
fr24	21150	341300	16.14
fr25	18175	1357100	74.67
fr26	19350	1589800	82.16

Fuente: elaboración propia.

Los valores del IVU ubicados en la columna de la Tabla 5, ofrecen la posibilidad de obtener una idea generalizada del índice verde en la ciudad, pero no es sencillo establecer en qué sectores se localizan los mejores índices o si poseen una distribución homogénea.

Los SIG permiten observar expresamente los resultados obtenidos a través de su incorporación a un mapa Figura 12. En este último se destaca el IVU correspondiente a cada una de las fracciones censales mediante una graduación de color. Los tonos verdes en sus distintas intensidades indican valores aceptados del índice, a partir de 10 m²/persona.

Figura 12. Escala de colores en los índices de arbolado para cada fracción. Fracciones y etiquetado de densidad de población.



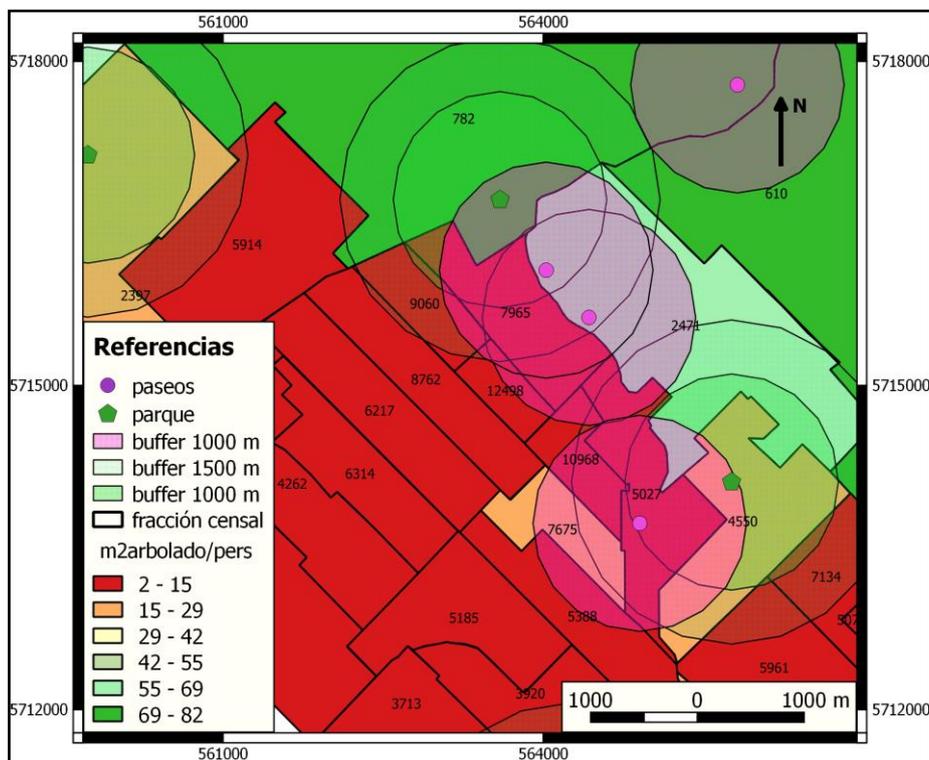
Fuente: elaboración propia mediante el programa QGIS

Con la intención de brindar más información, se incorporó el etiquetado de cada fracción con su densidad de habitantes y se destacaron las zonas de parques y paseos: Parque de Mayo, el más importante de la ciudad con frondosa arboleda, se extiende en la prolongación del arroyo Napostá con el Paseo del Arroyo y luego hacia el sudeste se convierte en el Paseo de las Esculturas. Este paseo se construyó sobre el entubado del arroyo y su traza atraviesa la mayor parte del área urbana. También se destacó el Parque Independencia que hasta hace pocos años fue el zoológico de la ciudad. Es un espacio de masiva concurrencia los fines de semana, aunque en la actualidad, posee un área restringida en su uso para muchos de los habitantes pues está destinada a otros fines.

Cabe recordar que la OMS promueve el IVU a partir de 15 m²/persona si bien aceptan un mínimo entre 10 y 15 m²/persona. Con el conocimiento de que la ciudad cuenta con un polo petroquímico de

gran envergadura emplazado a escasa distancia del espacio urbano, y que es cuestionada su influencia sobre la salud de la población, se decidió confeccionar un mapa Figura 13, donde se reflejan en conjunto, todos los índices menores a 15 m²/persona.

Figura 13. Fracciones censales con tonalidades de IVU y etiquetado de densidad de población. Buffers con centros en parques y paseos.



Fuente: elaboración propia mediante el programa QGIS

En esa presentación cartográfica se limitó toda esa superficie a un solo tono de graduación (rojo) y esto permite observar de manera rápida y sin dudas que la mayoría de la ciudad no alcanza el índice recomendado. Asimismo, a los efectos de representar la accesibilidad a los parques se aplicó la herramienta buffer. Es una herramienta del SIG que posibilita limitar la zona circundante a un elemento vectorial. En este caso se utilizaron puntos donde la aplicación de buffers contribuye a la interpretación visual de coberturas dentro del radio y distancias a ciertas fracciones censales.

Los buffers fueron centrados en los parques y paseos. Sirvieron para identificar que las áreas próximas a esos espacios verdes son las únicas que superan el índice verde recomendado por la OMS y que la población de las áreas que no lo alcanzaron, se encuentra en la mayoría de las situaciones a más de 1.500 m de distancia.

3.9.2. Accesibilidad a los parques

Fue analizada la ubicación de los parques principales de la ciudad con respecto a la distribución espacial de las fracciones censales. La interpretación visual del resultado manifiesta a través de los

buffers, la considerable distancia que existe desde las fracciones con más población hasta esos parques.

4. Resultados

El análisis de varias imágenes procedentes de distintos satélites, culminó en la elección de la imagen SPOT 5 de fecha 22 de septiembre de 2012 debido a su resolución espacial y a su nitidez visual pues estaba libre de nubes. En el marco de la utilización de Técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicadas al estudio del Medio Ambiente, se realizó al principio la transformación de los valores de nivel digital a valores de reflectancia a nivel de suelo. Los alcanzados en cada etapa de la corrección radiométrica de la imagen, expresan la variación en sus resultados, producto de las transformaciones durante la trayectoria de las energías reflejada y la captada por el sensor.

La imagen ráster en cada una de sus bandas y la imagen vectorial de las fracciones censales fueron georreferenciadas a WGS 84 UTM/zone 20S EPSG 32720 a fin de su compatibilización con la información que se extraería desde QGIS-WEB.

La clasificación supervisada fue realizada por el método de Máxima Probabilidad y muestra con nitidez las diversas coberturas de la imagen. La evaluación de su respuesta, a través de la Matriz de Confusión, aportó un resultado confiable: el índice de concordancia Kappa arrojó el valor 0,91 y la precisión general fue del 92,20%. Posteriormente se halló la fiabilidad real de la clasificación que se sitúa entre 91,53 y 92,87%. Esta imagen posibilitó la interpretación visual de las coberturas y su comparación con las existentes en el terreno.

El siguiente objetivo era hallar el Índice Verde Urbano acotado a cada fracción censal. En las imágenes procesadas se observa nítidamente que la mayor superficie destinada a espacios verdes se encuentra ubicada en la zona norte de la ciudad. En ese espacio se emplazan un paseo y un parque públicos siendo éstos, dos espacios tradicionales de encuentro de la población. El cálculo del IVU para las 25 fracciones muestra sus variados resultados en la Tabla 6.

Fue considerado relevante para este trabajo evaluar el índice mínimo de 15 m²/habitante debido a que Bahía Blanca es una ciudad con mucho tránsito vehicular y con la localización de grandes empresas industriales. Este análisis reporta un IVU superior a 15 m²/habitante en 9 fracciones que en conjunto comprenden el 36 % de las fracciones censales. Es importante destacar que algunas de estas fracciones poseen una superficie mayor a las restantes y con menor cantidad de pobladores, y tratados estos elementos en una relación matemática, arrojan valores altos de IVU. Asimismo, entre las fracciones con alto IVU se hallan dos barrios parque con una antigüedad importante manifestada por la amplia extensión de cada uno y por sus frondosas arboledas.

Tabla 6: Orden creciente del Índice Verde Urbano por fracciones.

orden	fracción censal	IVU ascendente
1	fr15	1.66
2	Fr7	3.90
3	fr13	4.80
4	fr19	5.29
5	fr5	5.44
6	fr17	7.68
7	fr12	8.38
8	fr16	8.83
9	fr21	9.82
10	fr9	10.27
11	fr1	11.08
12	fr3	12.18
13	fr14	12.43
14	fr6	12.99
15	fr22	13.51
16	fr20	14.19
17	fr18	15.25
18	fr11	15.40
19	fr24	16.14
20	fr10	21.06
21	fr4	22.12
22	fr8	22.24
23	fr2	58.78
24	fr25	74.67
25	fr26	82.16

Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

La imagen seleccionada y la composición color impuesta facilitaron el reconocimiento y clasificación de distintas coberturas del suelo en la ciudad de Bahía Blanca. El desarrollo de este trabajo mediante la aplicación de técnicas de teledetección y las herramientas proporcionadas por el GIS y la posterior muestra de resultados a través de cartografía apropiada, brindan información de la relación que existe entre los espacios verdes urbanos y los grupos poblaciones a nivel de fracción censal. Si bien es de rigurosa importancia la información de los valores obtenidos, la posibilidad de que la interpretación visual de la cartografía sea comprensiva y clara para profesionales expertos y/o interesados en esta temática también es propicio hacerla extensiva a gran parte de la comunidad, no sólo para su conocimiento sino más relevante aún, para su concientización en valores ambientales. En otro aspecto, la imagen de trabajo refleja valores de reflectancia a nivel de suelo y esto hace que

sus respuestas pueden ser comparables a futuro con imágenes captadas por otros sensores o para la realización de estudios multitemporales.

El acceso al conocimiento del Índice Verde Urbano, permitió establecer cuáles son las áreas de la ciudad donde la población habita en espacios que cumplen con los IVU deseables y principalmente identificar el 64% de las fracciones censales que no cuentan con un índice favorable.

Este estudio de la situación de los espacios verdes en la ciudad de Bahía Blanca pretende ser una contribución para fomentar el mantenimiento de los valores ambientales y para una planificación y gestión municipales tendientes a alcanzar la recuperación e incorporación de nuevas áreas verdes que contribuyan a modificar los índices y/o distancias en las zonas donde estos valores no pertenezcan a los rangos establecidos.

Referencias bibliográficas

- Argimon de Vilardaga, X. (2020). Informe técnico sobre la necesidad de declaración de las tareas básicas de Mantenimiento de los Espacios Verdes públicos y privados como Servicios Esenciales durante la vigencia del decreto de alarma por el covid-19 y Decretos-Ley y órdenes subsiguientes. Ilustre Colegio de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Forestales de Catalunya. Catalunya, España.
- Baxendale, C. y Buzai, G. (2019). Modelos urbanos e infraestructura verde en ciudades de América Latina. Análisis en la ciudad de Buenos Aires, Argentina, *Huellas XXIII(2)*, 88-94.
- Benedetti, G. y Campo de Ferreras, A. (2007). Arbolado de alineación: El mapa verde de un Barrio de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Papeles de Geografía*. Murcia, XLV 27-38.
- Buzai, G. (2008). Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cartografía temática: métodos y técnicas para el trabajo en el aula. Buenos Aires, Argentina, Lugar Editorial S. A.
- Chavez Jr, P. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, LXII(9), 1025-1036.
- Chuvienco, E. (2010). Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona, España, (p. 590). Editorial Ariel.
- Gobierno Abierto Bahía Blanca. Arbolado Urbano y Espacios Públicos del Área de Gobierno del Municipio de Bahía Blanca (2019). <https://www.bahia.gob.ar/arbollado/>.
- Gómez Gonzalez, E. (2006). *Guía Básica de conceptos de Radiometría y Fotometría*. ESI-Universidad de Sevilla.
- INDEC, 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina, Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, Argentina.
- Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo N° 8912, de 24 de octubre de 1977. Boletín Oficial N° 18639, de 28 de octubre 1977. La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Richards, J. y Jia, X. (2013). Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Springer. Berlín.

- Rosake, P. y Ercolani, P. (2012). Los espacios de ocio de Bahía Blanca: preferencias de la población en relación al uso de su tiempo libre. *Realidad, tendencias y desafíos en Turismo*. XII(10), 94-115. <http://www.repotur.gob.ar/bitstream/handle/123456789/358/Rosake%20y%20Ercolani.pdf?sequence=1>
- Rubio, M. y Santarelli, S. (2005). Imagen y significado del espacio urbano en los adolescentes de la ciudad de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, XIV(2), 43-60.
- Tella, G. y Potocko, A. (2009). Los espacios verdes públicos. Una delicada articulación entre demanda y posibilidades efectivas, *Mercado y Empresas para Servicios Públicos*, I (55), 40-55.



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.