

DETECCIÓN DE BASURALES ILEGALES, RELLENOS
SANITARIOS, EX BASURALES, TOSQUERAS Y CHATARRERAS
EN EL GRAN BUENOS AIRES, MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Por Lic. Mariela Lorena Miño

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física
y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich
como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

**MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y
RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Octubre, 2012

©IG - CONAE/UNC 2012

© FaMAF - UNC 2012

Directora: Dra. María Mercedes Salvia
Co director: Dr. Marcelo Scavuzzo

Resumen

Los sitios contaminados como los basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías actualmente constituyen uno de los principales problemas ambientales del Gran Buenos Aires (GBA), debido a los lixiviados generados por los residuos que contaminan los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, además de la decapitación del suelo por extracción de tosca. Estos efectos se potencian dado que muchos de estos sitios se encuentran en áreas inundables y/o anegables, las cuales con las inundaciones se convierten en posibles reservorios de vectores de enfermedades.

Asimismo, la información sobre estos sitios se presenta en forma dispersa, desactualizada y no se conoce la magnitud del problema. Por todo lo anterior, se analizaron y evaluaron diferentes metodologías de detección de sitios contaminados seleccionando aquellos que mejor ajustaron a las condiciones ambientales del GBA, durante el periodo 2001 a 2011.

El estudio se realizó mediante relevamiento de campo, recopilación bibliográfica, datos socio ambientales y uso de herramientas de teledetección, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y estadística. En cuanto al uso imágenes satelitales se utilizaron ópticas y térmicas (DigitalGlobe del Google Earth, Landsat 5TM y ASTER) e imágenes de Radares de Apertura Sintética -SAR (COSMO-SkyMed en banda X y ERS-2 en banda C). Estas últimas son de uso reciente para los sitios contaminados encontrándose una oportunidad para la exploración en banda X con diferentes polarizaciones como COSMO-SkyMed, pertenecientes al Sistema Ítalo - Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias (SIASGE) de cooperación entre Argentina e Italia a través de sus ministerios de Relaciones Exteriores y sus agencias espaciales, la CONAE y la Agenzia Spaziale Italiana.

Como resultado se obtuvo un inventario de sitios contaminados urbanos y cartografía temática. Siendo beneficiario directo de este trabajo el Programa Nacional para la Gestión Ambiental de Sitios Contaminados de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Palabras claves: sitios contaminados, basurales, ex basurales, chatarrerías, tosqueras, rellenos sanitarios, Teledetección, SIG, COSMO-SkyMed, Banda X, Sistema Radar, Landsat 5, Google Earth

Abstract

Illegal dumps, landfills, quarry and scrapyard are an example of contaminated sites that nowadays constitute one of the main environmental problems in Greater Buenos Aires, due to the waste leachate generated that contaminate soil, surface water and groundwater, in addition to the soil decapitation to remove "tosca". These effects are heightened since many of these sites are in flooding risk areas hence they become potential reservoirs of vector transmitted diseases.

Any information on these sites is presented in a scattered, outdated manner and the magnitude of the problem is relatively unknown. For all the above, different methods of detection of contaminated sites were analyzed and evaluated by selecting those that best fit the Greater Buenos Aires environmental conditions, during the period 2001 to 2011.

The study was conducted by field work, bibliographic compilation, social and environmental data and the use of remote sensing, GIS and statistics tools. Satellite images were used in the optical and thermal range (DigitalGlobe of Google Earth, Landsat 5TM and ASTER) as well as images of Synthetic Aperture Radar, SAR (COSMO-SkyMed X-band and ERS-2 C-band). The latter have been recently used to study contaminated sites revealing an opportunity to explore X-band with different polarizations as COSMO-SkyMed, belonging to the Italian Argentine Satellite System for Emergency Management (SIASGE) cooperation between Argentina and Italy through their foreign ministries and space agencies, the Agenzia Spaziale and CONAE.

The result was an inventory of sites contaminated urban and thematic mapping, having as a direct beneficiary of this work, the National Programme for Environmental Management of Contaminated Sites of the Ministry of Environment and Sustainable Development of the Nation.

Keywords: contaminated sites, illegal dumps, landfills, quarry, Remote Sensing, GIS, COSMO-SkyMed, Banda X, Radar System, Landsat 5, Google Earth

Agradecimientos

En primer lugar a las autoridades de CONAE-ASI por otorgarme la beca de maestría, que me permitió tener otro punto de vista para investigar los sitios contaminados urbanos.

A mis directores Mercedes Salvia y Marcelo Scavuzzo, por el compromiso y la paciencia.

A Mercedes Salvia nuevamente, Haydee Karszenbaum, Pablo Perna, Marysol Sapoznik y al resto del grupo del IAFE, por darme su tiempo y espacio para trabajar y aprender.

A Gianfranco Pandiscia de Telezpasio en Matera, por compartir su experiencia en el monitoreo de los basurales y canteras italianas. A Gabriel Platzack, Anabel Amaro, Lucas Bruno y Gastón González Kriegel de CoNAE, Ricardo Pallota del PROSICO -SAyDS y Leo Fernández de la UNGS; por ayudarme en la adquisición de la información.

A mis profes de Ecología Urbana de la UNGS: Griselda Alsina, Francisco Suárez y Daniel Cassano, por involucrarme con los basurales, tosqueras y chatarrerías.

A la memoria de Elena Chiozza, por recomendarme para esta beca e incentivar a este espíritu inquieto a conocer otras costumbres, ecosistemas e idiomas.

A mi gente por superar las distancias y horarios durante 2 años:

- Sil, Marcela R, Patricia, Omar, Georg, Ivy, Ale, Sergio, Zulma, Pancho y Leo, en Buenos Aires.
- Marina, Diego, Gonza, Pablo, Pao GT, Pao C., Yayi y Mónica - Luís Compagnucci, en Córdoba.
- Lucy, Eustachio, Angelo, Andrea, Sara, Fabrizio, Mavia, Angela, Paola, Domenico, Giacomo y Vale, en Matera.

A todo aquellos que me estoy olvidando pero que también participaron.

A los proveedores de las imágenes satelitales: CONAE, ASI, USGS, INPE y al programa Google Earth.

Y de antemano agradezco a aquellos que quieran hacer sugerencias y aportes, es mi deseo mejorar y poder dedicarme 100% a la detección y monitoreo de mis sitios contaminados.

marielmino@gmail.com
marielamino@gmail.com

Tesis defendida el 27 de abril de 2012 en el de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, Centro Espacial Teófilo Tabanera de Falda del Carmen - Córdoba, CONAE – UNC.

Índice

Introducción	5
Objetivos y desarrollo de la tesis	6
Capítulo I. Antecedentes	7
I.1. Sitios contaminados y potencialmente contaminados	7
I.2. Antecedentes de la investigación	9
I.3. Caracterización del área de estudio: Gran Buenos Aires	12
Capítulo II. Marco conceptual: óptico, térmico y SAR	14
II.1. Fundamentos físicos de la teledetección	14
II.2. Tipos de sensores.....	16
II.3. Preprocesamiento.....	20
Capítulo III. Marco metodológico con imágenes ópticas y térmicas.....	22
III.1. Primera etapa de trabajo.....	22
III.2. Segunda etapa: SIG	24
III.3. Tercera etapa: teledetección	30
III.3.1. Adquisición de imágenes	30
III.3.2. Preprocesamiento de imágenes ópticas	31
III.3.3. Preprocesamiento de imágenes térmicas	33
III.4. Procesamiento.....	34
III.4.1. Análisis visual sobre las imágenes satelitales	35
III.4.2. Firma espectral.....	35
III.4.3. Índices	36
III.4.4. Clasificación supervisada y no supervisada.....	36
III.4.5. Tasseled Cap	37
III.4.6. Series multitemporales.....	37
III.4.7. Análisis de Componentes Principales (ACP).....	38
III.4.8. Análisis espacial con Regresión Logística Binaria (RLB).....	38
Capítulo IV. Resultados de las imágenes ópticas y térmicas	41
IV.1. Análisis visual	41
IV.2. Firmas espectrales	60
IV.3. Máscaras	65
IV.4. Índices NDVI, CEDEX y NDWI	67
IV.5. Tasseled Cap	70
IV.6. Clasificación supervisada y no supervisada.....	73
IV.7. Series multitemporales de NDVI y temperatura	76
IV.8. Temperatura con imágenes ASTER.....	83
IV.9. Regresión logística binaria.....	87
Capítulo V. Análisis exploratorio con Imágenes SAR en banda X y C.....	90
V.1. Adquisición de imágenes	90
V.1.1. COSMO-SkyMed	90
V.1.2. ERS-2.....	91
V.2. Preprocesamiento.....	92
V.2.1. Corrección radiométrica.....	92
V.2.2. Calibración SAR	93
V.2.3. Comentarios sobre la calibración de CSKS.....	95
V.3. Procesamiento.....	96
V.3.1. Estadísticas globales	97
V.3.2. Estadísticas parciales	100
V.3.3. Elementos de interpretación SAR	103
V.4. Resultados SAR	104
Capítulo VI. Detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados	106
Capítulo VII. Resultados y conclusiones.....	113
Bibliografía	118
Anexos	123

Introducción

El tema elegido para esta tesis es ***La detección y caracterización de sitios contaminados y potencialmente contaminados: basurales, ex basurales, rellenos sanitarios, tosqueras y chatarreras en el Gran Buenos Aires, con herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica, en el período 2001-2011.***

Y surge como una necesidad académica y personal. La primera, como ejercicio final de la Maestría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias (AEARTE), realizada conjuntamente por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CoNAE) y la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba. Mientras que la restante nace por inquietud de conocer si la teledetección puede ser una herramienta de utilidad para el tema propuesto en el ámbito de la Ecología Urbana.

Si bien es ampliamente empleada para el estudio de inundaciones, vegetación, incendios, yacimientos, etc., hay pocos antecedentes para sitios contaminados y potencialmente contaminados; sumado a la experiencia en investigación en problemas ambientales urbanos y la posibilidad de contribuir al inventario de sitios contaminados de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) de la Nación.

Los sitios contaminados han condicionado el crecimiento urbano del Gran Buenos Aires (GBA)¹ en el siglo XIX (Anexo I) y actualmente constituyen uno de los principales problemas ambientales, debido a los lixiviados generados por los residuos que contaminan los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, además de la decapitación del suelo por extracción de tosca (Programa Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD-, 2010). Estos efectos se potencian dado que muchos de estos sitios se encuentran en áreas inundables y/o anegables, las cuales con las inundaciones se convierten en posibles reservorios de vectores de enfermedades.

El daño ambiental² producido por estos sitios, y la obligación de su recomposición, son parte del Artículo 41 de la Constitución Nacional, la Ley provincial 13.592 y la Ley General del Ambiente N° 25.675. Bajo el Artículo 2 de esta última se estableció la creación del Programa Nacional para la Gestión Ambiental de Sitios Contaminados (PROSICO) de la SAyDS, cuyos objetivos son:

“... producir una herramienta de gestión con capacidad para identificar, sistematizar, calificar y cuantificar procesos de degradación por contaminación y definir las estrategias de prevención, control y recuperación de sitios contaminados, desarrollando, paralelamente, el soporte regulatorio necesario, concebido como una construcción conjunta y consensuada entre todas las Provincias, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Nación, en acuerdo con el COFEMA³, (...). Entre los resultados que se espera obtener de la implementación del PROSICO, son destacables los relativos a la obtención de un diagnóstico de situación nacional expresado a través de un inventario de sitios contaminados, la definición de prioridades de intervención para la recuperación ambiental, la creación de instrumentos metodológicos, tecnológicos y jurídicos para la gestión, el fortalecimiento institucional y la capacitación de recursos humanos. (...) En este sentido, es imprescindible contar con una herramienta que permita enmarcar las acciones destinadas a la remediación y al saneamiento de aquellos sitios caracterizados como contaminados que, por un criterio de prioridad previamente establecido, sean identificados como tales. En la actualidad, si bien existe alguna información dispersa, se desconoce la entera magnitud de la problemática”.

En el caso particular de los residuos sólidos generados por la actividad habitual del ser humano (también conocidos como Residuos Sólidos Urbanos -RSU-). “En nuestro país no se llevan estadísticas respecto a la cuantificación, caracterización, evolución de la generación y demás aspectos vinculados al manejo de los RSU. A su vez, es muy difícil obtener otro tipo de información relacionada, ya que en Argentina son escasos los organismos que tienen los datos organizados en bases compatibles; los mismos se presentan en forma dispersa, aislada, lo cual obliga a realizar abstracciones, inferencias y procesamientos manuales” (Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de la SAyDS - ENGIRSU-, 2005).

¹ Otros términos utilizados para denominar al GBA son Conurbano bonaerense o Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA).

² Daño ambiental: toda alteración relevante que modifique negativamente el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los ecosistemas o los bienes o valores colectivos (SAyDS, 2007).

³ Consejo Federal de Medio Ambiente.

En base a lo expresado en los párrafos anteriores, es que se propone contribuir a un mejor conocimiento de la problemática por medio de la detección y caracterización ambiental cuyos resultados serán expuestos en un inventario de sitios contaminados o potencialmente contaminados del GBA, siendo un beneficiario directo de esta tesis el PROSICO.

El estudio se realizó mediante relevamiento de campo, recopilación bibliográfica y uso de herramientas de teledetección, SIG y estadística. En cuanto al uso de imágenes satelitales, se utilizaron ópticas y térmicas (DigitalGlobe del Google Earth, Landsat 5TM y ASTER) para la detección e imágenes de Radares de Apertura Sintética -SAR por Synthetic Aperture Radar- (COSMO-SkyMed en banda X y ERS-2 en banda C) para análisis exploratorio. Estas últimas son de uso reciente para los sitios contaminados encontrándose una oportunidad para la exploración en banda X con diferentes polarizaciones como COSMO-SkyMed, pertenecientes al Sistema Ítalo - Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias (SIASGE) de cooperación entre Argentina e Italia a través de sus ministerios de Relaciones Exteriores y sus agencias espaciales, la CoNAE y la Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

En base a la bibliografía recopilada, no se encontraron métodos que detecten o estimen con alto porcentaje de acierto los sitios contaminados, por lo cual se evaluaron diferentes métodos de extracción seleccionando aquellos que mejor ajustaron a las condiciones ambientales del área de estudio, y los resultados se sintetizaron en mapas de sitio potencialmente contaminado y en el inventario, dichos sitios deberán ser confirmados con trabajo de campo.

Objetivos y desarrollo de la tesis

El objetivo general de esta tesis es detectar y caracterizar los sitios contaminados y potencialmente contaminados: basurales a cielo abierto, ex basurales, rellenos sanitarios, tosqueras y chatarreras en el GBA durante el período 2001-2011, con herramientas de teledetección y SIG.

Para ello se propone los siguientes objetivos específicos:

- (a) Recopilación de sitios contaminados en el GBA.
- (b) Estudiar el estado del arte de la detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados mediante herramientas de teledetección y SIG.
- (c) Evaluar y aplicar las metodologías recopiladas, y en base a las que mejores se ajusten a las características socio-ambientales del GBA proponer una metodología para la detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados.
- (d) Analizar los mecanismos de interacción entre las microondas y los sitios para distintos modos de polarización, ángulos y bandas de las imágenes SAR.
- (e) Contribuir con los organismos y secretarías afines a un mejor conocimiento de estos sitios, mediante el aporte de una base de datos geoespacial y mapas de afectación.
- (f) Analizar el uso de teledetección y SIG como instrumento útil en los marcos institucionales.
- (g) Describir las limitaciones y potencialidades del desarrollo de esta tesis.

La investigación se estructura en los siguientes 7 capítulos:

En el primero se describen los sitios contaminados y potencialmente contaminados, los antecedentes en la detección con uso de imágenes satelitales y el área de estudio.

En el capítulo II se presentan los fundamentos físicos de la teledetección para sistemas ópticos, térmicos y SAR. En el siguiente se describen las metodologías utilizadas con imágenes ópticas y térmicas. En el capítulo IV se presentan los resultados luego de aplicar los métodos de extracción descritos en el capítulo anterior.

Mientras que en el capítulo V se describen las metodologías aplicadas a las imágenes SAR en banda X y C y los resultados obtenidos.

En el capítulo VI se presenta la propuesta metodológica, mapas y el inventario para la detección de los sitios contaminados y potencialmente contaminado. Finalmente, en el último capítulo se analiza la capacidad de los datos ópticos, térmicos y SAR para el estudio de los sitios contaminados o potencialmente contaminados, así como también las conclusiones generales y consideraciones finales.

Capítulo I. Antecedentes

I.1. Sitios contaminados y potencialmente contaminados

Los **Sitios** son áreas geográficas delimitadas, que incluyen al suelo, al aire, al agua subterránea y superficial, a las construcciones y actividades que allí se desarrollen. Éstos pueden ser **sitios contaminados y potencialmente contaminados**; el primero de ellos es todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes originadas en actividades antrópicas, en concentraciones tales que, en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores, comporte un riesgo⁴ para la salud humana o el ambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se establezcan por la Autoridad Ambiental Nacional (SAyDS, 2007), en esta tesis recopilados en la búsqueda bibliográfica y relevamiento de campo. El segundo término es todo aquel en el cual se desarrollen o hubiesen desarrollado Actividades Potencialmente Contaminantes y del que no se disponga información analítica que permita confirmar o descartar la presencia de sustancias contaminantes, estimados por interpretación visual o digital.

Los sitios contaminados y potencialmente contaminados que se estudiarán en esta tesis son: basurales, ex basurales, rellenos sanitarios, tosqueras y chatarrerías.

Los **basurales y ex basurales**, donde se disponen ilegalmente los residuos⁵ prohibidos por el Decreto Ley 9.111/78 y la Ley provincial 13.592. En los basurales hay residuos dispersos (Figura 1) y en montículos mientras que en los ex basurales los residuos se encuentran enterrados observándose “chichones” de tierra.



Figura 1. Basurales en Vicente López a la izquierda (OPDS, 2011 y sobre la Cuenca del Río Reconquista en San Miguel (Scioli y Thomas, 2007) a la derecha.

Estos sitios también son conocidos como:

- basurales o ex basurales a cielo abierto, ilegales o clandestinos (Argentina),
 - vertederos, botaderos, basureros o tiraderos incontrolados o ilegales (México y España),
 - Sitios de disposición de residuos (definición de la Organización Mundial de la Salud -OMS),
 - *Illegal Dump deposit* (países de habla anglosajona), y *Discariche abusive* (en italiano).

Los **rellenos sanitarios**: son sitios de disposición legal de residuos, especialmente acondicionados y habilitados por la autoridad competente para la disposición permanente de los residuos (Artículo 17 de la Ley 25.916), donde los suelos son previamente compactados e impermeabilizados para evitar la percolación de los lixiviados⁶ en los acuíferos, además en ellos se controlan los gases

⁴ Riesgo: es la probabilidad de que uno o más contaminantes presentes en un sitio entren en contacto con un receptor y provoque un efecto adverso sobre el mismo (SAyDS, 2007).

⁵ Basura, residuo o Residuo Sólido Urbano (RSU) son utilizados como sinónimos en esta tesis. Es toda materia que carece de valor estético, sanitario y/o económico (Pérez y Gamallo, 1994). Parte de estos materiales puede tener valor económico bajo ciertas condiciones técnicas y socio-culturales particulares (Federico Sabaté, 1999). Comprende aquellos cuyo origen sea doméstico, comercial, institucional, asistencial e industrial no especial asimilable a los residuos domiciliarios. Quedan excluidos los residuos patogénicos, especiales y radioactivos (Artículo 2 de la Ley provincial 13.592 - Gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos).

⁶ Lixiviado: es cualquier líquido que ha percolado o drenado a través de la masa de residuos y sus componentes en suspensión. El término es válido tanto para los residuos peligrosos como los no peligrosos, como así también a procesos naturales en el suelo en el cual los materiales finos migran en el perfil hacia

generados durante la descomposición de la materia orgánica.



Figura 2. Relleno sanitario del CEAMSE Norte III en el Partido de San Martín (Katz, 2008).

Un relleno puede disponer de varios sectores (Figura 2) como las piletas de tratamiento de lixiviados, construcciones para el control o administración, caminos y sectores donde se dispone la basura triturada antes de ser tapada con tierra y material impermeabilizante. En el caso de la GBA⁷ existen los siguientes rellenos controlados por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) (ceamse.gov.ar):

Activos: Norte III en el partido de San Martín y González Catán en La Matanza.

Cerrados o inactivos: Bancalari en San Fernando, Norte I y II en San Martín y Villa Domínico en Avellaneda.

Estos sitios también son conocidos como:

- vertederos o botadero controlados o legales (México y España),
- Sitios de disposición de residuos (definición de la OMS),
- *Landfill* (países de habla anglosajona), y
- *Discariche autorizzate* (en italiano).

Las **canteras** o cavas: son huecos profundos producto de la extracción minera no metalífera, contemplados en el Artículo 5 del Código de Minería de la Republica Argentina. En el caso del GBA se extraen suelos con altos contenidos de tosca (suelos limo arcillosos con alto contenido de carbonato de calcio) para la construcción de terraplenes y caminos urbanos, por ello estos huecos se conocen como **tosqueras**.



Figura 3. Tosqueras en Florencio Varela (www.perspectivasur.com, 14/09/2008) y en Pilar (www.tosqueras.com.ar, 20/10/2010).

No presentan impermeabilización, y su profundidad puede superar y afectar al acuífero por lo cual quedan anegadas en forma permanente con agua con sedimentos en suspensión y con vegetación flotante. También conocidos como:

- *extraction of quarry* en inglés y *cave* en italiano.

horizontes más profundos por acción del agua. Estos materiales pueden estar en disolución, en pseudodisolución o en suspensión coloidal (Decreto 831/93 reglamentario de la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos. Anexo I, Glosario). Debido a su carga bacteriológica y química los lixiviados deben ser tratados antes de verterlos en medios naturales ya que pueden contaminar las aguas superficiales, subterráneas o el suelo. En el caso de un relleno sanitario, el líquido lixiviado es sometido a un tratamiento que incluye dos etapas, un proceso físico-químico y otro biológico (CEAMSE, 2009).

⁷ Cercano al GBA se encuentra el relleno sanitario de Ensenada, en el partido homónimo.

Las chatarrerías son **depósito o cementerio de automóviles** donde se depositan automóviles en desuso (abandonados, perdidos, decomisados o secuestrados) contemplados en la Ley N° 26.348. Éstos se encuentran apilados, desordenados o sin distancia mínima de separación entre ellos a diferencia de los automóviles estacionados en una playitas de estacionamiento.



Figura 4. Chatarrerías en Villa Soldati (tuverde.com, 07/06/2009) y Villa Lugano (www.pagina12.com.ar, 20/05/2009) en la CABA.

Estos sitios también son conocidos como:

- scrap iron en inglés y rottami di ferro en italiano.

I.2. Antecedentes de la investigación

“Los sistemas satelitales miden magnitudes físicas asociadas con la radiación reflejada, retrodispersada o emitida por un blanco (Ej. Reflectancia de superficie, coeficiente de retrodispersión, emisividad). Por el contrario, los usuarios de los sistemas satelitales desean estimar los patrones espaciales presentes en los sistemas naturales y los procesos que tienen lugar en ellos. Pasar de las magnitudes observadas a **los patrones y procesos** puede ser relativamente fácil si las magnitudes y las variables están relacionadas por alguna ley física sencilla. Pero en general, es un problema muy complejo. Encararlo es el objetivo central de la teledetección” (Grings, 2008).

En el caso de los sitios contaminados, los patrones se relacionan con sus características, localización y temporalidad mientras que los procesos corresponden a la contaminación y otros problemas ambientales⁸ que éstos generan (las causas y efectos socio ambientales de los sitios contaminados en el GBA serán ampliados en el Anexo 2).

Los primeros sitios estudiados corresponden a los rellenos sanitarios y basurales con fotografías aéreas e imágenes ópticas Landsat 1 y 4, encontrando los siguientes patrones visuales (Garolfo y Wobber, 1974; Kroeck y Shelton, 1984; Bagheri y Hordon, 1988; Barnaba et al., 1991; Environmental Protection Agency –EPA-, 1999; Brivio et al., 1993 en Ottavianelli, 2007):

- disposición en áreas vacantes municipales,
- presencia de vegetación enferma y basura dispersa en las cercanías,
- montículos de basura en áreas planas,
- presencia de algas en áreas con vertidos residuales,
- caminos cercanos para acceder a los sitios,
- presencia de algunos animales carroñeros y sitios quemados,
- cercanía con áreas delictivas.

Asimismo, en la caracterización de utilizaron otros elementos de **interpretación visual** como la forma, el tamaño, los tonos y el color en base a combinación de bandas que facilitaron la interpretación.

También se determinó la firma espectral de los basurales, la cual presentó igual comportamiento que los cuerpos de agua con basura en el espectro visible, mientras que en el infrarrojo cercano (IRC) se diferenció, tanto con imágenes QuickBird (Yonezawa, 2009) como Landsat 5 (Baodong et al., 2008).

⁸ Problema ambiental: son los desajustes de la relación entre la sociedad y el medio físico que ésta habita (transformado o no), que generan directa o indirectamente consecuencias negativas sobre la salud de la población presente y/o futura y sus actividades sociales; pueden impactar negativamente sobre los componentes de la flora y la fauna, y alterar las condiciones estéticas y sanitarias del ambiente (Di Pace y Reese, 1999).

Otra herramienta utilizada fue el uso de métodos de probabilidad y estadística obteniendo las variables que explican los patrones de localización de los sitios de disposición de residuos en base a un conjunto de sitios de referencia. Las variables utilizadas fueron cercanía con calles, cuerpos de aguas, pendientes y áreas periurbanas. Los resultados obtenidos fueron comparados con firmas espectrales y verificado en campo obteniendo un nivel de coincidencia media (Chen y Chang, 2006). También se consideraron la cercanía con otros sitios contaminados y el uso de suelo agrícola, industrial y de baja densidad poblacional (Omri, 2007).

En trabajos exploratorios con imágenes SAR en banda C con polarizaciones HH, HV y VV se diferenciaron las respuestas de un montículo de basura (con contenido de materia orgánica, plástico y metales) del mismo tapado con tierra, pertenecientes a un relleno sanitario activo (Ottavianelli et al., 2005; 2006; Ottavianelli, 2007). Mientras que con banda L y polarización HH no fue posible realizar dicha distinción, los sitios presentaron valores altos del coeficiente de dispersión debido al doble rebote (Yonezawa, 2009).

Otros métodos aplicados fueron los clasificadores supervisados y no supervisados, que permitieron extraer clases según sus valores espectrales. Siendo este último clasificador el único que permitió detectar basurales (con alto contenido de residuos domésticos y de construcción) con imágenes ópticas IRS (Aristov, 2008).

En cuanto a los patrones temporales se utilizaron secuencias multitemporales, lo que permitió ver los cambios en el uso del suelo y monitorear el comportamiento de sitios conocidos. Se encontraron viviendas e industrias en terrenos donde anteriormente hubo basurales sin respetar la normativa de construcción en Italia (Altobelli et al., 2005) en base a una serie de una década con imágenes ópticas Landsat 1 y 5.

Con la misma herramienta se estudiaron los efectos de los lixiviados (contaminación del suelo) y la fermentación (contaminación atmosférica y térmica) de la basura sobre el entorno inmediato del sitio contaminado, que afecta a la vegetación debido a que disminuye la transpiración vegetal, la actividad fotosintética generando estrés en la fisiología de las plantas (Byrne, 1979 en Ferrer-Vidal y Solé-Sugrañes 1995). Esto fue verificado con índices de vegetación en base a fotografías aéreas (Barnaba et al., 1991; EPA, 1999) e imágenes ópticas: Landsat 5 y Spot (Pandiscia et al., 1999), ARCHER de un sensor aerotransportado (Carbone et al., 2005), Landsat 1 y 5 (Altobelli et al., 2005) y ALOS y Quickbird (Yonezawa, 2009). Aunque la identificación sólo fue adecuada para basurales y rellenos sanitarios de gran superficie con IRS (Aristov, 2008).

Otra opción fue una serie multitemporal de índice de suelo y temperatura de 1985 a 2009 con imágenes Landsat 5, donde se estudiaron rellenos sanitarios activos e inactivos en Canadá. El índice mostró ser eficiente para detectar ausencia o vegetación enferma por lixiviado dentro de 100 m a la redonda de los rellenos sanitarios. En cuanto a la temperatura, el relleno inactivo registro valores levemente menores al activo, superior a la vegetación y a la temperatura del aire (mínimas: 25 °C, 30 °C, 23 °C y 18 °C respectivamente). La vegetación presentó el mismo comportamiento que los rellenos (Shaker y Yan, 2010). Las imágenes de temperatura presentaron restricciones en cuanto a la detección de sitios pequeños debido a la baja resolución espacial mayores a 60 m (Ishihara et al., 2002) o las fechas y horarios de toma de las imágenes, debido a que sólo en la primavera o verano en horario matutino hay separabilidad de temperatura entre los sitios de disposición de residuos (donde hay procesos de fermentación, quema y lixiviados) y el restos de las cubiertas urbanas (Silvestri et al., 2005).

Con una única imagen térmica de Landsat 5 con fecha de primavera y horario cercano al mediodía, se determinó la temperatura media de un relleno sanitario en Barcelona (31,90 °C) muy cercano a los valores del área urbana (31,52 °C), superior al suelo desnudo (29,55 °C) y escombrera (30,18 °C) e inferior a diferentes tipos de áreas industriales (35 a 44 °C) (Ferrer-Vidal y Solé-Sugrañes, 1995).

También se aplicó Análisis de Componentes Principales a una serie multitemporal de índice de vegetación, extrayendo sólo las áreas que cambiaron de vegetación vigorosa a vegetación enferma u otra clase. Estos resultados fueron ingresados a clasificadores supervisado y no supervisado. Las áreas coincidentes de ambos clasificadores formaron parte de un primer mapa de sitios potencialmente contaminados en base a imágenes ópticas (Ikonos y Landsat 5). Por otro lado, en base a un conjunto de muestras se extrajeron patrones espaciales (cercanía de un sitio contaminado con otro, uso de suelo agrícola o industrial y baja densidad de población) y sus

probabilidades. Estos resultados se extrapolaron a toda el área de estudio, obteniendo el segundo mapa. Los sitios coincidentes del primer mapa con los de alta probabilidad del segundo fueron verificados en campo, obteniendo coincidencia alta, mientras que los no coincidentes fueron campos deportivos y áreas con construcciones que fueron descartados al excluir aquellas áreas comunicadas con caminos pocos transitados (Fior et al. 2005; Omri, 2007; Silvestri et al., 2005, 2011).

Los trabajos presentados hasta aquí corresponden a publicaciones de gobiernos u organismos para la protección del ambiente, principalmente de Italia y Estados Unidos, y en menor medida de Inglaterra, Japón, Ucrania, Taiwán y China. En el caso de la Argentina se encontró una única publicación con el uso de SIG y teledetección del GBA, correspondiente al Atlas de la Basura, donde se utilizó una imagen óptica Landsat 5 de diciembre 2001, muestras de 139 basurales a cielo abierto y rellenos sanitarios relevados por el CEAMSE al 2004 (Zamorano et al., 2008). Se aplicó análisis visual en base a la combinación IRC – Rojo y Verde observándose manchas irregulares para los basurales y forma geométrica en los rellenos sanitarios y el mismo color que el aglomerado urbano en ambos casos. También se aplicó una clasificación supervisada de la cual algunos lugares ribereños fueron asignados a la clase “basurales” a pesar de que no eran estrictamente superficies con disposición, sino donde la trama urbana está formada por asentamientos precarios sobre terrenos de ex basurales o relleno. Esta información surgió de la constatación in situ de las características del lugar.

Otras herramientas utilizadas fueron índices de vegetación, Análisis de Componentes Principales y Tasseled Cap que permitieron obtener rasgos de la vegetación y el suelo, los cuales no fueron de utilidad para discriminarlos, debido a que presentaron heterogeneidad en su composición y comportamiento en algunos casos similares a los suelos desnudos y en otros al aglomerado urbano o la vegetación de los grandes espacios verdes. También se determinó la frecuencia de cercanía a villas, FFCC, autopistas, cursos de agua, cuencas y áreas con servicios sanitarios (cloacal, agua potable).

En el caso de los cuerpos de agua se emplearon metodologías de detección de lagos, lagunas o áreas inundadas de poca profundidad y con vegetación flotantes, con las mismas características que presentan las tosqueras del GBA. Mediante índices de agua (CEDEX para aguas continentales, NDWI para discriminar aguas con baja concentración de sólidos algas), clasificación supervisada y no supervisada y las bandas del IR de Landsat 5. El mejor resultado se obtuvo con IRM, buen indicador de inundación, aguas pocas profundas con turbidez o abundante vegetación emergente o flotante y útil para distinguir bien los cuerpos de agua del resto de las cubiertas, mientras que el IRC y los índices no fueron buenos indicadores en aguas con algas o con turbidez (Bustamante et al., 2005). Otra opción fue la clasificación no supervisada de las bandas del VIS e IR, obteniendo que la banda Roja e IRC fueron adecuadas para la clasificación de los cuerpos de agua según el material orgánico e inorgánico, disuelto o en suspensión. La primera banda determinó el nivel de reflectancia del agua debido a las sustancias inorgánicas disueltas (Dukatz et al., 2005).

También se realizó análisis multitemporal con imágenes ópticas SPOT y SAR (TerraSarX en banda X de 3 m de resolución, dos escenas de diferentes fechas HH-VV y HH-HV). En las primeras se aplicó una clasificación supervisada con datos de campo y con estos resultados se clasificaron las imágenes SAR. Los mejores resultados fueron los primeros mientras que la retrodispersión en SAR tuvo un efecto importante debido a la vegetación existente sobre la lámina de agua. Por tanto, la precisión de discriminación disminuyó según el aumento de la densidad de la vegetación sobre ella, esto es debido a los retornos de la vegetación y a la poca capacidad de penetración de la banda X (García y Miguelsanz, 2009).

En el caso de las chatarreras se utilizaron las técnicas empleadas anteriormente, haciendo hincapié en el análisis visual en la forma y el orden de los vehículos.

I.3. Caracterización del área de estudio: Gran Buenos Aires

El área de estudio corresponde al GBA, que comprende a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y los 24 partidos que la circundan (Figura 5): Ciudad de Buenos Aires y los partidos de Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Esteban Echeverría, Ezeiza, Florencio Varela, General San Martín, Hurlingham, Ituzaingó, José C. Paz, La Matanza, Lanús, Lomas de Zamora, Malvinas Argentinas, Merlo, Moreno, Morón, Quilmes, San Fernando, San Isidro, San Miguel, Tigre, Tres de Febrero y Vicente López.

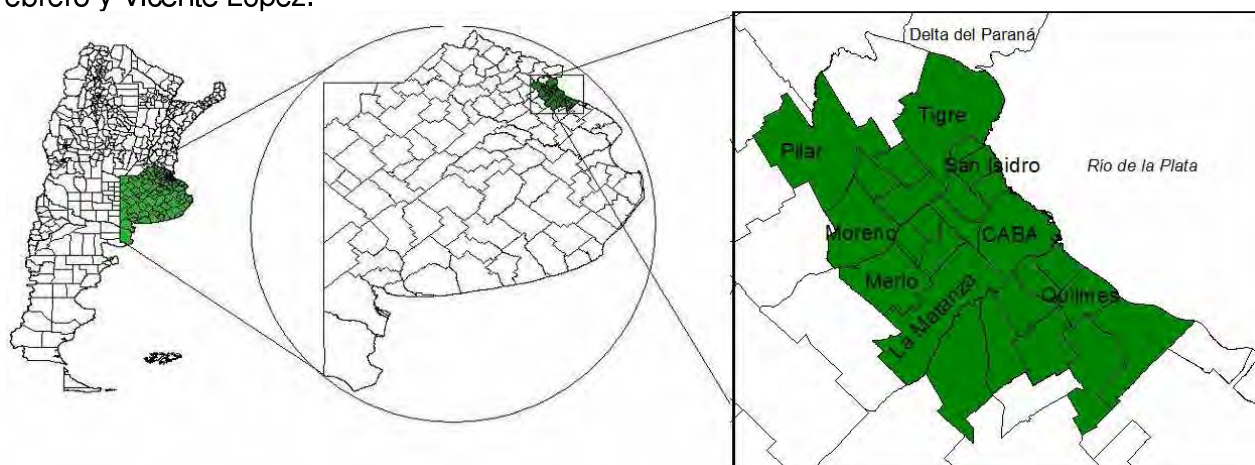


Figura 5. Ubicación del GBA.

El GBA concentra el 32% (12.801.364 habitantes) de la población del país (40.091.359 habitantes), en base a los resultados provisionales del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos –INDEC-, 2010). Es el área urbana más grande del país seguida por Gran Córdoba, Gran Rosario, Gran Mendoza y Gran La Plata. Y a nivel mundial forma parte de las 15 áreas urbanas con más de 10 millones de habitantes consideradas “mega ciudades”.

Aspectos físico-geográficos

Geomorfología y suelos

Desde el punto de vista geológico y geomorfológico el área de estudio pertenece a la Pampa Ondulada (Capannini y Domínguez, 1961), denominada así por una serie de lomadas, producto del modelado de ríos y arroyos que excavaron en el pasado amplios valles aterrizados, donde se depositaron materiales superficiales del Cuaternario provenientes de los aportes realizados por las aguas (limos y arcillas) en ciclos húmedos, y por el viento (loess) favorecidos por la diferencia de nivel topográfico (Centro Editor de América Latina –CEAL-, 1982). Las pendientes suaves son descendentes hacia la costa de los ríos de la Plata, Paraná y otros cursos de agua.

Clima

El clima es tipo climático subhúmedo-húmedo con lluvia todo el año según Thornthwaite y Köppen, con un gradual descenso de precipitaciones de NE a SO y el correspondiente incremento de la amplitud térmica estacional. Este clima se caracteriza por inviernos suaves y veranos calurosos.

La cercanía al mar tiene influencias moderadas en la amplitud térmica (media anual de 12°C), mientras que la media del mes más frío (julio) es de 11°C y la del más cálido (enero) es de 23°C.

Las precipitaciones (1.100 mm media anual) y en la humedad relativa (media anual del 78%). Los valores de los registros descienden paulatinamente a medida que se avanza hacia el oeste, por efecto de la continentalidad.

La llanura queda bajo la influencia de los vientos como el Pampero Húmedo y la Sudestada⁹. El primero llega acompañado de lluvias y tormentas eléctricas, que provocan inundaciones de corta duración; es un viento estimulante que hace concluir un período de calor sofocante con velocidades superiores a los 40 km/h. Mientras que la Sudestada tiene temperatura más baja y alta humedad relativa que provoca la sensación de molestia y frío y velocidad media anual entre 9 y 12 km/h (CEAL, 1982). La frecuencia de las Sudestadas con precipitación se presenta dos máximos en el

⁹ El Pampero y la Sudestada son el resultado de una situación de depresión barométrica en la región del Litoral, que provoca el ingreso de una masa de aire frío y húmedo (Pampero) o aire marítimo frío y húmedo (Sudestada) sobre el Río de la Plata (CEAL, 1982).

año: enero y entre septiembre y octubre con un mínimo en el mes de mayo extendido hasta junio y julio con dirección de Este-sudeste (Bischoff, 2003).

Sistemas hídricos

El GBA se asienta principalmente sobre tres cuencas fluviales: la del Río Luján, el Reconquista y el Matanza-Riachuelo. Respecto a las dos últimas, dadas las condiciones del relieve (pendiente suave hacia el noreste), las características del suelo y la red de drenaje, presentan una dirección sudoeste - noreste. Los cauces se desarrollan en una topografía llana y constituyen el desagüe natural de áreas urbanas y periurbanas; las condiciones de escurrimiento se encuentran alteradas por cobertura edilicia y de infraestructura vial (terraplenes, caminos, etc.). Es por eso que los tramos inferiores y medios de todas estas cuencas son inundables. Las inundaciones también se ven favorecidas por efecto de las mareas, la sudestada y los períodos de altas precipitaciones. Las fuentes subterráneas están constituidas por un acuífero¹⁰ multi-unitario alojado en formaciones sedimentarias cuaternarias que se apoyan sobre el sustrato rocoso correspondiente al basamento cristalino. Los niveles superiores del acuífero son los más relevantes para el aprovisionamiento de la población, estos son: los sub-acuíferos Epipuelche y Puelche (Subsecretaría de Medio Ambiente –SMA-, 1981; Bozzano y Pintos, 1995).

Flora y fauna

El área se encuentra dentro del denominado bioma del pastizal pampeano, donde predomina el estrato herbáceo con especies que crecen en altura y pastos del tipo césped. Sobre los márgenes de los arroyos de poca corriente se encuentran juncuales y totorales, con presencia de juncos, sagitarias y otras especies. Mientras que a los costados de las vías férreas y en campos poco pastoreados se encuentra la especie "*Pseudoestepa graminosa climax*", que cubre suelos arcillo-limosos, ligeramente ácidos, pero está desapareciendo por la actividad agrícola. En algunas áreas (Norte y Este y en el extremo austral), se pueden encontrar bosquecillos autóctonos y matorrales de arbustos, juncuales, pajonales y selvas ribereñas empobrecidas. Con respecto a las especies exóticas arbóreas se encuentran el paraíso, el eucaliptus, la casuarina, el plátano, la morera y otros, producto de la forestación (CIM – UBA, 2002).

Dentro de la fauna se pueden encontrar pocas especies autóctonas, muy amenazadas debido a las transformaciones que sufre el ecosistema, es el caso de los anfibios (ranas y sapos), reptiles (tortugas de río y de laguna, lagartos verde y overo, lagartijas y culebras) y mamíferos (coipo). Otras especies, que se encuentran en cantidad, son los insectos, arácnidos, algunos mamíferos (cuis, comadreja colorada y overa, hurón, zorrino, ratas y lauchas) y las aves (gorrión, chingolo, zorzal, cotorra, benteveo, ratona, hornero, calandria, tijereta, golondrina, paloma, tero, chimango, carancho, halcón, jilguero, cabecita negra, tordo, corbatita, pirincho, colibrí, lechuza, carpintero, cachirla, leñatero y otros) (Herrero et al., 2001).

¹⁰ Un *acuífero* es una unidad geológica saturada, capaz de suministrar agua a pozos (artificialmente) o manantiales (naturalmente) que sirven como fuente práctica de abastecimiento del líquido (SMA, 1981).

Capítulo II. Marco conceptual: óptico, térmico y SAR

II.1. Fundamentos físicos de la teledetección

La teledetección, teleobservación o percepción remota es la traducción latina del termino inglés *remote sensing*, que designa a la observación remota de la superficie de la tierra, desde sensores aerotransportados, plataformas espaciales, fotografía aérea, globos aerostáticos. No engloba sólo los procesos que permiten obtener imágenes de la superficie terrestre sino también su posterior tratamiento (Chuvienco, 2007):

- Una fuente de emisión de radiación electromagnética que detecta el sensor.
- La interacción de la radiación electromagnética con la superficie terrestre.
- La interacción de la radiación con la atmósfera.
- El sistema-sensor y sistema de recepción.
- El intérprete o usuario.

a) Una fuente de emisión de radiación electromagnética que detecta el sensor, natural o artificial (Figura 6). La primera de ellas y más importante para la teledetección es el sol, que ilumina los objetos que se encuentran en la superficie terrestre. Por reflexión parte de esa energía incide en los objetos y luego se refleja hasta llegar al sensor.

Además, todos los cuerpos con temperaturas mayores a 0 °K emiten radiación de longitud de onda acorde a su temperatura. Por ejemplo, la superficie terrestre emite durante todo el día energía (conocida como radiación infrarroja), los focos de incendios, los volcanes; todos ellos emiten en la porción del infrarrojo térmico del espectro electromagnético¹¹.

La fuente artificial de radiación corresponde a los radares que emiten en la porción de las microondas del espectro electromagnético. El sensor emite una onda y luego mide la cantidad de energía que es retrodispersada hacia él.

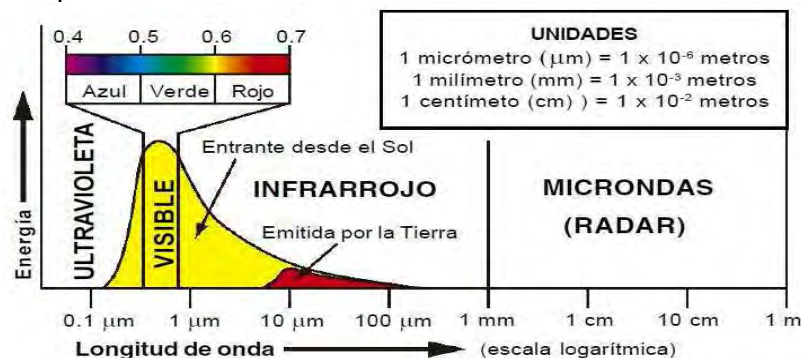


Figura 6. La variación en longitud de onda¹² de la radiación electromagnética (Smith, 2004).

b) La interacción de la radiación electromagnética con la superficie terrestre. La radiación electromagnética interactúa con la superficie terrestre o los materiales sobre ella por alguno de los siguientes procesos: transmisión, absorción, emisión, reflexión o dispersión.

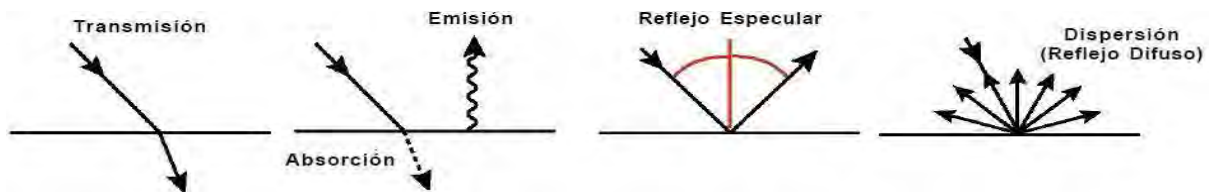


Figura 7. Procesos de interacción de la radiación electromagnética. La línea horizontal representa una frontera entre dos materiales (Smith, 2004).

Las interacciones con los materiales pueden cambiar la dirección, intensidad (Figura 7) y polarización de la radiación (Smith, 2004). La naturaleza de estos cambios depende de la composición química y estructura física de los materiales.

La magnitud que indica la cantidad de energía que llega al sensor se llama reflectancia espectral o

¹¹ El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas.

¹² La longitud de onda es una distancia que recorre la onda electromagnética en un intervalo de tiempo.

radiación solar reflejada para los sensores ópticos o reflectancia en superficie, coeficiente de retrodispersión - backscattering para los sensores SAR, será desarrollada en capítulos posteriores.

c) La interacción de la radiación con la atmósfera.

La radiación solar reflejada que llegó al sensor fue afectada por una doble interacción con la atmósfera: antes y después del proceso de interacción con los objetos de la superficie terrestre (Figura 8).

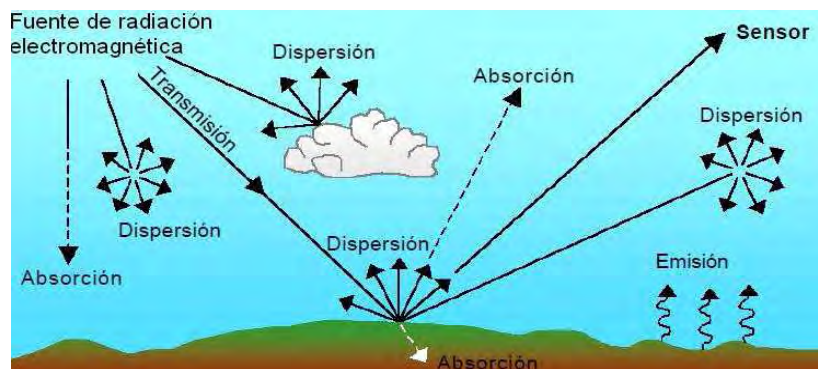


Figura 8. Procesos de interacción de la radiación electromagnética con la atmósfera y la superficie terrestre (Smith, 2004).

La radiación electromagnética interactúa con las moléculas de gas (dióxido de carbono, oxígeno, ozono, nitrógeno y argón), vapor de agua y aerosoles (polvo, hollín) de la atmósfera. Entre estos componentes, el dióxido de carbono, ozono y vapor de agua son los principales responsables de la interacción con la energía electromagnética. Su efecto es triple (Chuvienco, 2007; Smith, 2004):

- (1) **absorción** de la energía en determinadas bandas del espectro, lo que limita la observación espacial en aquellas bandas en donde esta absorción es más intensa;
 - (2) **dispersión**, de determinados flujos en función de su longitud de onda, donde las longitudes de ondas más cortas experimentan los efectos más fuertes (la dispersión preferencial de la luz azul en comparación a la luz verde y roja explica el color azul del cielo durante el día. Las nubes aparecen opacas debido a la intensa dispersión de la luz visible por pequeñas gotas de agua) y,
 - (3) **emisión**, como todo cuerpo caliente, que tiene su mayor importancia en el infrarrojo térmico.
- Todos estos procesos introducen modificaciones en la radiación originalmente propagada entre la cubierta terrestre y el sensor.

d) El sistema-sensor y sistema de recepción

El primer sistema está compuesto por el sensor y su plataforma que capta la energía procedente de las cubiertas terrestres. El sensor electrónico que genera una señal eléctrica proporcional a la que recibe y la convierte en una señal digital en números enteros llamados números digitales conocidos como ND (*Digital Number*), formando una imagen compuesta por una grilla (en teledetección se lo conoce como *raster*) formada por celdas o píxeles (del inglés *picture x element*) con diferentes valores numéricos que representan promedios de niveles de luminosidad.

El *sistema de recepción* recibe la información y la graba en un formato apropiado, asimismo puede realizar correcciones de las imágenes previo a grabarlas.

A su vez los sensores trabajan con los siguientes tipos de resoluciones (habilidad para discriminar la información en detalle):

- **Radiométrica:** es la sensibilidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Las imágenes digitales se codifican en valores numéricos almacenados en bits (por ejemplo, 0 a 255 valores para 8 bits, 0 a 1023 valores para 10 bits, 0 a 4095 valores para 12 bits y 0 a 65.535 valores para 16 bits). Estos corresponden a los ND representados por números enteros positivos. Nuestros ojos pueden diferenciar hasta 64 valores de grises mientras las tonalidades de color pueden superar las 200.000. En el caso de la interpretación digital por parte del ordenador, la mayor resolución radiométrica puede permitir diferenciar objetos con niveles muy similares de reflectividad, que no serían separables con otros sensores menos sensibles (Chuvienco, 2007).
- **Espacial:** es una medida que designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen, si bien pueden identificarse rasgos de tamaño similar o más pequeños en el caso de haber contraste radiométrico. En imágenes ópticas y térmicas se pueden utilizar dos medidas, la

primera es el concepto de campo de visión instantáneo IFOV (*Instantaneous Field Of View*) definida como la sección angular en radianes observada en un momento por el sensor. O la distancia sobre el terreno del IFOV considerando la distancia del suelo al sensor¹³, que es lo que conocemos como píxel.

- **Espectral:** indica el número y ancho de los intervalos de longitudes de ondas (llamadas bandas espectrales) que puede discriminar el sensor. Los radares presentan la menor resolución espectral dado que trabajan con un solo canal o banda, mientras que los sensores ópticos pueden ser multiespectrales, hiperespectrales.
- **Temporal:** es la frecuencia o periodicidad del sensor de pasar por el mismo lugar, que puede ser de minutos a meses según el objetivo del sensor.

Existen varios tipos de sensores de observación de la Tierra, donde la dispersión y absorción de radiación por la atmósfera impactan en el diseño, así como también en el procesamiento e interpretación de imágenes. Por ello la mayoría de las bandas de los sensores remotos han sido diseñadas para detectar radiación en las “ventanas atmosféricas”, aquellos rangos de longitudes de onda en los cuales la absorción es mínima, y por el contrario, la transmisión es alta (Figura 9) (Smith, 2004).

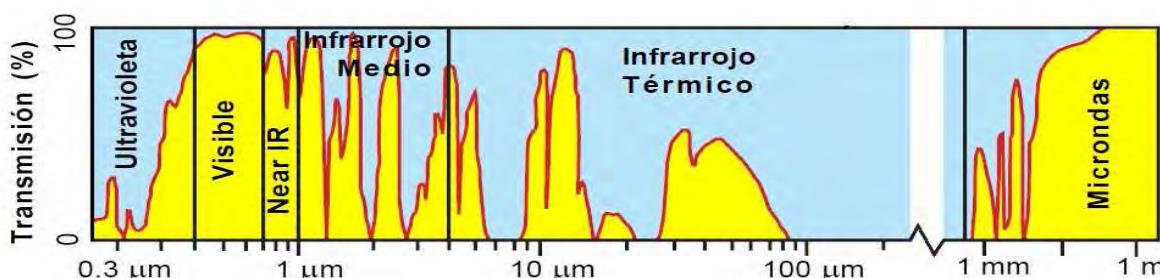


Figura 9. Variación en la transmisión atmosférica, debido a la absorción selectiva de longitudes de onda por los gases atmosféricos (Smith, 2004).

Las ventanas están agrupadas en dos grupos, el primero entre los 0,45 y 12 μm (longitudes de onda del visible y del infrarrojo) y el segundo de 0,5 a 70 cm (longitudes de onda de las microondas). Los sistemas que operan en estas ventanas miden propiedades distintas y en consecuencia los datos se tratan de manera distinta.

En base a estas dos ventanas atmosféricas y a la fuente de radiación electromagnética, podemos tener 3 grupos de sistemas de observación de la Tierra:

- sensores ópticos, son pasivos dado que reciben energía de una fuente externa como el sol en las longitudes de onda del visible u óptico y del infrarrojo cercano y medio;
- sensores térmicos y de microondas pasivas, también son pasivos pero miden la energía emitida naturalmente por la superficie de la tierra o los objetos que están en ella, en las longitudes de onda del infrarrojo térmico y las microondas respectivamente; y
- sensores SAR o de microondas activas: son sistemas activos, miden la retrodispersión de la superficie en las longitudes de onda de las microondas.

e) El intérprete o usuario, es el encargado de interpretar los datos de las imágenes por medio del análisis visual y/o digital, y generar información cuantitativa y/o temática con un SIG. Entendiéndose a un SIG como “...un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación” (Goodchild y Kemp, 1990).

II.2. Tipos de sensores

En esta tesis se utilizaron los imágenes de los siguientes sensores:

Ópticos y térmicos:

- Landsat 5 TM (Thematic Mapper).
- ASTER (Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer).
- Digital Globe del programa Google Earth.

¹³ $D = 2 \cdot H \cdot \tan(\text{IFOV}/2)$, siendo D el tamaño del terreno de cada unidad de información (píxel) y H la altura de observación.

SAR:

- COSMO-SkyMed (-CSKS- COnstellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation) en banda X (8 GHz) polarización simple o dual de acuerdo al modo de adquisición.
- ERS-2 (European Remote Sensing Satellite) en banda C (5,3 GHz), polarización simple, VV.

Sensores ópticos y térmicos

Los sensores ópticos detectan la radiación solar que ha sido reflejada y que ha interactuado con la atmósfera, e involucra los siguientes rangos de longitudes de ondas:

- el visible (VIS) de 0,40 a 0,7 μm correspondiente a la máxima radiación solar y que nuestros ojos pueden percibir, donde se pueden diferenciar el azul (0,4 a 0,5 μm), verde (0,5 a 0,6 μm) y rojo (0,6 a 0,7 μm);
- el infrarrojo cercano (IRC) de 0,7 a 1,3 μm , donde se puede discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad,
- el infrarrojo medio en longitudes de onda entre 1,3 y 8 μm . Aquí intervienen los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. Se distinguen dos zonas: de 1,3 a 2,5 μm que corresponde al infrarrojo de onda corta denominado SWIR (por *Short Wave Infrared*), y en torno al 3,7 μm el infrarrojo medio (IRM). Esta banda es útil para estimar contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.

Estos sistemas dependen de la luz solar y las condiciones atmosféricas. En el caso del VIS y IRC la radiación reflejada permite discriminar las composiciones químicas de los materiales de la superficie terrestre debido a que las interacciones son a nivel molecular (Salvia, 2010).

Los sensores térmicos trabajan en la banda del infrarrojo térmico (IRT), entre 8 y 14 μm , y miden la emisión de los elementos de la superficie, que está relacionada con el calentamiento solar. Los elementos de la superficie están influenciados por las propiedades físicas y térmicas de los materiales, por la topografía (las pendientes que enfrentan el sol absorben más energía solar), y por las nubes y el viento. Los materiales más oscuros tienden a absorber más radiación entrante y por lo tanto son calentados más que los materiales más brillantes, los cuales reflejan mucha energía solar (Smith, 2004). Como la temperatura cambia durante el día, estos sensores son sensibles a la hora del día que son tomadas.

Sensores SAR o microondas activas¹⁴

Los sistemas de RADAR (acrónimo de Radio Detection And Ranging)¹⁵ son sistemas activos que proporcionan su propia fuente de iluminación. Su principal objetivo es medir el tiempo de retraso entre señales emitidas y recibidas y con ello la distancia.

La tecnología de Radar de Apertura Sintética (SAR) permite obtener imágenes de alta resolución de la superficie de la tierra a través de la energía de microondas que es retrodispersada hacia el sensor, en función de propiedades de la superficie (pendiente, rugosidad, humedad, constante dieléctrica). A diferencia de los sensores ópticos, las interacciones no son moleculares debido al tamaño de la longitud de onda, en el orden de los centímetros, por lo tanto no discriminan las composiciones químicas de los materiales.

Como se mencionó anteriormente, los sistemas SAR poseen una fuente propia de energía, por lo cual se puede controlar las condiciones de adquisición de imágenes (distancia, orientación, ángulo, polarizaciones), pudiendo funcionar durante el día o la noche.

La señal de los radares que operan en longitudes de onda mayores de 2 cm casi no se deteriora por la presencia de nubes. Por otra parte, la lluvia representa un factor importante para la señal con longitud de onda menor que 4 cm (CCRS, 2008).

¹⁴ El funcionamiento detallado de un sistema SAR es muy complejo, aquí se resumen sólo los usos de interés para esta tesis.

¹⁵ El desarrollo del RADAR fue en la Segunda Guerra Mundial, donde se utilizó este dispositivo para la navegación aérea y marítima y detección de las fuerzas enemigas. Luego de la guerra se desarrolló la tecnología SAR.

Las bandas de los SAR son superiores a 1 mm y se identifican con letras. La elección de la banda a usar depende de la escala del fenómeno o de las características del terreno que se desean identificar (Tabla 1):

Banda	Longitud onda (cm)	Frecuencia (GHz)	Aplicaciones
X	2.4 a 3.75	12.5 a 8	Identificación del hielo, contenido de humedad en áreas de pasto, provee estimación de la rugosidad de la vegetación, características de escalas relativamente pequeñas.
C	3.75 a 7.5	14 a 8	Provee información sobre contenido de humedad en áreas de pastos y la biomasa de las hojas.
S	7.5 a 15	4 a 2	Uso en radares meteorológicos debido a su mejor definición en condiciones climatológicas adversas que el resto de las bandas.
L	15 a 30	2 a 1	Cartografía geológica, penetra a través de las copas de la vegetación y en suelo seco. Puede proveer una estimación de la biomasa de la madera. Características grandes.
P	30 a 100	1 a 0.3	La penetración de la señal a través del follaje es mayor mediante las frecuencias bajas.

Tabla 1. Características de las bandas SAR (Chuvieco, 2007; CCRS, 2008).

En las siguientes figuras se describe el movimiento del radar, operando sobre una plataforma en vuelo como un avión o un satélite.

La dirección en que mira la antena se denomina alcance o rango (range o slant range), la de avance de la plataforma acimut y la dirección perpendicular al plano de la tierra se denomina nadir. La zona iluminada en el terreno se denomina huella (footprint) con forma elíptica y el ancho de la franja iluminada se denomina swath (Figura 10).

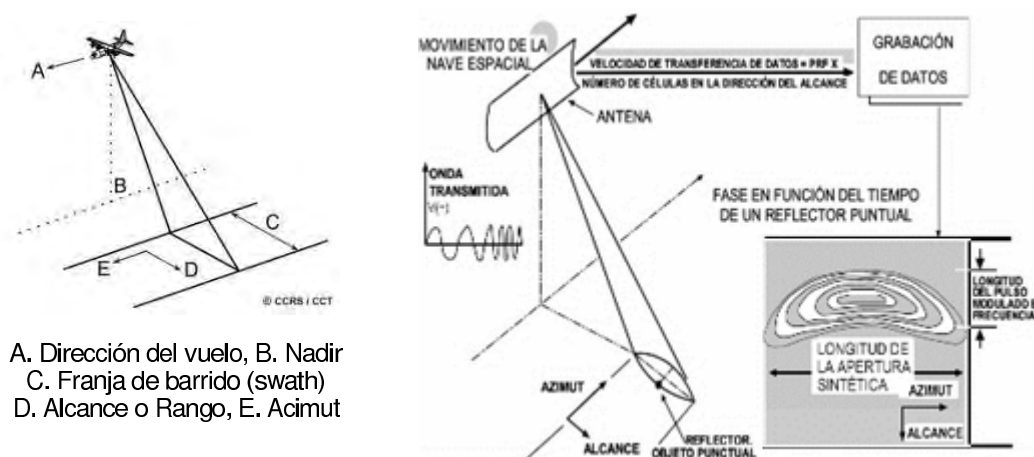


Figura 10 a y b. Movimiento del radar CCRS (2008).

Otro parámetro importante es el ángulo de incidencia formado por la dirección de iluminación del radar y la normal a la superficie de la Tierra.

El ángulo de incidencia cambia a lo largo de la dirección del alcance y depende de la altura del radar sobre la superficie de la Tierra. Esto genera que la geometría de visualización en una misma imagen es diferente de punto a punto en la dirección del alcance.

A medida que el SAR se mueve emite pulsos y recibe la señal retrodispersada, que permite discriminar entre distintas cubiertas. Además, el tiempo de retraso entre las señales transmitidas y retrodispersada permite determinar la distancia al objetivo.

Todos los pulsos que provienen de un punto se reciben y se graban en función de las dimensiones asociadas al alcance al acimut, y en función del tiempo.

De cada punto de la superficie terrestre se pueden recibir numerosas respuestas, llegando a 1.000 de un único objeto, la respuesta resultante es la suma de las respectivas ondas (interferencia constructiva, destructiva o parcial) generando un efecto no deseado llamado *speckle* (*moteado en castellano*) (Figura 11).

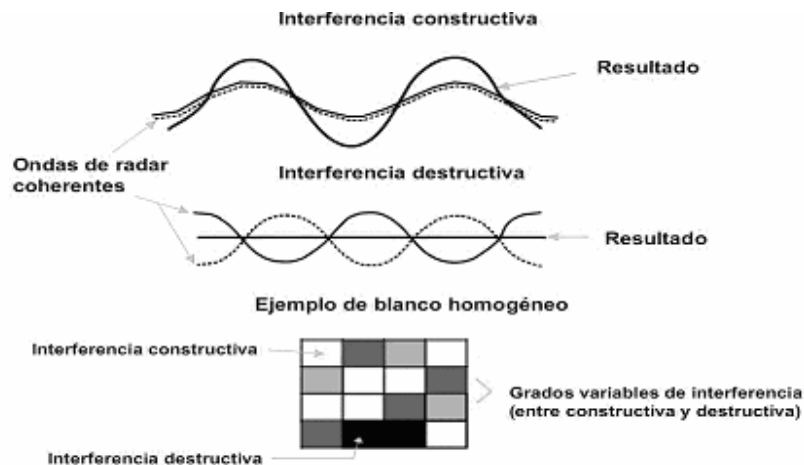


Figura 11. Suma en fase y contratasa de ondas y ruido Speckle (CCRS, 2008).

Este fenómeno se debe a la luz coherente¹⁶ utilizada en el haz de los sensores SAR. Es importante destacar que es inherente a cualquier sistema que trabaja con este tipo de luz y no se debe a deficiencias tecnológicas o imperfecciones en sensor. El speckle degrada la calidad de la imagen SAR y dificulta su interpretación visual y digital.

Una de las formas para reducir este tipo de ruido es generar varias observaciones, vistas o *looks* a partir del mismo conjunto de pulsos crudos. Estos son también afectados por el speckle pero promediando todos ellos se obtiene una imagen *multi-look* con el ruido speckle reducido.

Las imágenes SAR pueden ser *multi-look* con datos reales o de un único look y datos complejos (Single Look Complex, SLC).

Este proceso, llevado a cabo durante el proceso de generación de la imagen a partir de los pulsos recibidos por el sensor, provoca una disminución en la resolución espacial de la imagen ya que ilumina zonas mayores para poder concretarlo, pero se aumenta la resolución radiométrica.

Los sensores SAR, por emitir luz coherente, también determinan la polarización de la misma. La polarización se refiere a la orientación de la onda del radar en relación a la antena SAR y, se indica con letras indicando la polarización de transmisión y la de recepción:

- HH - transmisión horizontal, recepción horizontal (HH),
- VV - transmisión vertical, recepción vertical (VV),
- HV - transmisión horizontal, recepción vertical (HV), y
- VH - transmisión vertical, recepción horizontal (VH).

Un sistema SAR puede tener varios niveles de complejidad en el patrón de polarización:

- Polarización simple - HH o VV o HV o VH (uno de los cuatro). Si bien cualquiera de las 4 opciones es posible, no existen sistemas que utilicen la polarización cruzada (HV o VH) dada la baja potencia de las respuestas.
- Doble polarización - HH y HV, VV y VH, o HH y VV (dos de cuatro).
- Cuatro polarizaciones - HH, VV, HV y VH.

Al aumentar la cantidad de polarizaciones disponibles, se mejora la capacidad para caracterizar las propiedades físicas de los objetos y la colección de propiedades geofísicas y biofísicas de la superficie de la Tierra.

La reflexión de una onda de microondas al incidir en una superficie puede modificar la polarización de la misma (Figura 12a), dependiendo de las propiedades de la superficie. Por ello una cierta superficie puede representarse como escenas diferentes mediante las imágenes de un radar polarimétrico. En muchas ocasiones se puede inferir el tipo de superficie a partir de su respuesta en las distintas polarizaciones. También la rugosidad de la superficie (Figura 12b), que depende de la longitud de onda del radar y al ángulo de incidencia, influye en la reflexión de la señal (Figura 12c), lo que tiene como consecuencia las respuestas características que se observan en las imágenes de radar (CCRS, 2008).

¹⁶ Sistemas coherentes son aquellos en los que las ondas vibran con la misma frecuencia, longitud de onda y polarización (oscilan en el mismo plano).

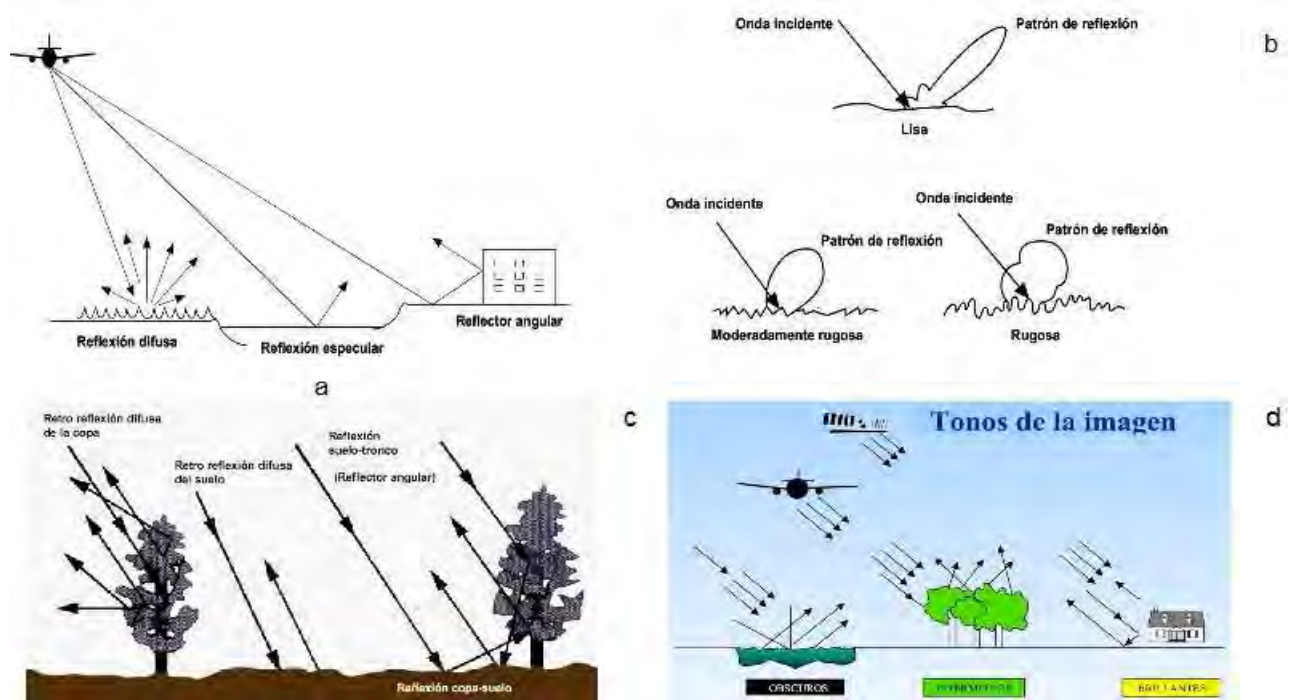


Figura 12 a, b, c y d. Los mecanismos de interacción básicos entre una onda y un objeto de la superficie terrestre son 4 (CCRS, 2008)

Los mecanismos de interacción básicos entre una onda y un objeto de la superficie terrestre son 4 (Figura 12). En las superficies lisas como las aguas quietas o caminos pavimentados se produce la reflexión especular, la energía reflejada se aleja en dirección contraria al sensor y por ello en la imagen la superficie se ve oscura (Figura 12d).

En las superficies irregulares (en comparación con la longitud de onda y el ángulo de incidencia del haz) o rugosas, como la vegetación, se produce reflexión difusa por lo cual se dispersará en muchas direcciones y una parte de esta regresará al sensor, y por lo tanto aparecerá brillante.

Algunos objetos geométricos como los edificios modifican el ángulo de reflexión de la energía incidente, lo que puede intensificar la energía que regresa al sensor y por ende aparecer más brillante en la imagen.

Otro mecanismo es la dispersión en volumen donde se dan procesos de reflexión múltiple, como en las copas de los árboles de un bosque, u otros tipos de vegetación muy densa.

Si bien estos mecanismos de interacción son marcadamente distintos, tanto desde la física involucrada como desde la respuesta generada, en la mayoría de los casos la señal recibida por el sensor SAR es una integración de respuestas de distintos elementos con mecanismos de interacción diferentes.

II.3. Preprocesamiento

Se entiende al preprocesamiento como todo aquel procedimiento aplicado a las imágenes con el objeto de que las mismas puedan ser utilizadas en procedimientos de extracción de información.

El objetivo es la conversión de los valores presentes en las imágenes obtenidas de las agencias espaciales en magnitudes físicas, eliminando cualquier anomalía presente en las imágenes, ya sean generadas por la atmósfera, por la plataforma satelital, o de localización. Las correcciones involucradas en el preprocesamiento son las siguientes:

- La **corrección radiométrica**, se utiliza para transformar los ND (números digitales, valores presentes en las imágenes según son entregadas por las agencias espaciales) en valores de magnitudes físicas. Esta corrección es vital en el caso de aplicaciones que incluyan comparaciones de los datos obtenidos por un sensor a lo largo del tiempo, o comparaciones entre sensores, o en el caso de que se quiera comparar los valores físicos obtenidos de las imágenes con parámetros biofísicos obtenidos en el terreno. Los procedimientos varían según el tipo de sensor utilizado (óptico, térmico o de microondas activas o pasivas). Para este trabajo se obtuvieron las siguientes

magnitudes físicas:

- reflectancia en superficie, radiancias en el óptico,
- temperatura de brillo en el térmico, y
- coeficiente de backscattering en potencia, amplitud y decibeles.

- En la **corrección atmosférica** el objetivo es obtener la radiancia de la cubierta terrestre a partir de la radiancia que llega al sensor, teniendo en cuenta que ésta última es dispersada y absorbida selectivamente por la atmósfera. Esto dificulta la comparación de firmas espectrales en los estudios multitemporales y con datos de radiómetros (ya sean tomados a campo o de bibliografía) y entre imágenes obtenidas por distintos sensores.

La atmósfera está compuesta por gases y aerosoles, éstos últimos son partículas en suspensión de origen muy diverso: oceánicos (debido al movimiento de las aguas) o continental (polvo en suspensión o partículas emitidas por combustión), que tienen una importancia en el clima terrestre, tanto por su efecto absorbente como dispersor, modificando las propiedades de las nubes, el albedo terrestre y la química atmosférica. En función de su origen y características poseen muy variados tamaños, lo que implica distintos tipos de dispersión dependiendo del diámetro de los aerosoles. Entre ellas podemos mencionar las siguientes dispersiones (Chuvienco, 2007):

- Rayleigh: causada por partículas de diámetro inferior a la longitud de onda, y afecta especialmente a las longitudes de onda más cortas (Pinilla, 1995). Es la causante del color azul del cielo, y la de mayor influencia en teledetección.
- Mie: se trata de partículas de diámetro similar a la longitud de onda, como por ejemplo los aerosoles y polvos de los incendios forestales o brumas costeras.
- No selectiva, provocada por partículas de mayor tamaño que la longitud de onda. Afecta por igual a diversas longitudes de onda, y es ocasionada por las nubes o la niebla, que tienden a aparecer blancas, ya que dispersan por igual toda la luz visible.

En el caso de las imágenes SAR no se aplicó este tipo de corrección debido a que estos sensores son poco afectados por la atmósfera (CCRS, 2008).

- La **corrección geométrica** es la transformación consistente en cambiar la posición que ocupan los píxeles para ajustarlos a la realidad del terreno y, en la mayoría de los casos, en asignarle un sistema de coordenadas que los ubique en la superficie terrestre (Pinilla, 1995). Esta corrección es imprescindible para aplicaciones de detección de cambios entre imágenes, para comparaciones de valores entre imágenes del mismo o de distintos sensores, y para la combinación con otro tipo de datos espaciales, incluidos los vectoriales. La corrección geométrica tiene 2 partes: interpolación espacial e interpolación radiométrica.

La primera consiste en la toma de puntos de control que relacionen los píxeles de la imagen con su ubicación en el plano. La segunda consiste en la asignación de valores a la nueva grilla generada en el paso anterior.

En las imágenes ópticas y térmicas se aplicó el método de interpolación radiométrica el Vecino más cercano (nearest neighbour), asigna a cada píxel de la imagen corregida el valor del píxel más cercano en la imagen original. La ventaja es que conserva la radiometría original sin realizar promedios de los valores. Su principal desventaja es la distorsión que introduce en rasgos lineales de la imagen (fallas, carreteras o caminos), que pueden aparecer en la imagen corregida como líneas quebradas (Chuvienco, 2007).

En el caso de las imágenes SAR se utilizó el método de interpolación radiométrica Convolución cúbica (cubic convolution): considera los valores de los 16 píxeles más próximos y aplica una aproximación de una función de convolución sobre los datos en vez de una lineal (Chuvienco, 2007). La ventaja es que mejora el efecto visual conservando los valores locales y texturas pero su volumen de cálculo es más elevado, insume tiempo de procesamiento y altera los valores radiométricos (CCRS, 2008). En SAR, "... es conveniente considerar lo siguiente: 1) el método de vecino más próximo mantiene la estadística global pero cambia la textura local, 2) la interpolación bilineal degrada la resolución, y 3) la convolución cúbica tiende a mantener la fidelidad en los valores locales y texturas. Por la tanto se recomienda este último método" (Frulla et al., 1998).

Capítulo III. Marco metodológico con imágenes ópticas y térmicas

La metodología se dividió en tres etapas (Figura 13), con el fin de detectar sitios potencialmente contaminados a partir de un conjunto de sitios contaminados o de referencia, y la actualización de estos últimos en cuanto a la superficie y estado, utilizando datos vectoriales y raster. Se aplicaron las metodologías nombradas en el ítem 1.2 (Antecedentes metodológicos), considerando sitios potencialmente contaminados como las áreas en comunes de los métodos con eficiencia de detección mayor al 50%. Estos fueron ingresados al inventario, y como paso final deberán ser confirmados con relevamiento de campo.

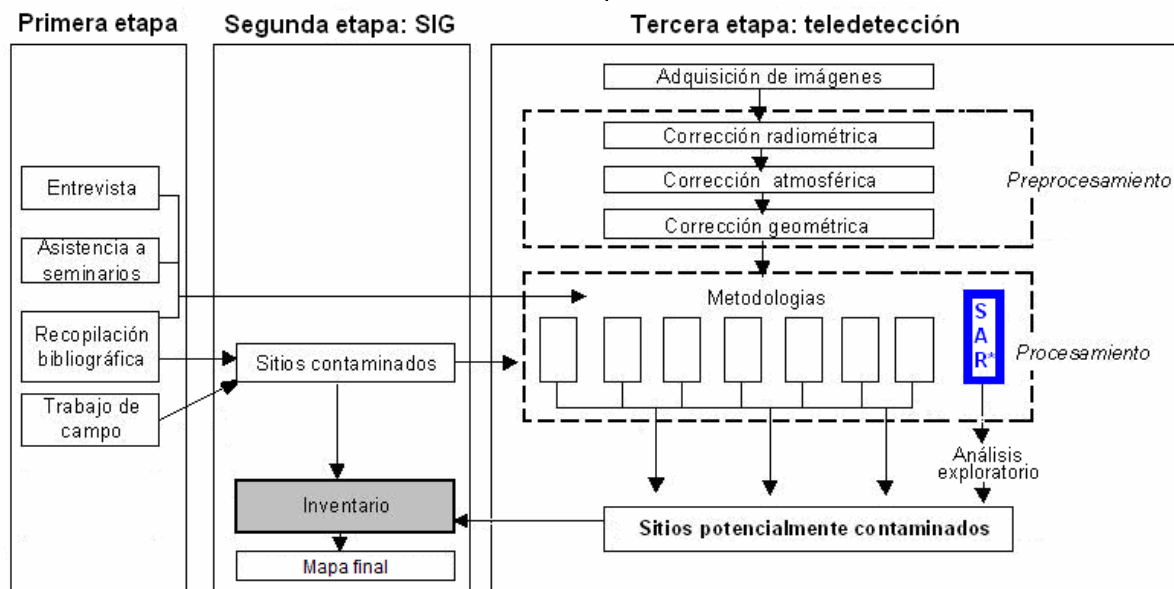


Figura 13. Esquema conceptual de la metodología. *El pre y procesamiento de las imágenes SAR serán descrita en un capítulo posterior.

III.1. Primera etapa de trabajo

En esta primer etapa se realizó una *entrevista* al Dr. Gianfranco Pandiscia de Telespazio Spa del Centro Spaziale di Matera en Italia. De dicha entrevista se obtuvieron los resultados de su trabajo¹⁷ con análisis multitemporal (1990-1999) de la provincia de Pavia con imágenes ópticas SPOT y Landsat 5 para la detección de basurales y cavas, así como también los nombres de las instituciones y organismos dedicados a la detección de sitios contaminados.

Con respecto a los *seminarios*¹⁸ se asistió a tres eventos Italia en el marco de la maestría AEARTE durante el período febrero a julio de 2010. El primero sobre las aplicaciones de imágenes hiperespectrales de la Agencia Espacial Europea (ESA), el segundo sobre el proyecto actual *El uso de Teledetección y SIG para el mapa de basurales ilegales y canteras*, con imágenes ópticas y SIG organizados por La Magistratura del Agua y la Dirección de la Protección del Ambiente de Venecia, y la presentación de trabajos del proyecto actual *Observación de la Tierra para la Gestión de Residuos (WASTEMON) de la ESA*, con el uso de imágenes de ópticas de alta resolución.

La *recopilación bibliográfica* se orientó en dos temáticas: las metodologías de detección de sitios contaminados con imágenes ópticas, térmicas y SAR y la ubicación de estos sitios y otras cubiertas¹⁹ en el GBA.

¹⁷ La entrevista se realizó el 14 de abril de 2010 en la Agencia Espacial Italiana en Matera, y se realizaron preguntas sobre la publicación *Monitoraggio ambientale mediante telerilevamento satellitare delle cave e delle discariche del territorio della Provincia di Pavia dal 1990 al 1999*. Settore Ambiente della Provincia di Pavia, Italia (Pandiscia et al., 1999).

¹⁸ Seminarios: Hyperspectral WorkShop 2010 ESRIN en Frascati del 17 al 19 de marzo de 2010, ENVI User Group Research Systems Italia doing business as ITT Visual Information Solutions en Roma en junio y en Bari y en 2010, Italia.

¹⁹ En el caso de la detección térmica se encontraron que varias áreas construidas y con techos de chapa presentaban el mismo rango térmico que los basurales, la gran mayoría correspondía a aeropuertos, calles y clubes entre otros, por lo cual se realizó una búsqueda de estas áreas para descartarlos como posibles sitios

Para la primera búsqueda se utilizó la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación y el buscador Google en tres idiomas (castellano, inglés e italiano).

En el segundo caso, se encontraron **490** sitios contaminados y otras coberturas mediante consultas a los siguientes organismos y publicaciones:

- UNGS: diagnósticos ambientales de la de los partidos de: Moreno (1999), Hurlingham (2000), San Miguel (2001 y 2006), Del Pilar (2002), Ituzaingó (2003), Malvinas Argentinas (1997 y 2004), José C. Paz (1998 y 2005), Morón (2007) y San Fernando (2008).
- CIM-CEAMSE: Atlas de la basura del Área Metropolitana de Buenos Aires, datos de basurales y rellenos sanitarios al 2007.
- Defensor del Pueblo de la Nación y Defensoría de la Ciudad de Buenos Aires: listados de chatarreras de la Cuenca Matanza Riachuelo al 2006 y 2007.
- Atlas Ambiental de Buenos Aires (AABA): mapas de basurales obtenidos por el servicio Web Map Service y datos vectoriales en formato Kml de calles, aeropuertos y clubes.
- Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial (DPOUyT) de la Provincia de Buenos Aires: mapas de redes viales, FFCC, basurales al 2005, relieve, industrias y FFCC.
- Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible de la provincia de Buenos Aires (OPDS): listado de los basurales erradicados al 2010.
- ACUMAR: datos vectoriales en formato Kml sobre basurales, industrias y villas de los partidos pertenecientes a la Cuenca Matanza-Riachuelo” al 2010.
- Tesina de licenciatura de Miño (2007) con datos vectoriales de basurales del partido de Pilar al 2007.
- Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina, del 2010 del Programa Sistema Nacional de Información Hídrica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH): datos vectoriales de partidos, localidades y cursos de agua.
- Infohabitat. datos vectoriales de villas y asentamiento precarios.
- Tesis de doctorado de Herrero (2006), mapas de barrios cerrados e industrias del GBA.
- U.S. Geological Survey: datos vectoriales sobre cuencas y ríos y un Modelo de Elevación del Terreno de 30 m de resolución del 17 de octubre de 2011 (ASTER Global Digital Elevation Model, 1 Arc Second scene ASTGDENV2_0S35W059).
- Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD): mapa e informe sobre la generación per capita de residuos (Kg x habitante x día) por partidos al 2009.
- Recortes periodísticos de diferentes diarios en papel y digital.

En el *relevamiento de campo* se detectaron **23** sitios, dicho trabajo se realizó en enero, agosto y septiembre de 2011 mediante inspección visual en las localidades de Los Polvorines y San Miguel, además de las áreas vecinas de las vías del Ferrocarril Belgrano Norte, desde la estación Los Polvorines hasta Retiro en la CABA. En total se obtuvieron **513** sitios de referencia con una superficie de **2.945 ha** (Tabla 2, Figura 14).

	Cantidad		Área (ha)	
Basurales	324	63%	612	21%
Chatarreras	20	4%	12	0%
Cuerpos de agua	77	15%	176	6%
Ex-Basurales	79	15%	153	5%
Rellenos sanitarios	6	1%	1.992	68%
Total	513	100%	2.945	100%

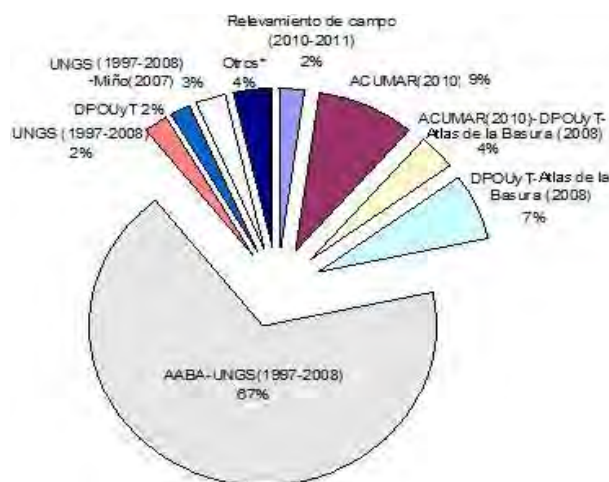


Tabla 2 y Figura 14. Cantidad de sitios contaminados obtenidos de recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

contaminados.

III.2. Segunda etapa: SIG

Los 513 sitios contaminados equivalentes a 2.945 ha (Mapa 1) fueron ingresados al inventario y controlados con Google Earth (desde octubre de 2010 hasta julio de 2011) obteniendo: 388 activos (2.619 ha) que presentaron patrones visuales de sitio y 125 inactivos (326 ha).

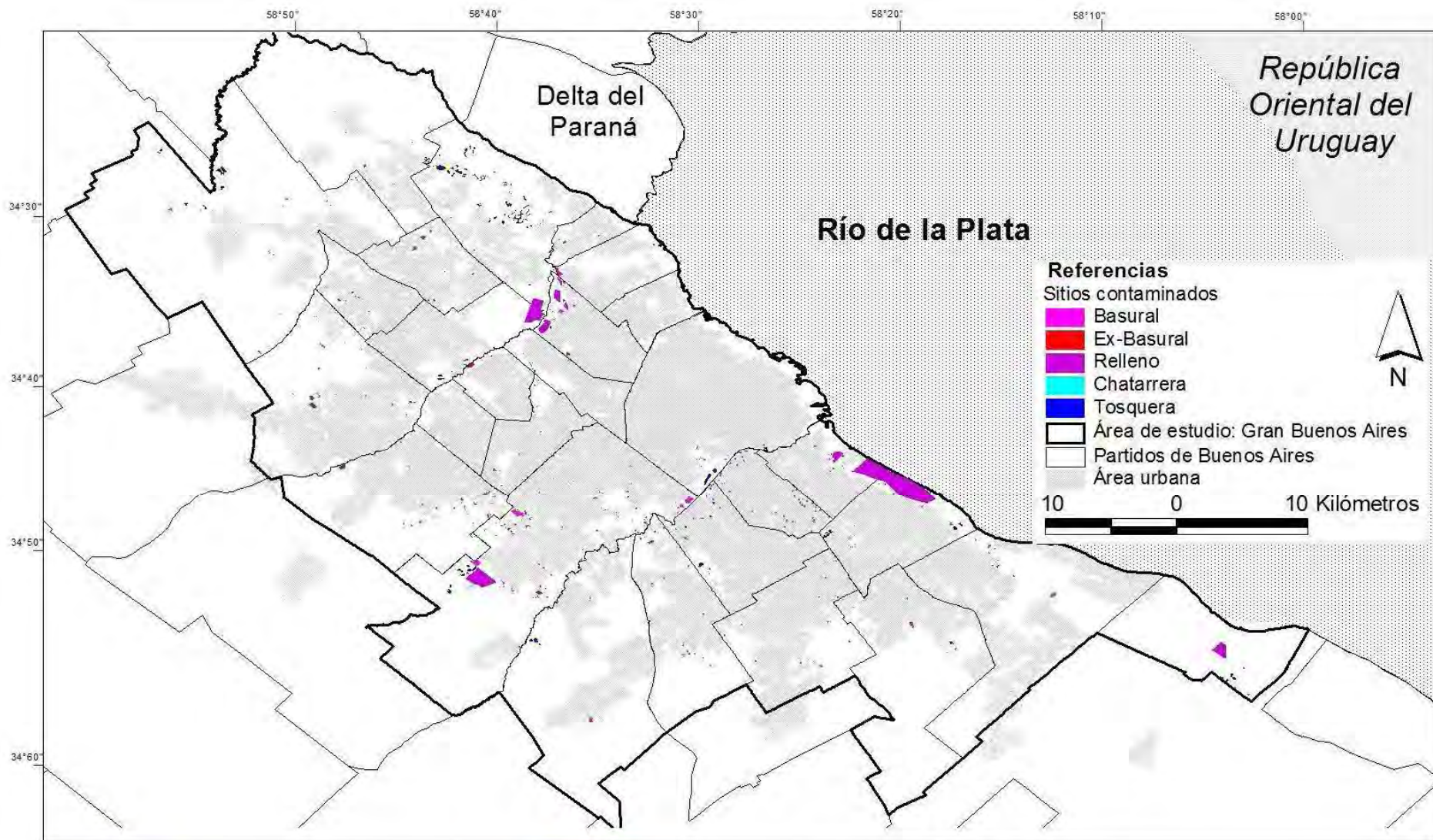
Los datos que no se encontraban en formato vectorial fueron digitalizados, georreferenciados y junto a las restantes coberturas vectoriales fueron proyectadas a Gauss Krüger faja 6.

Los formatos de los archivos utilizados en este trabajo fueron kml para Google Earth, shp para ArcView y roi para ENVI, con los siguientes campos:

- Nombre del sitio: indicado con las iniciales y un número identificador (por ejemplo: B1 en el caso de los basurales, EXB1 para los ex basurales, RS1 para los rellenos sanitarios, CA1 en el caso los cuerpos de agua y Chat1 para las chatarreras).
- Tipo de sitio: basural, ex basural, relleno sanitario, cuerpo de agua y chatarrera
- Fuentes: donde se indica la fuente de información descrita en el ítem anterior.
- Método: se indica si corresponde a recopilación bibliográfica, relevamiento de campo o los métodos de extracciones utilizadas en el caso de los sitios potencialmente contaminados.
- Observaciones: donde se indica el nombre original, si es activo u otra observación.
- Área (m²): la superficie del sitio en metros cuadrados.
- Área (ha): la superficie del sitio en hectáreas.
- Departamento: el nombre del municipio al que corresponda el sitio.
- Período de revisión: con el año o período de revisión visual o trabajo de campo.
- Período de relevamiento: el año o período que fue detectado.

También se consideraron variables categóricas, donde "Si" indica cercanía a 100 m, 300 o 500 m a la redonda con un sitio contaminado o posiblemente contaminado y "No" sin relación:

- AyR100m y AyR300m: cercanía a las principales avenidas, autopistas y rutas a 100 m y 300 m (Mapa 2).
- FFCC100m: cercanía a las vías del ferrocarril a 100 m (Mapa 2).
- VyA100m y VyA300m: cercanía con villas y asentamientos a 100 m y 300 m (Mapa 3).
- BC100m y BC300m: cercanía con barrios cerrados a 100 m y 300 m (Mapa 3).
- Indu100m, Indu300m e Indu500m: cercanía a industrias y parques industriales a 100 m, 300 m y 500 m (Mapa 4).
- Rios100m y Rios300m: cercanía a cursos de agua a 100 m y 300 m (Mapa 4).
- Alt100m: altitud menor de 10 m de altura, correspondiente a áreas inundables o con gran probabilidad (Mapa 5).
- OSC100m: cercanía a otros sitios contaminados (ex basurales, rellenos sanitarios, chatarreras y tosqueras) a 100 m.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

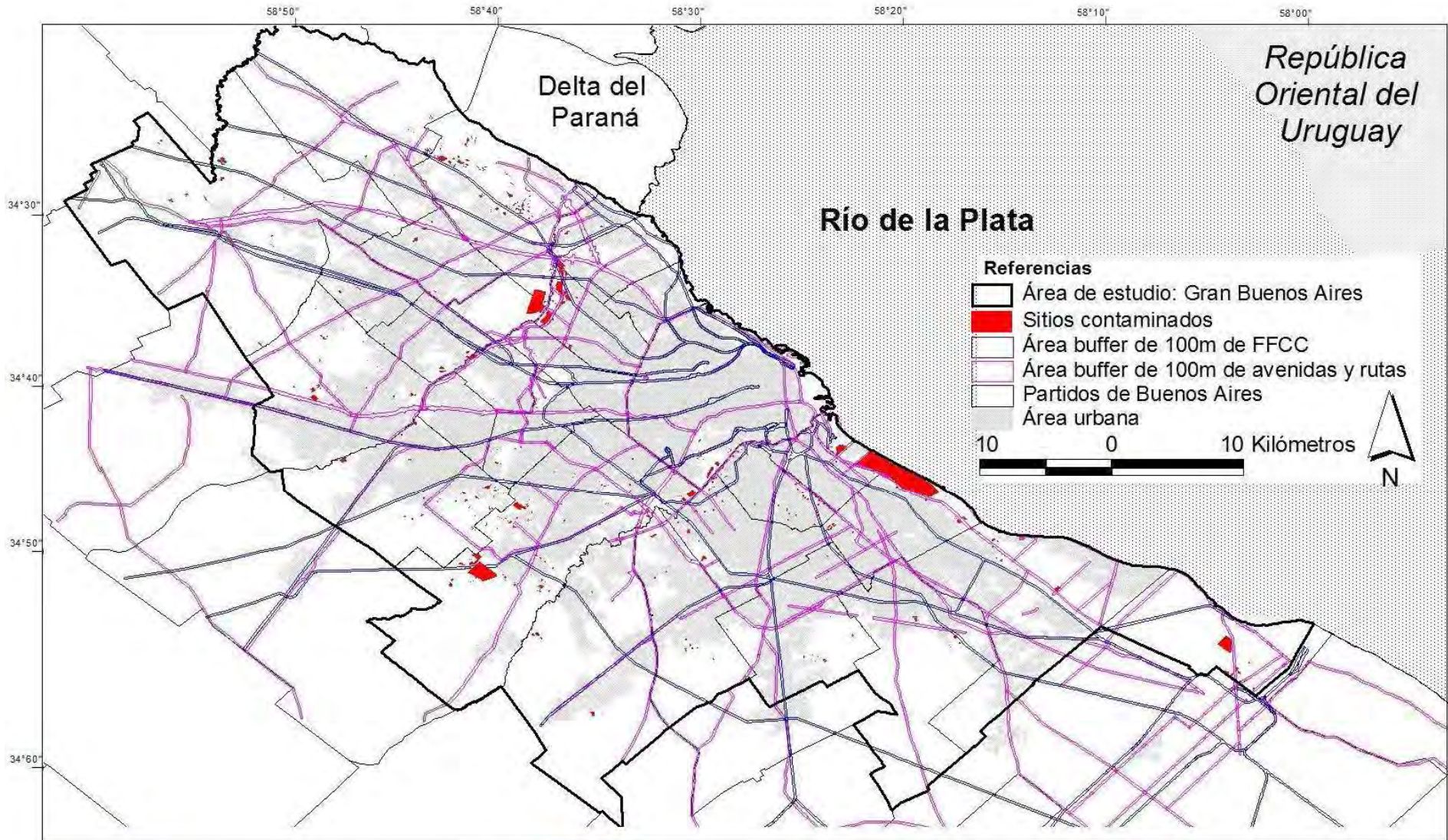
Mapa 1

Basurales, ex basurales, rellenos sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras recopilados del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarreras en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulch"



Universidad Nacional
de Córdoba

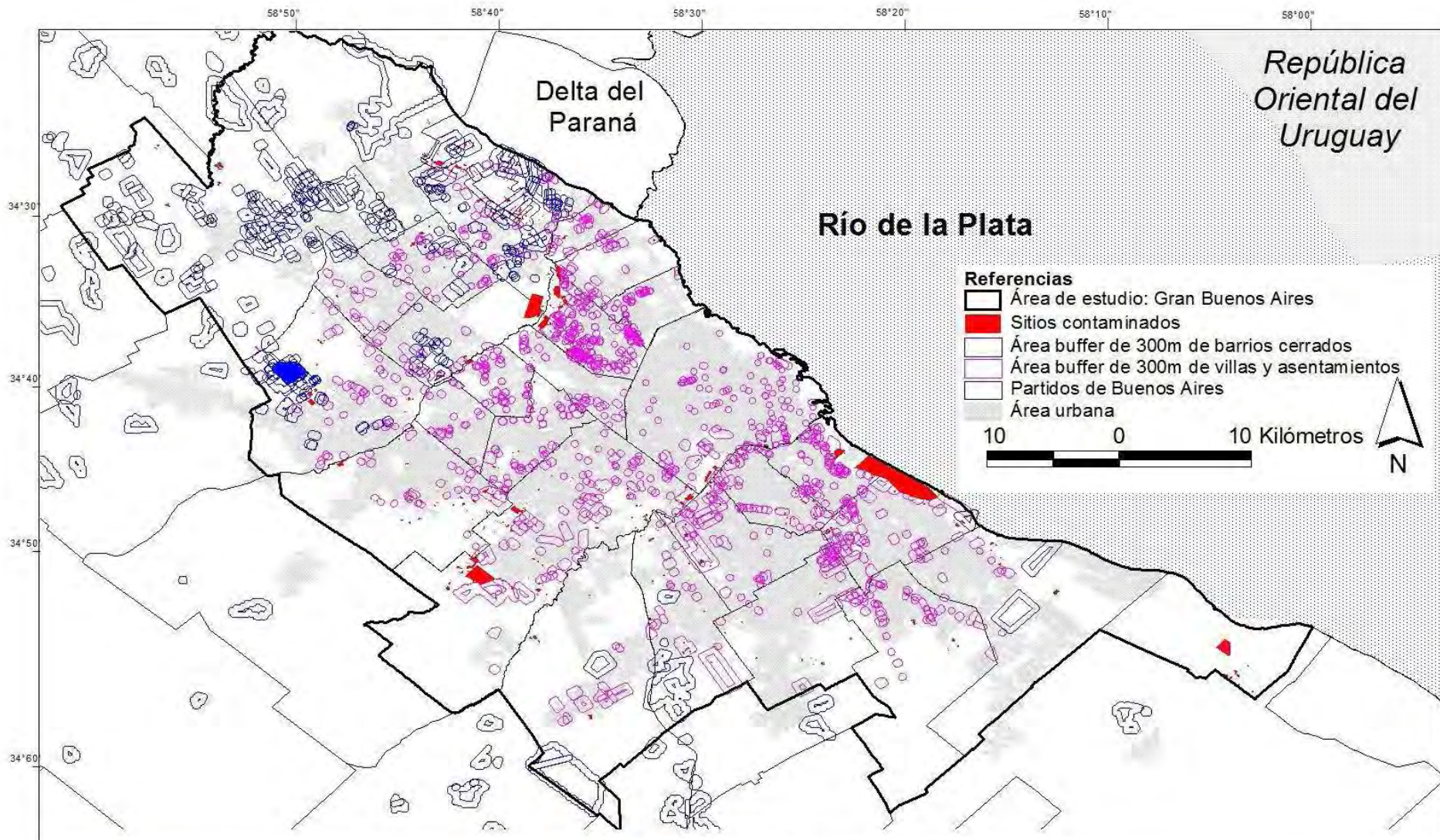
Mapa 2

Principales rutas, avenidas, vías del ferrocarril y sitios contaminados, del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

Tesis de maestría AEARTE 2009: Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

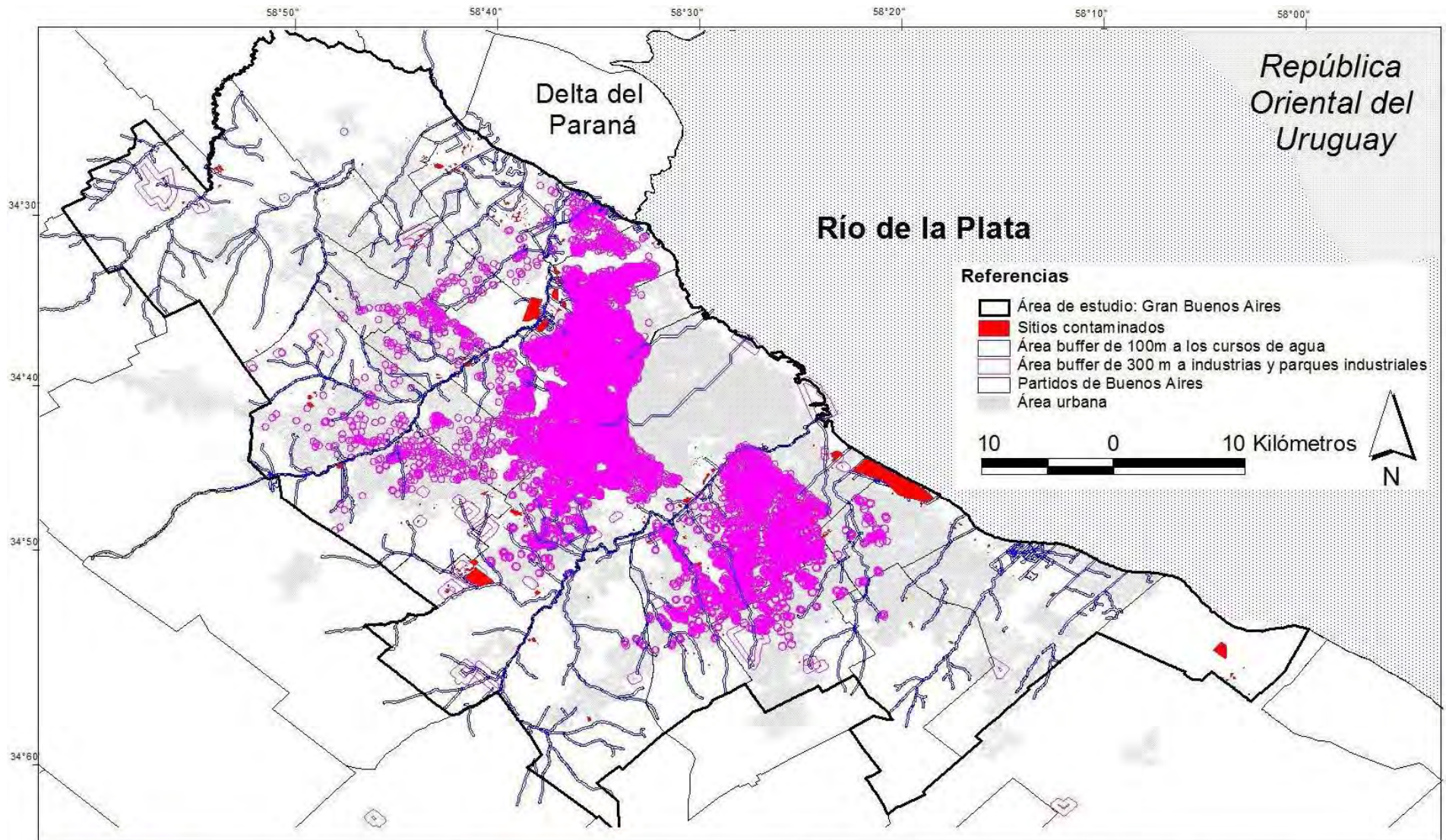
Mapa 3

Áreas buffer de asentamientos precarios, barrios cerrados y villas y sitios contaminados del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

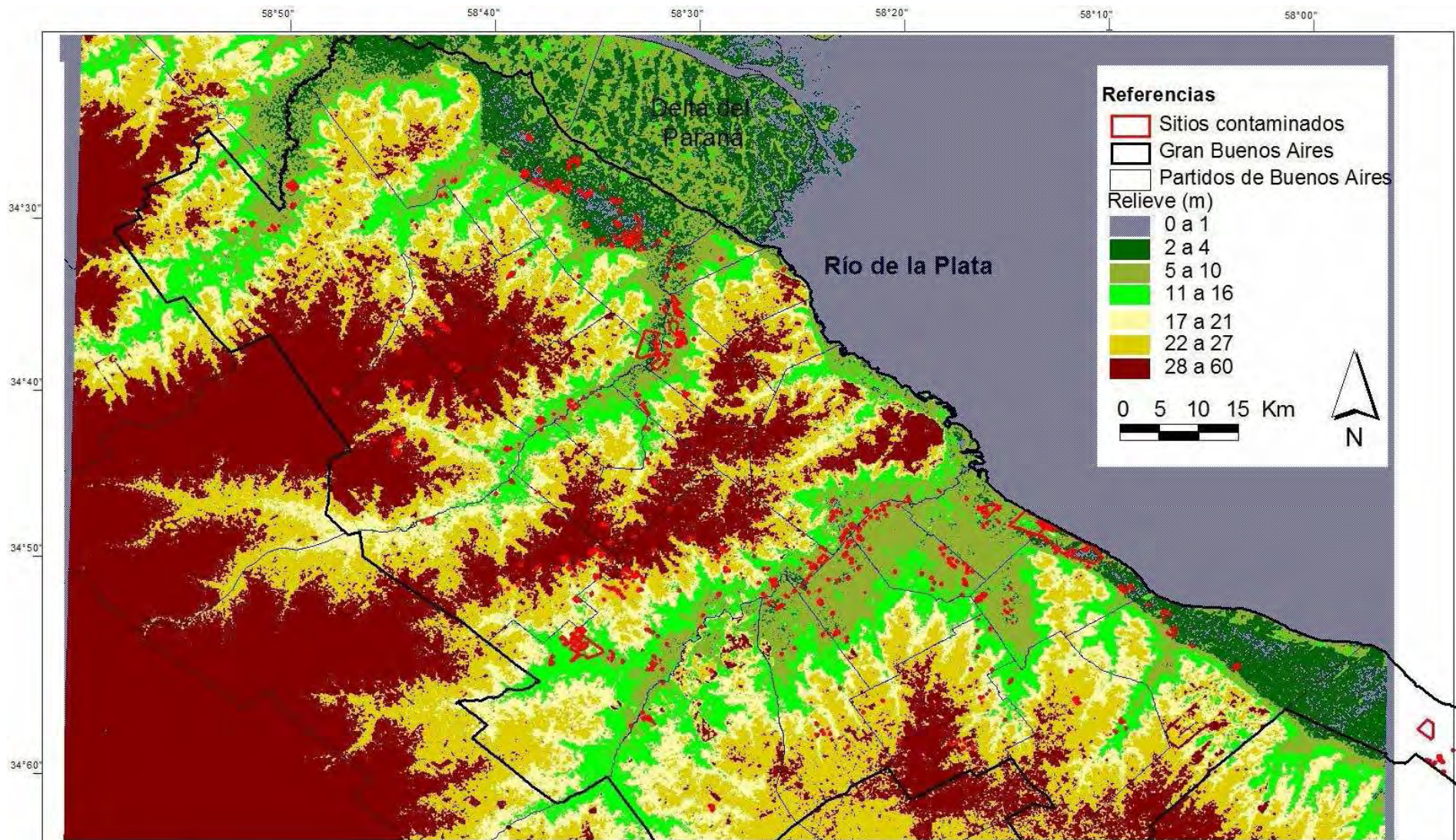
Mapa 4

Áreas buffer de cursos de agua, industrias, parques industriales y sitio contaminados del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

Tesis de maestría AEARTE 2009: Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011.



Instituto de Altos Estudios Espaciales "Marlo Gulch"



Mapa 5

Relieve y sitios contaminados del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a recopilación bibliográfica, relevamiento de campo y un Modelo de Elevación del Terreno de 30 m x 30 m de resolución espacial, ASTER del 17 de octubre de 2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009: Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011.

III.3. Tercera etapa: teledetección

En esta etapa se realizaron varias actividades, desde la adquisición de las imágenes, el preprocesamiento y la descripción de cada metodología empleada. Mientras que los resultados obtenidos se describen en el siguiente capítulo.

III.3.1. Adquisición de imágenes

La selección de imágenes ópticas estuvo orientada hacia la elaboración de una serie multitemporal por lo cual se utilizó Landsat 5, que constituye la fuente histórica más antigua para el área de estudio de 30 m de resolución espacial. En el caso de las escenas térmicas se aprovechó la banda térmica de Landsat 5 de 120 m y se buscaron 2 escenas de otro sensor con resolución espacial menor debido a que algunos sitios contaminados presentaron tamaños inferiores a 120 m x 120 m, encontrándose en el catálogo de CONAE cuatro escenas ASTER de 90 m x 90 m.

También se tuvo en cuenta nula o baja nubosidad dentro del período 2001-2011, dado que la presencia de nubes impide la visualización del área de estudio. La búsqueda de Landsat 5 se realizó en los catálogos de CONAE, el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil (INPE) y United States Geological Survey (USGS), el listado de todas las escenas utilizadas se detallan en el Anexo 3.

La interpretación visual de cada sitio se complementó el análisis con imágenes Digital Globe del programa Google Earth (versiones 4.1 al 6.1), del período 2001 a 2011. La alta resolución espacial de 0,60 a 5 m permitió delimitar mejor los predios de los sitios estudiados.

Landsat 5 TM (Thematic Mapper)

Es un satélite parte del programa Landsat 5 dedicado para la observación de los recursos terrestres, lanzado en 1984 con el fin de generar cartografía temática por la USGS.

Con resolución espacial de 30 m x 30 m correspondiente al rango del VIS, IRC e IRM y 120 m x 120 m en la banda térmica (Tabla 3). La superficie total del GBA está comprendida por una escena de Landsat 5 cuyo Path/Row es 225/84 (Figura 15).

ASTER (Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

Es un sensor transportado por el satélite TERRA, puesto en órbita en el año 1999 y diseñado para estudios geológicos, de vegetación, suelos, temperatura terrestre, topografía y fenómenos a nivel global como la actividad volcánica. El proyecto es impulsado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón.

En este trabajo sólo se consideraron las bandas térmicas de 90 m x 90 m (Tabla 3). Para cubrir la superficie total del GBA se utilizaron varias escenas de diferentes fechas (Figura 15).

Sensor		Landsat 5	ASTER
Año de lanzamiento		1984	1999
Tamaño de la escena y cantidad de bandas espectrales		185 km x 170 km 7 bandas	60 km x 60 km 14 bandas
Sensor óptico	Bandas del VIS (μm)	Azul (Banda 1):0,45 – 0,52, Verde (Banda 2):0,52-0,60 Rojo (Banda 3):0,63-0,69	-
	Bandas del IR (μm)	IRC (Banda 4):0,76-0,90 IRM (Bandas 5 y 7):1,55-1,75 2,08-2,35	-
Sensor térmico	Bandas del IRT (μm)	Banda 6:10,40-12,50	8,125-8,475 8,475-8,825 8,925-9,275 10,25-10,95 10,95-11,65
Resolución espacial		VIS, IR: 30 m x 30 m IRT: 120 m x 120 m	IRT:90 m x 90 m
Resolución temporal		16 días	16 días

Tabla 3. Características de los sensores ópticos y térmicos utilizados, Landsat 5 y ASTER.

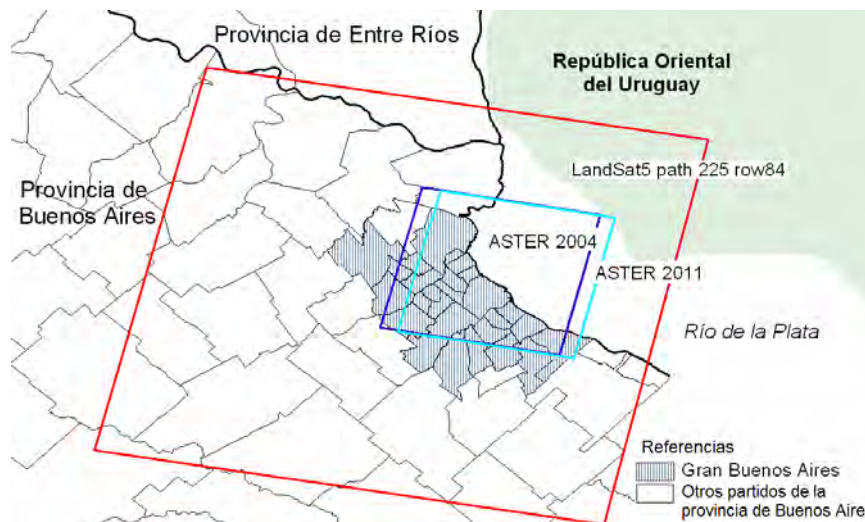


Figura 15. Área de cobertura de las imágenes Landsat 5 y ASTER para el GBA.

III.3.2. Preprocesamiento de imágenes ópticas

Para facilitar los posteriores correcciones de las imágenes Landsat se construyeron capas múltiples (layerstacking) considerando todas las bandas a excepción de la banda térmica. Éstas recibieron otro tipo de corrección.

El programa utilizado para el preprocesamiento de las imágenes ópticas fue ERDAS versión 8.7²⁰. Desde allí con la herramienta de importar se indicaron los diferentes formatos de las imágenes, la cantidad de bandas según el sensor, la dimensiones de la banda por medio de los valores de filas y columnas de encabezado de la imagen. Se trabajó con formato de datos BSQ (Band Sequential), 8 bits sin signo, y en la opción bandas múltiples se indicaron las bandas y su orden.

Las capas obtenidas tuvieron el formato .img propio del programa ERDAS, luego se realizaron las correcciones (atmosférica, radiométrica, geométrica).

Corrección radiométrica

Para Landsat 5 se cálculo la radiancia a nivel satélite (también radiancia de brillo) de cada banda mediante la siguiente ecuación (Chander et al., 2007):

$$L_{\text{sat}} = \text{DN} * \text{Gain} + \text{Bias} \quad (1)$$

Donde la radiancia (L_{sat}) tiene una relación lineal con los ND, en base a ello se construye una recta donde se obtiene la pendiente (Gain) y la ordenada al origen (Bias).

En el caso del Bias y Gain se calculan a partir de la radiancia mínima (L_{min}) y máxima (L_{max}) registrados por el sensor:

$$\text{Bias} = L_{\text{min}}; \text{Gain} = (L_{\text{max}} - L_{\text{min}})/255 \quad (2)$$

Las unidades de L_{sat} ²¹ se miden en $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$, Gain en $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m \cdot ND)$ y Bias en $watts/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$. Los ND toman valores enteros entre 0 y 255.

Los valores de Bias y Gain se tomaron de la Tabla 5 según la fecha de adquisición de la imagen, estos valores forman parte del trabajo de Chander et al. (2007) sobre el desgaste o envejecimiento del sensor Landsat 5.

Rescaling Gain (G_{rescale}) and Bias (B_{rescale})								
Processing Date	Mar 1, 1984 - May 4, 2003		May 5, 2003 - Apr 1, 2007		Apr 2, 2007 - Present			
Acquisition Date	Mar 1, 1984 - May 4, 2003		Mar 1, 1984 - Apr 1, 2007		Mar 1, 1984 - Dec 31, 1991		Jan 1, 1992 - Present	
Band	$G_{\text{rescale}}(\text{IC})$	B_{rescale}	$G_{\text{rescale}}(\text{LUT03})$	B_{rescale}	$G_{\text{rescale}}(\text{LUT07})$	B_{rescale}	$G_{\text{rescale}}(\text{LUT07})$	B_{rescale}
1	0.602431	-1.52	0.762824	-1.52	0.668706	-1.52	0.762824	-1.52
2	1.175100	-2.84	1.442510	-2.84	1.317020	-2.84	1.442510	-2.84
3	0.805765	-1.17	1.039880	-1.17	1.039880	-1.17	1.039880	-1.17
4	0.814549	-1.51	0.872588	-1.51	0.872588	-1.51	0.872588	-1.51
5	0.108078	-0.37	0.119882	-0.37	0.119882	-0.37	0.119882	-0.37
6	0.055158	1.2378	0.055158	1.2378	0.055158	1.2378	0.055158	1.2378
7	0.056980	-0.15	0.065294	-0.15	0.065294	-0.15	0.065294	-0.15

Tabla 4. Valores de Gain y Bias para Landsat 5 (Chander et al., 2007).

²⁰ Se utilizaron los módulos diseñados en ERDA por el Grupo de Teledetección Cuantitativa del IAFE.

²¹ L_{sat} mide la cantidad de energía (Watts) por unidad de superficie (m^2) en una porción del espectro (μm), considerando la distribución angular (sr unidades de ángulo) de la radiación.

Para la corrección radiométrica se utilizó un modeler diseñado en ERDAS (Figura 16), donde se cargaron los valores obtenidos anteriormente de Gain y Bias con la leyenda "Table (6:0.763,...)", indicando que son 6 bandas (sin la banda térmica) y sus respectivos valores. Se repite el proceso para Bias, ambos conjuntos de datos se guardan en tablas que luego alimentan a una función (**ecuación 1**). A su vez se indica en la parte superior el nombre de la imagen que contiene las 6 bandas, y en la inferior se indica el nombre de salida de la imagen corregida radiométricamente.

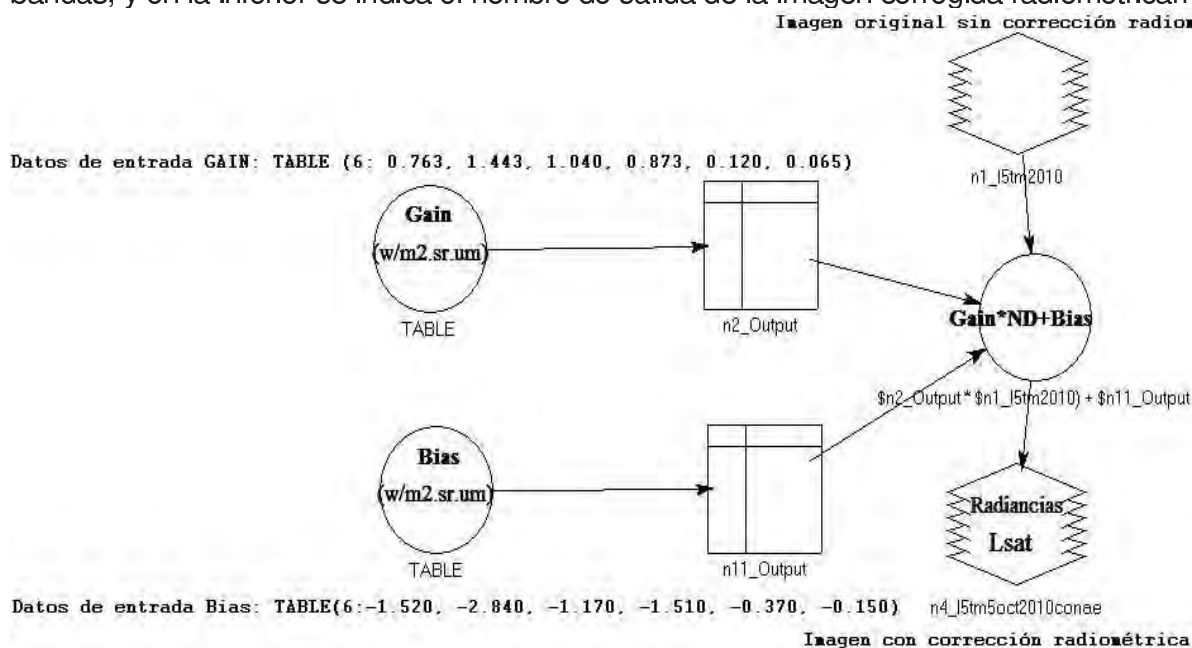


Figura 16. Modeler utilizado para la corrección radiométrica para Landsat 5.

Corrección atmosférica

En este caso se convierte la radiancia de brillo en reflectancia de superficie, corrigiendo parcialmente el efecto producido por la atmósfera, considerando solamente la dispersión Rayleigh. Se considera que la radiancia espectral recibida por el sensor es (Stumpf, 1992):

$$L_{\text{sat}} = L_{\text{sup}} + L_r \quad (3)$$

Donde L_{sup} es la radiancia de los elementos de la superficie terrestre, L_r es la radiancia por dispersión Rayleigh y depende de:

$$L_r = E_0 * \tau_r(\lambda) * \exp(-\tau_r(\lambda)/\cos\theta_{\text{sat}}) * \exp(-\tau_r(\lambda)/\cos\theta_{\text{sol}}) * (P(\psi_-) + 0.052 * P(\psi_+)) / 4 * \pi * d^{2*} * \cos\theta_{\text{sat}} \quad (4)$$

Donde: L_r es la radiancia por dispersión de Rayleigh, E_0 es la irradiación solar espectral al tope de la atmósfera, $\tau_r(\lambda)$ es la transmitancia de la atmósfera, θ_{sol} es el ángulo cenital solar, θ_{sat} es el ángulo cenital del satélite, d es la distancia tierra - sol (en unidades astronómicas) y $P(\psi_{\pm})$ es la función de fase de Rayleigh.

Donde:

$$d = 1 - 0.0167 * \cos(2 * \pi * (\text{día juliano} - 3) / 365)$$

$$P(\psi_{\pm}) = 3 * (1 + \cos^2(\psi_{\pm})) / 4 \quad \text{donde } \cos(\psi_{\pm}) \text{ es el ángulo de dispersión.}$$

$$\cos(\psi_{\pm}) = \pm \cos\theta_{\text{sat}} * \cos\theta_{\text{sol}} - \text{sen}\theta_{\text{sat}} * \text{sen}\theta_{\text{sol}} * \cos(\Phi_{\text{sat}} * \Phi_{\text{sol}}) \quad \text{donde } \Phi_{\text{sat}} \text{ es el ángulo acimutal del satélite y } \Phi_{\text{sol}} \text{ es el ángulo acimutal solar}$$

En el caso de las imágenes Landsat se asume que $\theta_{\text{sat}} = 0^\circ$, por su bajo ancho de barrido, sin cometer un error mayor al 4% en la estimación de la radiancia de Rayleigh, y también se asume que los ángulos de iluminación solar son constantes debido a la baja expresión latitudinal (Salvia, 2010).

Reflectancia en superficie

Una vez obtenida la radiancia Rayleigh, se calcula la reflectancia espectral que permite comparar datos entre imágenes de diferentes fechas o localizaciones geográficas (Salvia, 2010). Esta magnitud física es adimensional y depende de los objetos de la superficie por medio de la siguiente ecuación:

$$\rho_{\lambda} = \Phi r_{\lambda} / \Phi i_{\lambda} = \pi * (L_{\text{sat}} - L_r) * d^2 / E_0 * \cos\theta_s = \text{energía de } \lambda \text{ reflejada} / \text{energía de } \lambda \text{ incidente}$$

Corrección geométrica

En el caso de bandas VIS, IR y térmica de Landsat 5 se utilizó el método de remuestreo de Vecino más próximo, que asigna a cada píxel de la imagen corregida el valor (ND o reflectancia) del píxel más cercano en la imagen original.

Las imágenes se corregistraron con respecto a una imagen Landsat 5 del 20 diciembre 2001 con nivel de corrección 5 (presenta georreferencia con proyección Latitud – Longitud y datum WGS84), y de 30 m de resolución espacial. Se utilizaron entre 21 a 60 puntos de control con errores RMS de 0,28 a 0,40 píxeles (equivalente a 8,4 a 12m respectivamente).

En el caso de ASTER no fue necesaria la corrección geométrica debido a que el nivel de procesamiento L1B ya presentaba.

III.3.3. Preprocesamiento de imágenes térmicas

Corrección radiométrica

Para la obtención de radiancias de imágenes Landsat se empleó la misma metodología antes descrita por Chander et al. (2007). Y en base a la radiancia obtenida se calculó la temperatura de brillo (Tbrillo) a partir de la siguiente fórmula:

$$T_{\text{brillo}} = K2 / \ln(K1/L\lambda + 1) \quad (5)$$

Donde Tbrillo se mide en grados Kelvin [K], $L\lambda$ es la radiancia [$W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$] y $K1$ y $K2$ son las constantes de calibración en [$W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$] y [°K] respectivamente, específicas para cada sensor como se indica en la tabla 6.

Sensor	Banda 6 – Térmico lejano [μm]	$K1$ [$W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$]	$K2$ [°K]	Resolución espacial [m]
TM	10,4-12,5 μm	607,76	1260,56	120

Tabla 5. Valores de $K1$ y $K2$ para los sensores Landsat 5 (Chander et al., 2007)

Este paso se implemento en un modeler (Figura 17), que devuelve la imagen en grados Celsius, y con valores positivos.

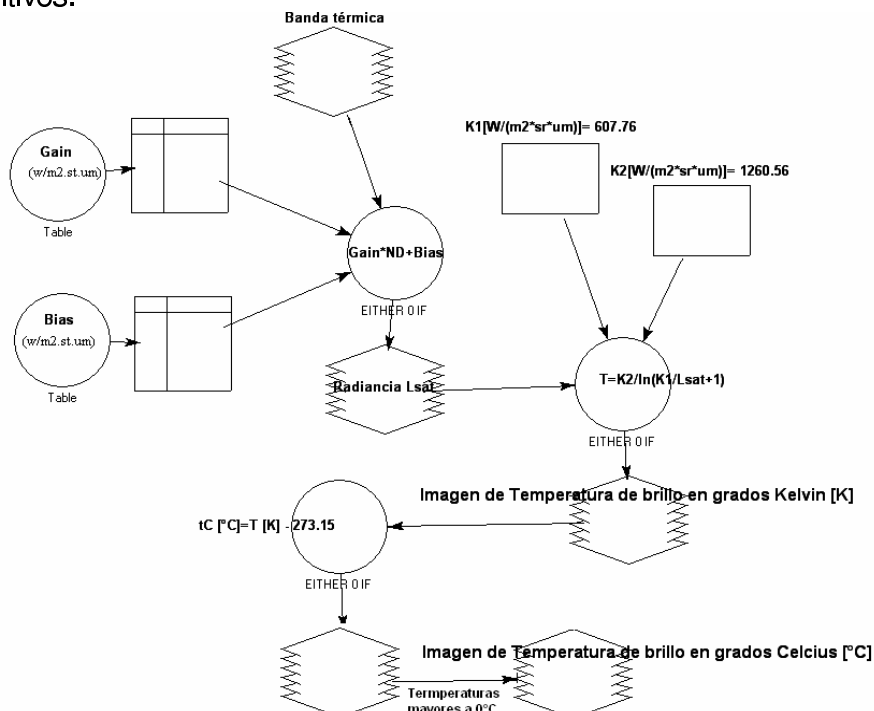


Figura 17. Modeler para la corrección radiométrica de la banda térmica.

En el caso de ASTER, se utilizaron imágenes con un nivel de corrección 1B, con corrección geométrica y en valores de radiancia del satélite $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$. Estas imágenes fueron corregidas atmosféricamente con ENVI²², y luego se calculó la temperatura en grados Kelvin, que por medio de la herramienta BandMath se transformó a grados Celsius ($TC [°C] = T [K] - 273,15$).

²² En ENVI:

Basic Tools > Preprocessing > Calibration Utilities > Thermal Atmospheric Correction
 Basic Tools > Preprocessing > Calibration Utilities > Calculate Emissivity > Emissivity Normalization.

La relación entre la radiancia con la temperatura en el tope de la atmósfera se realizó por medio de Ley de Planck, en función de la longitud de onda y la temperatura de un cuerpo negro:

$$L(\lambda_i, T_{BB}) = (C_1/\pi * \lambda_i^5) * 1/(\exp(C_2/\lambda_i * T_{BB}) - 1) \quad (6)$$

Donde λ_i es la longitud de onda central de cada banda, T_{BB} es la temperatura del cuerpo negro y C son los coeficientes de temperatura, con $C_1 = 3,7415 \times 10^4$ [$W \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^4$] y $C_2 = 1,4388 \times 10^4$ [$\mu m K$] (Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 1996).

Las imágenes fueron tomadas durante el día, con orbita descendente, path/row 225-84 y nivel de procesamiento 1B (tabla 6).

Fecha imagen	21 de octubre de 2004	27 de febrero de 2011
Hora GMT	13:54	13:55:00

Tabla 6. Datos de las imágenes ASTER.

III.4. Procesamiento

Para el cálculo de las estadísticas se tomaron entre 10 a 15 muestras de cierta cantidad de píxeles, indicada en la Tabla 7 según la resolución espacial, para cada tipo de sitio contaminado.

Sensor	Resolución espacial	Muestras	Superficie equivalente por muestra
Óptico	30 m x 30 m	50 píxeles	27.000 m ² o 2,7 ha
Térmico	120 m x 120 m	30 píxeles	432.000 m ² o 43,2 ha
	90 m x 90 m		243.000 m ² o 24,3 ha
SAR	1 m x 1 m	50 píxeles	50 m ² o 0,01 ha
	5 m x 5 m		1.250 m ² o 0,13 ha
	12,5 m x 12,5 m		7.812 m ² o 0,78 ha
	20 m x 20 m		20.000 m ² o 2 ha

Tabla 7. Resumen de las resoluciones espaciales utilizadas.

En los gráficos se excluyeron las muestras que presentaron igual comportamiento, de esta forma se mostró la heterogeneidad de cada sitio, con los programas ENVI, SPSS y Excel.

Las gráficas utilizadas fueron histogramas, diagramas de puntos, líneas de tendencia, barras y de caja y bigotes (en ingles box plot)²³. Este último gráfico permitió obtener información sobre la tendencia central, dispersión y simetría de los datos; que depende de cinco medidas (Figura 18): los límites superior e inferior, mediana, Q1 y Q3, y es de utilidad tanto para distribuciones gaussianas (normales) como aquellas que no siguen esta tendencia.

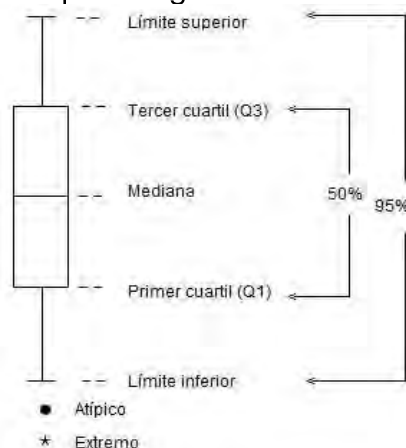


Figura 18. Características del gráfico de caja y bigotes. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

Los límites de la caja son Q3 y Q1, el primero deja el 75% de los datos por debajo de él y el segundo el 25%. En su interior hay una línea horizontal que representa la mediana y la distancia o diferencia entre Q3 y Q1 representa el 50% de los datos. Mientras que la distancia entre las dos líneas verticales o bigotes indican el 95% de los datos y cualquier valor fuera de ellos es atípico (círculo negro) y extremos (asterisco).

²³ Con la opción Analyze/Descriptive Statistics/Explore

La línea que representa la mediana indica la simetría: si está relativamente en el centro de la caja la distribución es simétrica, en el caso contrario se acerca al primer o tercer cuartil entonces la distribución puede ser sesgada a la derecha o a la izquierda. En el caso del largo de la caja y los bigotes, mientras más largo sean estos valores más dispersa es la distribución de datos, lo que indica un conjunto de datos heterogéneos (Peña, 2006).

III.4.1. Análisis visual sobre las imágenes satelitales

El primer criterio a utilizado fue el **color** que depende de la longitud de onda, se utilizaron combinaciones de bandas descritas en los antecedentes bibliográficos, para diferenciar los sitios de otras cubiertas.

Luego, se consideró el **tamaño** o dimensión que depende de la resolución y escala de trabajo.

La **asociación** fue el tercer criterio, entendiéndose como la relación existente entre una determinada cubierta con elementos vecinos en la imagen (Chuvieco, 2007). En este caso se consideraron elementos como industrias, ríos, rutas y avenidas principales, otros sitios contaminados, vías férreas, villas, asentamientos, barrios cerrados.

Adicionalmente, se consideró la altitud dentro del criterio de asociación. En el caso de sitios de disposición de residuos de gran tamaño se espera detectar cambios bruscos en el relieve debido a los montículos basura, para ello se utilizó un Modelo de Elevación Digital de ASTER de 30 m de resolución espacial.

También se determinó la **forma** o geometría de los sitios, que es independiente de la resolución espacial de la imagen.

El **tono** se utilizó sólo con las escenas SAR, y se refiere a los niveles de gris que pueden distinguirse entre el negro y el blanco y es proporcional a la intensidad de la reflexión de las microondas que recibe el SAR (CCRS, 2008).

III.4.2. Firma espectral

Otro método utilizado fue la firma espectral o curva característica de cada elemento, que representa la energía reflejada en relación con las longitudes de onda (Figura 19), con el objetivo de tomar las firmas de los sitios contaminados como referencia en la identificación y caracterización de los sitios potencialmente contaminados, tanto en este trabajo como en los posteriores para las autoridades competentes.

Para ello se tomaron entre 10 a 15 firmas por cada sitio contaminado (el valor promedio de una transecta de 50 píxeles a lo largo del predio que incluyó vegetación y/o suelo) y de otras cubiertas en base a una imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 considerando el espectro VIS e IR. En el caso de las cubiertas de vegetación, suelo, aglomerado urbano, el Río de la Plata y la Represa Roggero se graficó una firma para no dificultar la lectura del gráfico.

En base a los antecedentes de investigación, se espera que los cuerpos de agua se comporten según la descripción de la Figura 19 y los basurales un comportamiento similar a ellos excepto en IRC donde su valor es muy superior. Se desconoce el comportamiento de los ex basurales, rellenos sanitarios, chatarrerías o piletas de lixiviados.

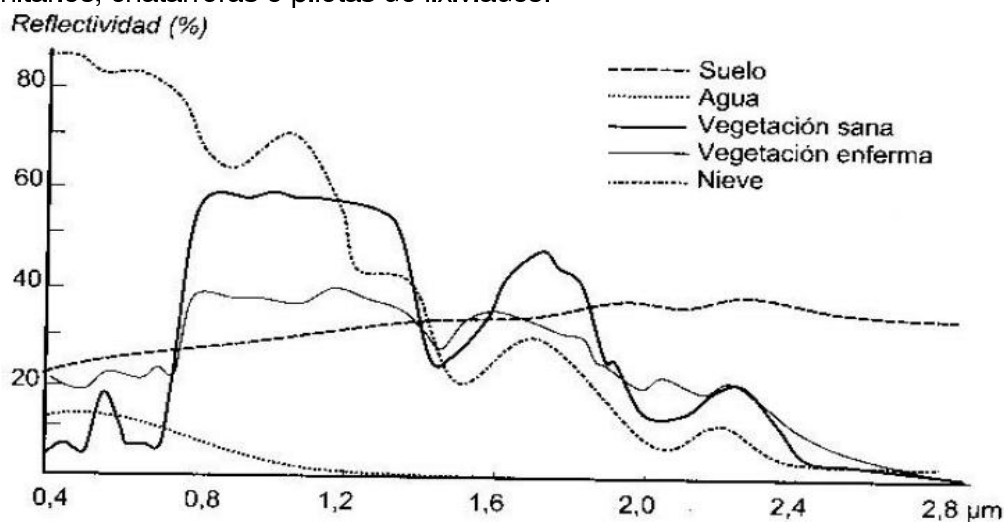


Figura 19. Firmas espectrales de diferentes coberturas (Castro, 1999).

III.4.3. Índices

Se utilizaron dos índices de agua, CEDEX para aguas continentales y el Índice de Agua de la Diferencia Normalizada (NDWI siglas en inglés) útil para discriminar aguas con baja concentración de algas, y el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI siglas en inglés) para los sitios de disposición de residuos:

$$\begin{aligned}\text{CEDEX} &= \text{IRC/Rojo} - \text{IRC/IRM} \\ \text{NDWI} &= (\text{Verde} - \text{IRC}) / (\text{Verde} + \text{IRC}) \\ \text{NDVI} &= (\text{IRC} - \text{Rojo}) / (\text{IRC} + \text{Rojo})\end{aligned}$$

Todos estos índices se basan en álgebra de bandas con el objetivo de acentuar una cubierta, considerando una banda donde la cubierta es altamente reflectante y otra en la cual es altamente absorbente. El resultado es adimensional y se encuentra dentro del rango -1 a +1, de tonos oscuros a tonos claros en la imagen. En el caso de los índices CEDEX y NDWI, empleados para detectar tosqueras con algas de las lagunas y las piletas de lixiviados, los valores cercanos a 1 indican presencia de agua mientras las cercanas a -1 ausencia como los árboles en altura.

En el caso del NDVI, el 0 indica ausencia o vegetación enferma por lixiviado y los valores cercanos a 1 indican vegetación densa y sana (Shaker y Yan, 2010), este índice fue utilizado en la serie multitemporal de NDVI para los sitios de disposición de residuos.

III.4.4. Clasificación supervisada y no supervisada

Se aplicaron un clasificador supervisado con el algoritmo de máxima probabilidad y No supervisado con el algoritmo ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis). Un clasificador permite realizar agrupamientos de píxeles según sus propiedades espectrales en base a un grupo de áreas de entrenamiento conocidas (clasificación supervisada) o en forma automática (clasificación no supervisada). Para el primer clasificador se utilizaron 15 muestras de las cuales el 80% de fue para la clasificación y el 20% para la validación.

Considerando el trabajo de Zamorano et al. (2008) sobre los basurales y rellenos en el GBA con una imagen Landsat 5, se espera baja o nula separabilidad entre los sitios de disposición de basura con áreas ribereñas donde se encuentran asentamientos precarios.

En el caso de las tosqueras con material orgánico e inorgánico en suspensión se empleó una clasificación no supervisada en las bandas Roja e IRC, esperando buena separabilidad con el restos de las cubiertas (Dukatz et al., 2005), como las piletas de lixiviados y las lagunas sin algas en suspensión.

En la clasificación *supervisada* el algoritmo de clasificación calcula el patrón promedio espectral para cada clase de entrenamiento, entonces asigna los remanentes celdas de imagen a la clase más similar (Smith, 2001). Esta regla de clasificación parte de considerar la distribución de los valores de radiancia, reflectancia o ND en distintas categorías como sujetas a una distribución normal en el caso del algoritmo de máxima probabilidad. En consecuencia, dados algún valor de un determinada celda, puede calcularse la probabilidad de pertenencia a cada una de las categorías previamente definidas, asignándose a aquéllas con que cuenta una mayor probabilidad de pertenencia (Castro, 1999).

La fiabilidad del método se evaluó mediante la matriz de confusión y los errores de omisión y comisión. La matriz muestra las frecuencias absolutas y relativas de píxeles contenidos pertenecientes a cada clase, correspondiente a la verdad de campo y las producidas en la clasificación, el error de omisión se refiere a aquellos píxeles que pertenecen a una clase en el mapa de control, pero que son incluidos en cualquiera de las otras clases en el mapa de cobertura producido mientras que los errores de comisión hacen referencia a los píxeles que son asignados a una clase en el mapa de control pero que en realidad pertenecen a cualquier otra clase, excepto aquella a la que fueron asignados (Rodríguez y Saborío, 2008). También se evaluó la separabilidad entre las clases mediante la distancia Jeffries-Matusita, que adopta un valor entre 0 y 2, lo que indica en forma creciente la separación entre clases (Richards, 1993).

Otro valor importante es el Índice Kappa, que mide la exactitud de la clasificación o aciertos entre la clasificación obtenida y la verdad de terreno (Congalton, 1988). Los valores del índice menores a 0 indican la falta de concordancia, de 0 a 0,2 leve, de 0,4 a 0,6 moderada, de 0,6 a 0,8 sustancial y de 0,8 a 1 alta (Landis y Koch, 1977 en Salvia, 2010).

En clasificación *no supervisada* el algoritmo delimita valores homogéneos dentro de la imagen (Duda y Hart, 1973), y "... calcula los promedios de las clases o agrupaciones que eventualmente están distribuidos en el espacio de decisión. En cada una de las iteraciones recalcula los promedios y reclasifica los píxeles de la imagen con respecto a los nuevos promedios. Este proceso continúa hasta que el cambio del número de píxeles en cada clase (cluster) sea mínimo respecto a un valor de tolerancia o hasta que se realiza cierto número de iteraciones predefinidas. Sin embargo, es muy artificioso señalar parámetros de control significativos sino se conocen los grupos espectrales ni el valor idóneo de dispersión o distancia entre grupos; es decir, el usuario es quien define el número de categorías que cree se pueden obtener cuando éste no tiene conocimiento de lo que estará presente en la imagen. Otra dificultad es el gran volumen de cálculo que precisa, donde a partir de la quinta iteración los cálculos son mayores que para la clasificación de máxima verosimilitud (clasificación supervisada)" (Richards, 1993 en Arango Gutiérrez et al., 2005).

III.4.5. Tasseled Cap

El Tasseled Cap es una transformación lineal que permite obtener nuevas bandas que resaltan los rasgos de la vegetación y suelo mediante ejes de variación espectral en las bandas Roja e Infrarroja.

Nuevamente, considerando el trabajo de Zamorano et al. (2008) se espera baja o nula separabilidad entre los sitios contaminados de otras cubiertas.

El gráfico resultante (Figura 20) adopta un aspecto similar a un gorro con borlas (tasseled cap), cuya base se define por la línea de suelos, donde se sitúan los distintos tipos de suelo según su brillo y color. Mientras que los cultivos se separan del suelo aproximándose al IR y convergiendo en un punto cuando se produce la máxima madurez (Chuvieco, 2007).

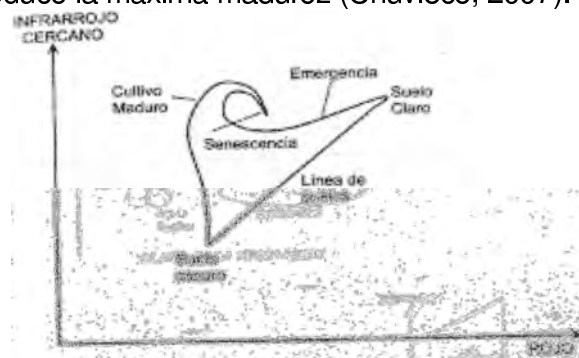


Figura 20. Infrarrojo Cercano y rojo, TTC (Chuvieco, 2007).

Es independiente de las condiciones de la escena, puesto que está basado sobre las características de las bandas. El Brillo es la suma ponderada de todas las bandas excepto la térmica, permitiendo resaltar más intensamente el brillo característico de la superficie invernada sobre el resto de las superficies. La componente verdor refleja el contraste entre las bandas visibles e IR cercano, y la componente humedad es significativamente importante puesto que resalta el contenido de humedad depositada en las superficies (Conesa García, 2004).

III.4.6. Series multitemporales

Se utilizaron dos series multitemporales con 41 escenas del período 2001 al 2011 de Landsat 5 con horario de adquisición por parte del sensor entre las 12 y 13 GTM (9 a 10 hora local), la primera con el índice NDVI a 30 m² y la segunda con la banda térmica a 120 m² de resolución espacial. Como se explicó en la sección III.3.2 todas las imágenes recibieron corrección atmosférica, geométrica y radiométrica previamente, obteniendo la reflectancia y la temperatura de brillo aparente en grados Celsius [°C].

El objetivo de esta sección fue identificar los sitios contaminados y caracterizarlos en base a la respuesta temporal del NDVI y la temperatura. Se espera identificar cambios en la salud de la vegetación de las áreas aledañas a los sitios de disposición de residuos así como también temperaturas superiores a la vegetación y el agua debido a la fermentación de la basura y similares al suelo desnudo y el aglomerado urbano según los antecedentes bibliográficos. Durante el proceso de fermentación alcanzan temperaturas de hasta 60 °C (ceamse.gov.ar) con mínimos de 20 °C. Pero esto depende de las condiciones de humedad, composición de la basura y

aireación, lo que puede superar ampliamente los 60 °C (López Garrido et al., 1980). En el caso de los rellenos y ex basurales parte de los residuos se encuentra enterrado y con cierto grado de impermeabilización por lo cual la lluvia y el viento los afecta en menor medida que los basurales a cielo abierto. Por todo lo anterior, se espera que los rellenos presenten las mayores temperaturas, y en menor medida los ex basurales y los basurales.

En el caso de los cuerpos de agua, en particular las tosqueras, se espera temperaturas intermedias entre la vegetación, el suelo y el agua, debido a que presentan sedimentos y/o algas en suspensión. Pero se desconoce si se puede diferenciar de los otros cuerpos de agua como las piletas de lixiviados o decantación y las lagunas naturales o artificiales.

Todos los sitios estudiados fueron comparados con cubiertas adicionales de agua, suelo, vegetación y aglomerado urbano del área de estudio.

Debido a la baja resolución espacial no se pudo estudiar las chatarreras con Landsat 5 lo cual se complementó con escenas del 2 de diciembre de 2004 y 27 de febrero de 2011 de ASTER de 90 m² y horario de adquisición de las 14 GTM (11 hora local).

III.4.7. Análisis de Componentes Principales (ACP)

El ACP se aplicó a una escena y a las series multitemporales, con el objetivo de reducir datos y determinar si es posible separar a los sitios contaminados del resto de las cubiertas. Según los antecedentes bibliográficos los sitios presentaban similar comportamiento con el aglomerado urbano y áreas ribereñas.

Este método fue de utilidad para la generación de máscaras de área urbana y cursos de agua, en base a una serie de NDVI del 2001-2011. Dichas máscaras fueron complementadas con datos vectoriales de las principales rutas y avenidas, las vías férreas, los aeropuertos y datos del Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina al año 2010.

El objetivo del ACP es resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto (más pequeño) sin perder una parte significativa de la información original (Chuvienco, 2007), generando nuevas variables o componentes, mediante una combinación lineal de las *p* bandas originales. Aunque se requieren los *p* componentes principales para reproducir la variabilidad total, muchas veces la mayor parte de ella está contenida en un número menor de componentes *m*. En ese caso, reemplazando las *p* bandas por los *m* componentes, se reduce la dimensionalidad del problema conservando casi la totalidad de la información (Ferrero et al., 2002).

“... desde el punto de vista estadístico, el ACP facilita una primera interpretación sobre los ejes de variabilidad de la imagen, lo que permite identificar aquellos rasgos que aparecen en la mayoría de las bandas y aquellos otros que son específicos de algún grupo de ellas”, puede aplicarse como realce previo a la interpretación visual o como procesamiento anterior a la clasificación, y es usado en aplicaciones multitemporales con el objeto de detectar cambios en distintas fechas. En este caso, los primeros componentes resultantes del análisis no son los más interesantes ya que recogen información común a las distintas fechas (la estable). Los últimos componentes ofrecen la información no común (el cambio) que es lo que interesa en este contexto (Chuvienco, 2007).

En la interpretación de los resultados obtenidos, debe tenerse en cuenta que, por realizar transformaciones lineales, los valores no corresponden a ND y por tanto no deben asociarse a la respuesta espectral del terreno (Ferrero et al., 2002).

III.4.8. Análisis espacial con Regresión Logística Binaria (RLB)

El uso de la RLB estuvo orientado a generar un modelo que expresé las variables que mejor describen a un basural en el GBA, en base a un conjunto de variables predictivas numéricas y categóricas, de manera que pueda estimarse un posible basural.

La RLB se define como:

$$P(Y=1) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2 - \beta_3 X_3 - \dots - \beta_k X_k)} \quad (6)$$

Donde Y es al variable dependiente “Sitio” que toma el valor 1 si es un basural y 0 en caso contrario, X_i son las variables independientes o explicativas que pueden ser cualitativas o cuantitativas, *p* es la probabilidad de que Y=1 o P(Y=1/X)=*p* mientras que Y=0 corresponde a P(Y=0/X)=1-*p*, **exp** denota la función exponencial, **α** se corresponde con la constante en la salida de la regresión logística y β_i (β₁, β₂... β_n) son los parámetros del modelo a determinar con las

variables predictoras.

Los pasos realizados en este trabajo para la RLB fueron los 4 siguientes (Barón López, 2004; Aguayo Canela y Lora Monge, 2007):

a) Análisis de las relaciones entre las variables independientes

Con el objetivo de eliminar las variables independientes que estén relacionadas.

Para las variables categóricas se utilizó la prueba de Chi-Cuadrado que permite determinar si dos variables categóricas con dos o más categorías cada una están o no asociadas. Si el valor de significancia (Sig.) es mayor a 0,05 se asume que las variables son independientes en caso contrario no lo son (Botella Rocamora et al., 2006).

Mientras que con las numéricas se realizaron gráficos de dispersión múltiple de puntos y tablas de correlación de Pearson. En el primer caso se incluyó la línea de tendencia para conocer el comportamiento de la variable alrededor de la recta. Si los puntos tienden a formar una línea o elipse entonces las dos bandas tenderán a estar muy relacionada. Si por el contrario, ofrece alta dispersión la relación de las bandas será pequeña (Chuvienco, 2007). De esta forma se eliminó una de las dos variables relacionadas. Y se complementó en los casos donde hubo duda con el coeficiente de Pearson, el cual adopta valores comprendidos entre -1 y 1 (Tabla 8), identificando el valor -1 una relación lineal decreciente perfecta mientras que por el contrario, el valor 1 identificaría una relación lineal creciente perfecta (Moral Peláez, 2006a). En este trabajo se consideraron los coeficientes menores o iguales a $0,2$.

Coeficiente	Relación
0	Nula
0 – 0,2	Muy baja
0,2 – 0,4	Baja
0,4 – 0,6	Moderada
0,6 – 0,8	Alta
0,8 – 1	Muy alta
1	perfecta

Tabla 8. Interpretación de los valores de los coeficientes de correlación de Pearson según el rango de valores (Moral Peláez, 2006a).

Si el valor de significancia (Sig.) de Pearson es mayor a 0,05 se acepta que no exista ninguna relación lineal entre ambas variables en caso contrario se rechaza pudiendo ser posible que exista otro tipo de relación como logarítmica, exponencial, etc.

b) La asociación bi variante entre la variable dependiente y las independientes tomadas de una en una

Con las variables categóricas se utilizó la prueba de Chi-Cuadrado pero en este caso comparándolo con la variable dependiente.

Cuando se evalúa el grado de asociación o independencia entre una variable numérica (independiente) y una variable categórica (dependiente), el procedimiento estadístico recurre a comparar las medias de la distribuciones de la variable cuantitativa en los diferentes grupos establecidos por la variable categórica que debe cumplir con una distribución Normal de la variable cuantitativa en los grupos que se comparan y la homogeneidad de varianzas en las poblaciones de las que proceden los grupos; su no cumplimiento conlleva la necesidad de recurrir a pruebas estadísticas no paramétricas (Aguayo Canela, 2007).

La prueba de normalidad se realizó con Kolmogorov – Smirnov y Shapiro-Wilks, en ambos casos cuando el valor de significancia fue mayor a 0,05 se asumió la normalidad de la distribución y luego se aplicó la prueba de Levene para conocer la homogeneidad de varianza, donde valor de significancia mayor a 0,05 indica la existencia de igualdad, al cumplirse ambos requisitos se asumió que las variables eran independientes.

c) Regresión logística binaria en base al 80% de las muestras

En este trabajo se consideró el método conocido como *Introducir* para la selección e las variables, "partiendo de un modelo inicial, en el que se obliga a que entren todas las variables seleccionadas, se va evaluando qué variable es la que menos participa en él y se elimina, volviendo a construir un nuevo modelo de regresión aplicando la misma técnica, pero excluyendo la variable seleccionada y aplicando el mismo proceso de selección. Este proceso se repite reiteradamente hasta que se

considere que el modelo obtenido es el que mejor se ajusta a las condiciones impuestas y que no se puede eliminar ninguna variable más de las que los componen" (Moral Peláez, 2006b). Para ello es necesario analizar los siguientes pasos:

- Tabla de clasificación, en un paso inicial o bloque 0: se evalúa el ajuste del modelo de regresión, comparando los valores predichos con los observados, dicho valor se expresa en %. En un modelo perfecto todos los casos serían correctamente clasificados.
- Variables de la ecuación, en un paso inicial: mediante la prueba de Wald se determina la importancia de la constante, si su valor de significancia es menor a 0,05 se asume que es significativa e inicialmente no habrá otras variables en el modelo.
- Variables que no están en la ecuación en un paso inicial: muestra cada variable con su significación estadística que irá incorporándola en la ecuación en el próximo paso.
- Pruebas ómnibus sobre los coeficientes del modelo: evalúa la importancia de cada coeficiente excepto la constante en la ecuación, en base a la prueba de Chi-Cuadrado. Si la significación estadística es menor a 0,05 se considera que añadir una variable independiente al modelo mejora el ajuste.
- Resumen del modelo: complementa a la prueba anterior para evaluar su validez. Se basa en la R cuadrado de Cox y Snell que estima la proporción de varianza de la variable dependiente explicada por las variables independientes con valores entre 0 y menores a 1 y la R cuadrado de Nagelkerke es una versión corregida de la anterior para cubrir el rango completo de 0 a 1. En un modelo con ajuste perfecto los valores serían cercanos a 1.
- Prueba de Hosmer y Lemeshow: es otra prueba para evaluar la bondad de ajuste del modelo. Se basa en agrupar los casos en deciles de riesgo y comparar la probabilidad observada con la probabilidad esperada dentro de cada decil mediante la prueba de Chi-Cuadrado. Si su valor de significancia es mayor a 0,05 se asume que el modelo logístico es un buen ajuste y los datos son aceptables.
- Tabla de clasificación, en un segundo paso o bloque 1: nuevamente se evalúa el ajuste del modelo de regresión comparando los valores predichos con los observados luego de haber incluido las variables.
- Variables en la ecuación, en un segundo paso: nuevamente se repite la prueba de Wald pero considerando las variables, si el valor de significancia es menor a 0,05 las variables son de importancia para el modelo. Esta prueba devuelve cada coeficiente necesario para elaborar la ecuación logística.
- Ecuación: se arma la ecuación en base a los coeficientes determinados en el ítem anterior.

d) Validación del método

Se valida el método con el 20% de las muestras mediante la prueba de Chi-Cuadrado. Si su valor de significancia es superior a 0,05 se acepta que la validación y la estimación no están relacionadas.

Capítulo IV. Resultados de las imágenes ópticas y térmicas

A continuación se presentan los resultados obtenidos por cada método de extracción, la eficiencia en base a 513 sitios contaminados de referencia y los potenciales sitios, en base a imágenes del período 2001 – 2011 de Landsat 5 de 30 m y 120 m de resolución espacial (path 225 y row 84 para Landsat), ASTER sólo la banda térmica de 90 m, Digital Globe de 1 a 5 m del programa Google Earth y un Modelo de Elevación Digital de ASTER de 30 m de resolución.

IV.1. Análisis visual

Para el análisis se consideró el **color** en base a las siguientes combinaciones de bandas de los antecedentes bibliográficos de una escena Landsat 5 del 26 febrero de 2011:

- (h) B4B3B2
- (i) B2/B1, B4/B1, (B2/B1 - B4/B1)
- (j) B3B4B6

Se distinguieron las piletas de lixiviados de las tosqueras y los ríos pero el aglomerado urbano presentó colores similares a los sitios de disposición de basura y las chatarreras.

En cuanto al **tamaño** se consideraron los valores de los 513 sitios y sus valores de Q1, Q3 y rangos Inter Cuartílico (Q3-Q1) (Figura 21):

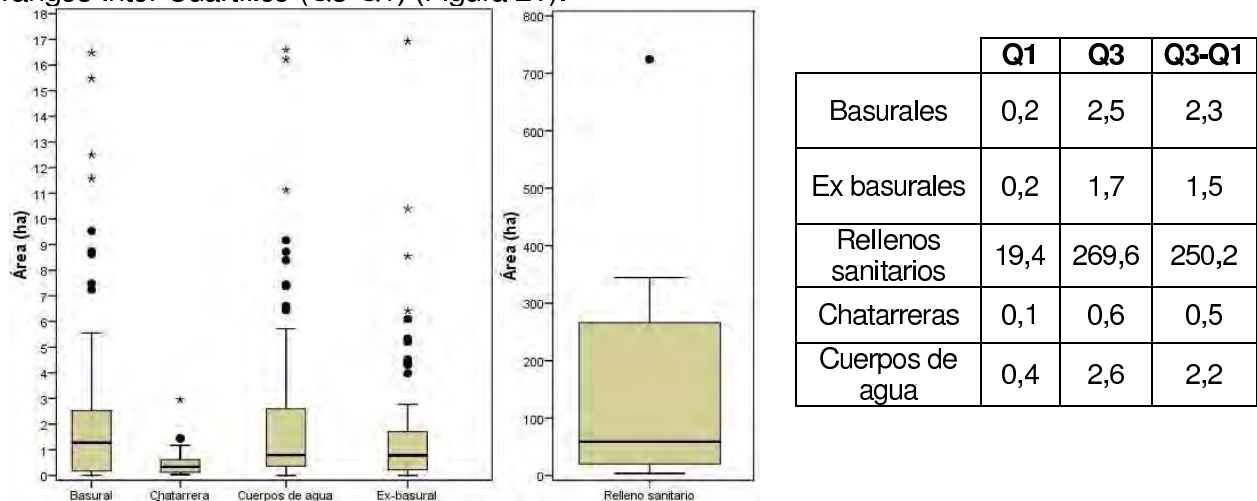


Figura 21. Áreas características en base a 513 sitios contaminados, en el caso de los rellenos sanitarios se utilizó una escala exponencial. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

Los sitios presentaron un rango de 0,1 a 2,5 ha a excepción de los rellenos sanitarios que fue muy superior, de 19,4 a 269,6 ha. El tamaño fue una característica no tomada en cuenta en los antecedentes bibliográficos. Este criterio fue considerado para los posibles sitios contaminados.

Los 513 sitios de referencia (2.945 ha) fueron verificados con imágenes satelitales encontrándose 388 activos (2.619 ha, 89%) y 125 inactivos (326 ha, 11%). Entre los activos se encontraron 17 sitios que cambiaron de tipo, es decir, pasaron de ser 17 basurales a 15 tosqueras y 2 chatarreras. Mientras que los inactivos son predios donde se encontraba un basural pero actualmente no presentan patrones visuales de sitio contaminado o hay una construcción (complejos habitacionales, barrios cerrados u otro tipo de construcción).

Es importante destacar que todos estos sitios fueron ingresados al inventario identificándose su estado actual. Asimismo, en párrafos posteriores serán descritos ambos tipos.

Por **asociación** se obtuvo que el 70% de los 388 sitios activos está en altitud menor a 10 m, el 64% a menos de 300 m de distancia de cursos de ríos y el 53% a menos de 300 m de villas y asentamientos precarios, entre otros resultados (Figura 22).

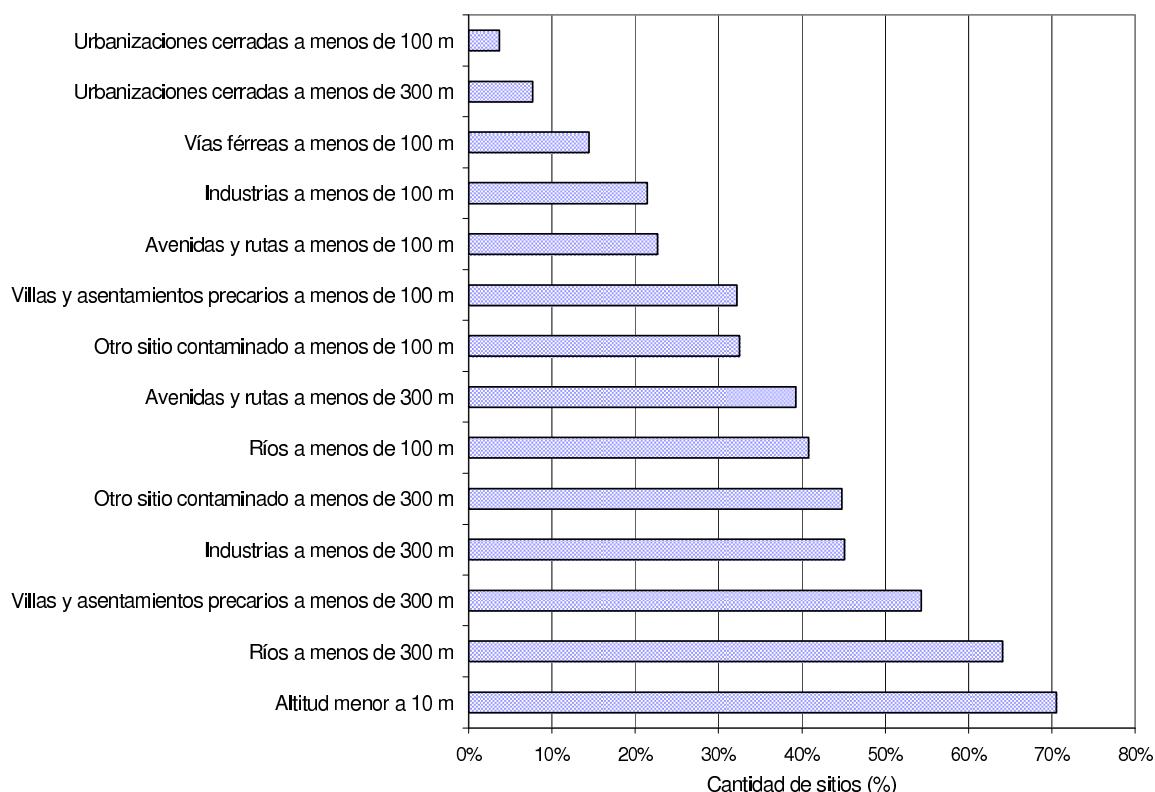


Figura 22. Estadísticas de los sitios contaminados verificados con análisis visual y cercanía con diferentes variables, en base a 388 sitios contaminados activos de referencia.

En cuanto a la **forma** los grandes basurales y ex basurales presentaron una huella o impronta en forma de árbol, un tronco (ingreso principal), numerosas ramas (camino secundarios de tierra) y copas (distintos montículos de basura a cielo abierto o de tierra). También se encontraron cercanos o en el mismo predio que industrias o grandes galpones que se diferenciaron de viviendas particulares.

Los rellenos sanitarios presentaron grandes predios, con piletas de lixiviados y en algunos casos chatarreras. En el caso de los rellenos activos se observaron en un sector del predio una montaña de color gris correspondiente a la basura triturada a cielo abierto y numerosos camiones y tractores. Los rellenos presentaron conexión con las principales autopistas del GBA.

En el caso de las chatarreras, presentaron un patrón relacionado con el orden de los vehículos, que se encontraron apilados y estacionados en grupos sin un orden general, pegados sin distancias mínimas entre ellos, contrario a los vehículos en una playa de estacionamiento.

Las tosqueras presentaron basura, agua con sedimentos y/o algas en suspensión, y varias se ubicaron en las cercanías de villas, asentamientos o en áreas periurbanas. La forma fue generalmente rectangular. Mientras que las lagunas artificiales de los barrios cerrados presentaron figuras geométricas (como por ejemplo un trébol), y varias de ellas estaban cercanas a canchas de golf. En el caso de las piletas de lixiviados se encontraron dentro de los predios de los rellenos, con forma cuadrada, rectangular o en forma de L.

Ejemplos de sitios contaminados

Predio 1: Basural

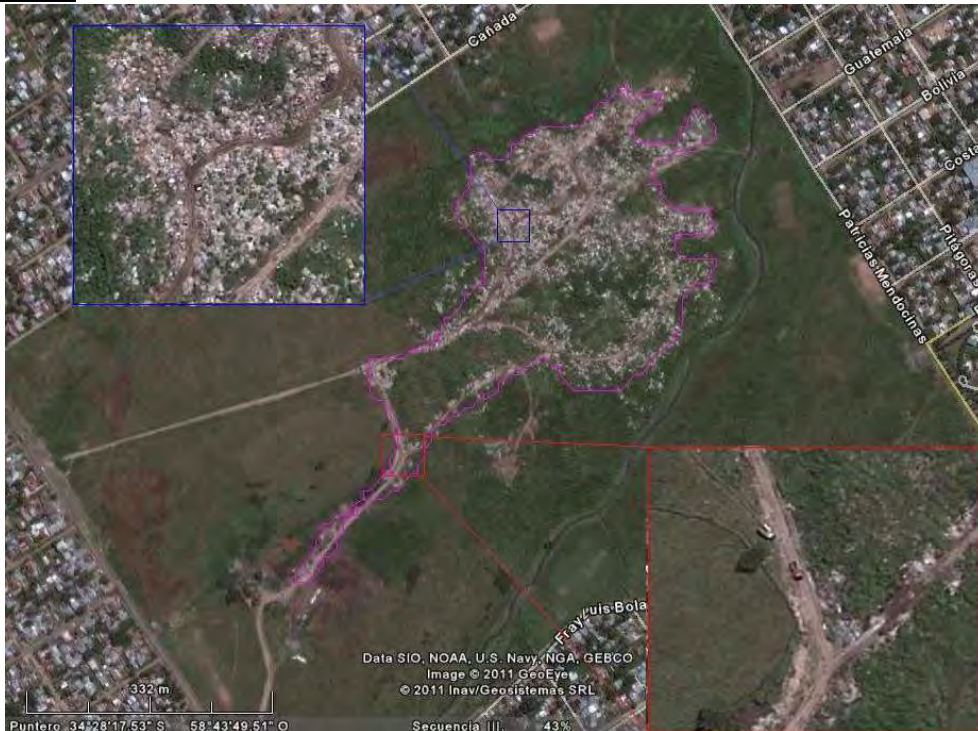


Figura 23. Basural Campo La Juanita en el Partido de Malvinas Argentinas. 24 de marzo 2010 Google Earth.

Este basural (11,57 ha) se encuentra en la intersección de las calles Patricias Mendocinas y Fray Luis Bolaños, cercano a la intersección de la Ruta 197 y la autopista Panamericana, en la localidad de Grand Bourg. Posee gran cantidad de caminos internos de tierra, dos ellos conectados a la trama urbana. Al sureste del predio (85,36 ha) se observa una casa y otras construcciones conectadas con uno de los caminos. Al éste del predio se encuentra el arroyo Claro.

En el cuadro rojo (Figura 23) se destacan 2 camiones mientras que el cuadro azul se puede observar la vegetación que no tiene una cubierta continua dado los montículos de basura, éstos con colores en la gama de blanco a marrón claro, debido al color de las bolsas en que se dispone la basura domiciliaria (las bolsas de supermercado son generalmente de color blanco) mientras que el marrón claro se debe a la tierra, con la cual muchas veces se la tapa. Presenta pequeños montículos de basura distribuidos en los intersticios de los caminos internos.

Según Suárez (1999) y Barsky et al. (2007) en los Diagnósticos ambientales realizados por la UNGS, se detectó que en un sector del campo se realizan actividades agropecuarias y se crían animales. En el predio hay una cancha de fútbol y uno de los caminos internos comunica dos de sus calles por donde los vecinos circulan libremente.

En ambos diagnósticos se observó una gran cantidad de residuos de todo tipo, entre ellos domiciliario en su mayoría, escombros de construcción, residuos patógenos, animales muertos y ramas. Sumado a esto hay una quema constante de basura en el centro del predio en la parte más baja donde se observó el trabajo de maquinaria municipal emparejando el terreno.



Figura 24. Basural Campo Rosi en el Partido de Malvinas Argentinas. Escenas del 9 marzo 2003, 2 diciembre de 2006 y 24 de marzo 2010, de izquierda a derecha, del Google Earth.

Este basural ubicado entre las calles Oncativo, Eva Perón (ex - Wilson), Pedriel y Congressales, en la localidad de Villa de Mayo, tiene más de 30 años. En la imagen del 30 de noviembre de 2009 (Figura 24) se observa un pequeño basural (1,82 ha) en el centro del terreno a los costados de un camino de tierra. El predio (12,33 ha) presenta vegetación, además es cruzado por un arroyo, y hay construcciones en él. En las imágenes del 2003 y 2006 se observa menos vegetación, mayor cantidad de caminos de tierra y mayor cantidad de basura.



Figura 25. Basural Campo Rosi al 2010, ONG Vecinos del Arroyo Darragueira del partido de Malvinas Argentinas en arroyodarragueira.blogspot.com.

Desde el año 1940 hasta 1973 este terreno funcionó como quinta agrícola (Figura 25). Los residuos vertidos en este basural son variados, desde domiciliarios (plásticos de botellas, bolsas de nylon, restos de frutas verduras, sales, restos de comidas, aceites y papeles y cartones, aerosoles, detergentes, pesticidas, antibióticos, etc.), delictivos (chatarra de autos, cables quemados, etc.) y comerciales (plásticos, bolsas de nylon entre las cuales se detectaron bolsas de sal domiciliaria y ganadera, pvc, restos de calzados, aserrín, retazos de telas, goma espuma, pilas, escombros, restos de fundición que los vecinos se llevan a sus casas). También se encontraron animales muertos y quemados (perros, gatos, roedores, etc.). “Los vecinos aseguran que hay camiones que arrojan residuos de todo tipo, y que periódicamente hay quemas de basura que desprenden humo negro y de olor fuerte, incluso se conocen focos infecciosos respiratorios por parte de las quemas y nueve casos de hepatitis, también por causa de ellas se estaría contaminando no solo la atmósfera sino también el suelo y las napas subterráneas. Cabe destacar que la mayoría de los vecinos que rodean al predio tiene sus perforaciones de agua entre los 18 y 35 m de profundidad” (Barsky et al., 2007).

Predio 2: Basural, tosquera y ex basural

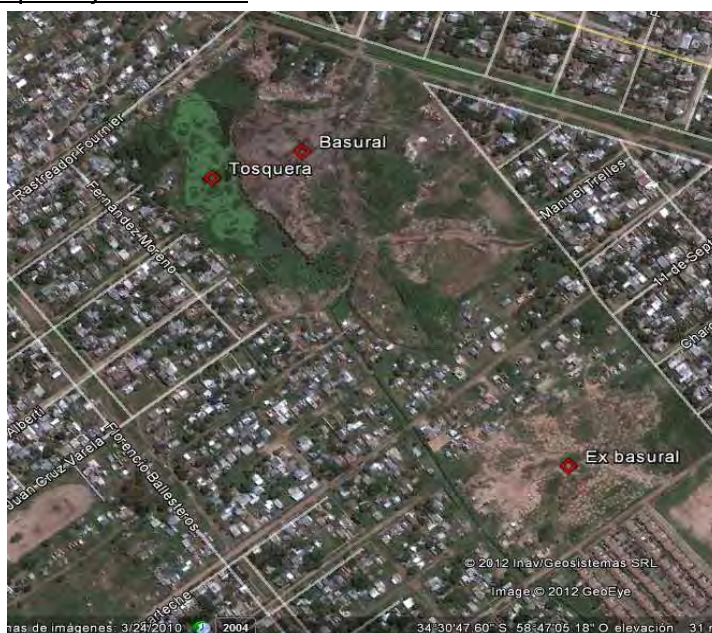


Figura 26. Basural, ex basural y tosquera “cava municipal” en el partido de José C. Paz. 24 de marzo 2010 del Google Earth.

El mayor basural (2,41 ha) junto a una tosquera (0,7 ha) se ubican en el predio (60 ha) conocido como la “cava municipal”, ubicado entre las vías del ferrocarril Urquiza y las calles Croacia, Gorriti y Fournier, en el partido de José C. Paz.

El basural presenta caminos de tierra además de montículos de basura, vegetación y suelo desnudo. A su derecha se ubica otro basural (0,34 ha) y un ex basural (0,94 ha), con las mismas características aunque el ex basural se observa tapado de tierra. Entre medio de los sitios contaminados se encuentran viviendas (Figura 26).

En el Diagnóstico ambiental de 1998 se observaron residuos patológicos, industriales y domésticos sin ningún tipo de tratamiento previo, selección o control. En ese año, este basural fue clausurado por la Municipalidad que tapo con tosca el área para combatir la presencia de roedores (Suárez, 2001). En el diagnóstico realizado en 2005 se encontraron bloques de cemento, grasa y huesos provenientes de las carnicerías cercanas, desperdicios de verdulerías, pañales (Figura 27), apósitos y algodones usados, sachets de soluciones fisiológicas y sueros, y animales muertos. Además en el predio se encontraron tortugas, patos, ranas así como también ratas y cucarachas (Miraglia et al., 2009).



Figura 27. Residuos en el basural, tomadas el 3 de septiembre de 2005 (Fernández et al., 2009).

La intensa actividad de la empresa Argital produjo décadas atrás la formación de una cava en el Barrio Vucetich que finalmente se convirtió en laguna. En las cercanías de la laguna, hasta mediados de la década de 1990, se volcaron residuos de diverso origen. La laguna es alimentada por el Arroyo Zinny, por el agua de lluvia y por agua de las napas freáticas superficiales. Por el extremo noroeste de la laguna sale el Arroyo Zinny que, luego de pasar por un estrecho conducto bajo las vías de los ex - ferrocarriles Urquiza y San Martín, se dirige hacia el noroeste hasta alcanzar el Arroyo Pinazo (Borello y Catenazzi; 2001).

Predio 3: Ex basural y chatarrera

El lugar conocido como “Predio Darragueira” (10,67 ha) ubicados entre las calles Darragueira, Rolland, Dante Aligieri y Medrano es atravesado por el Arroyo Las Orquetas, y tiene un ex basural (1,64 ha) y una chatarrera o depósito de automóviles (0,45 ha). En él se observa el camino de tierra por donde acceden los vehículos, además hay montículos de tierra correspondiente a la basura tapada y con algo de vegetación alrededor. En el caso de la chatarrera presenta un perímetro de arbustos y árboles (Figura 28).

El predio está a cargo de la Municipalidad, y está asignado a la disposición de los residuos y ramas (Barsky et al., 2007).



Figura 28. Ex basural y chatarrera en el partido de Malvinas Argentinas. 24 de marzo 2010 del Google Earth.

Predio 4: Basurales

En el área comprendida por el Río Reconquista, el aeropuerto de San Fernando y la calle Miguel Cané se encuentran tres basurales, atravesados por la Ruta 202. En ellos se observan montículos de basura y tierra, suelo desnudo, numerosos caminos y camiones en el predio ubicado al sureste (Figura 29). La altitud del predio es de 2 m y se ubica en la orilla del río Reconquista.

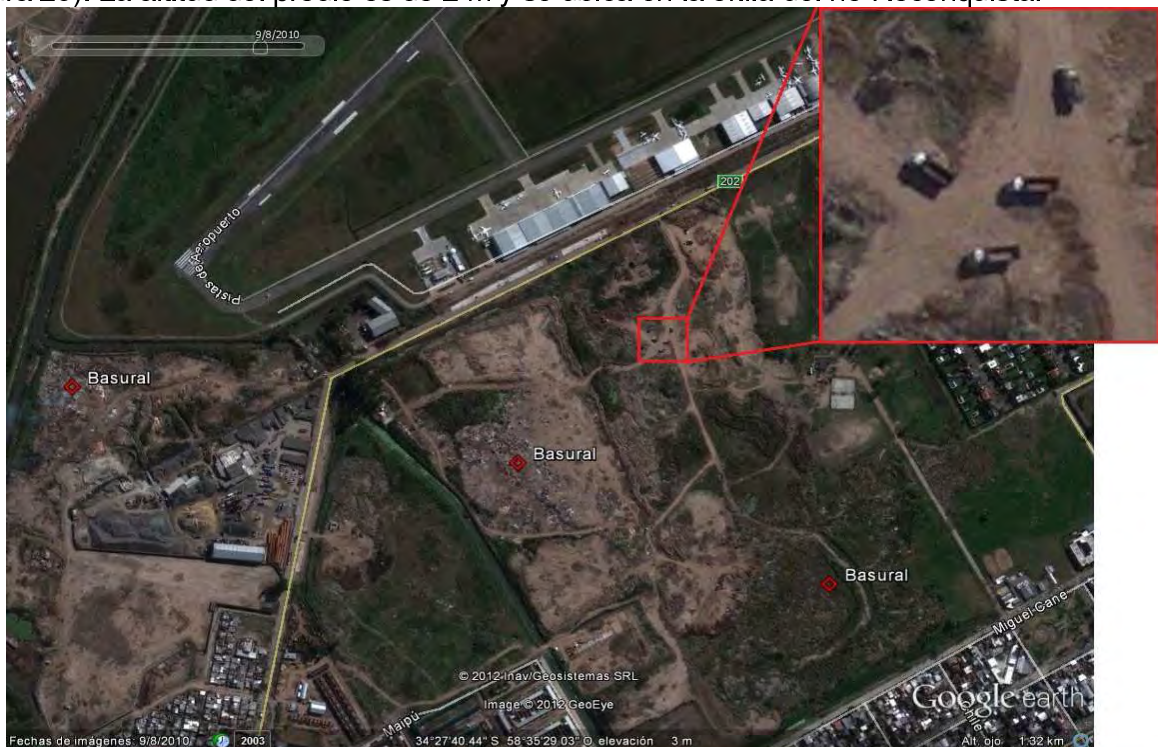


Figura 29. Basurales en el partido de San Fernando. del 8 de septiembre 2010 del Google Earth.

Predio 5: Lagunas artificiales

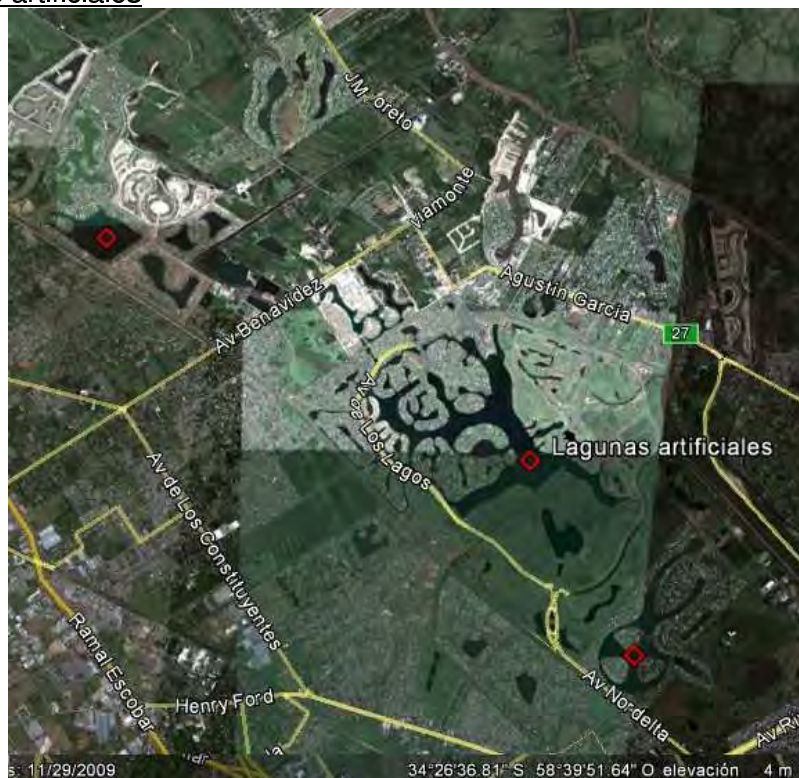


Figura 30. Cuerpos de agua (lagunas artificiales, tosqueras) en el partido de Tigre. 29 de noviembre 2009 del Google Earth.

Las lagunas de la Figura 30, perteneciente al emprendimiento Nordelta sobre los ríos Paraná de las Palmas y Luján en área inundable (0 a 2 msnm), frente a las islas del Delta del Paraná, se distinguen de las tosqueras por sus formas irregulares. El área se encuentra muy bien conectada con varias avenidas y con los ramales de Tigre y Pilar de la autopista Panamericana.

Predio 6: Tosquera

Esta tosquera con agua y basura (1,62 ha) se encuentra sobre la autopista del Buen Ayre, en el partido de San Martín. Lindante con el relleno sanitario Norte III del CEAMSE y un asentamiento. Asimismo, en la parte inferior hay 3 pequeños basurales (superficie total de 0,7 ha).

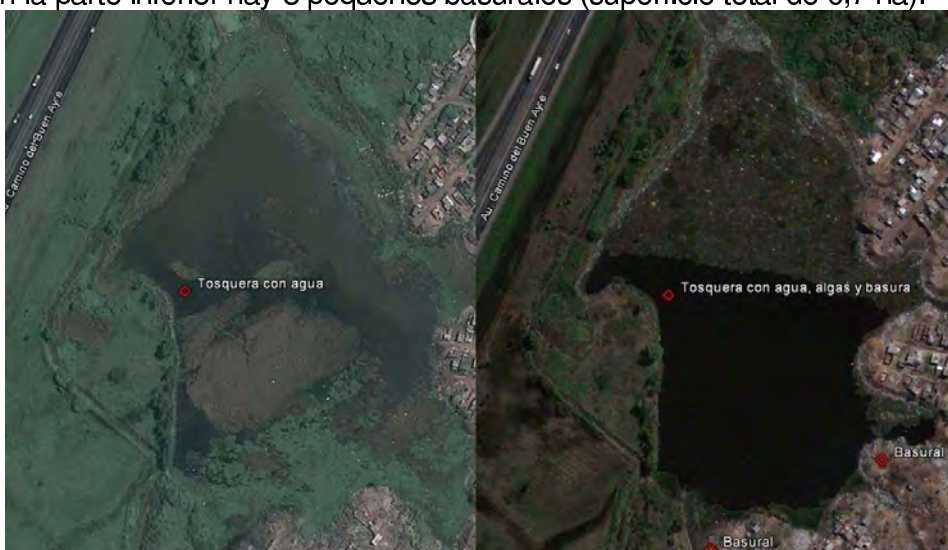


Figura 31. Tosquera y basurales en el partido de San Martín. Escenas del 16 de septiembre de 2010 y 29 de noviembre 2009, de izquierda a derecha, del Google Earth.

En la imagen del 30 de noviembre de 2009 (Figura 31) se observa abundante vegetación tanto al sureste como al noroeste. En la imagen de la derecha del 17 de septiembre de 2010, hay mayor cantidad de suelo desnudo y basura en el agua.

Predio 7: Basural y ex basurales



Figura 32. Basurales y ex basural en el partido de La Matanza. del 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

Este predio está en la intersección de la Avenida Camino de Cintura y la Autopista Ricchieri, en el partido de La Matanza. En él hay 4 basurales y un ex basural, todos ellos con montículos de basura, poca vegetación y conexión con caminos de tierra, uno de ellos conecta la avenida con la autopista (Figura 32). La altitud del predio varía de 2 a 14 m con varios montículos distribuidos en el área.

Predio 8: Basurales



Figura 33. Basurales en el partido de La Matanza, cercanos al río Matanza-Riachuelo. 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

En la Figura 33 se observan varios basurales (de aproximadamente 50 ha) ubicados cerca de la Avenida General Paz y la Autopista Ricchieri, en el partido de La Matanza lindante con la CABA. La huella o impronta del basural más grande en superficie tiene forma de árbol, un tronco (ingreso principal), numerosas ramas (caminos de tierra) y copas (distintos montículos de basura de 14 m de altura sobre un predio de 10 msnm). Al sur de éste, se observa otro con varios camiones sobre los caminos de tierra (zoom). Ambos sobre el Río Matanza - Riachuelo. Todos ellos se ubican dentro del predio del Mercado Central de Buenos Aires de frutas y hortalizas (sobre la Autopista Ricchieri y Avenida de Circunvalación en la izquierda de la imagen), rodeados por área urbana y sobre los principales accesos a la CABA.

Predio 9: Ex Basural y tosquera



Figura 34. Ex Basural y tosquera en el partido de Lomas de Zamora. 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

El Basural y la tosquera están ubicados sobre la Autopista Perón entre las calles La Cañada y Ginebra, en un predio con áreas inundables (0 a 4 msnm) junto a un asentamiento precario. La tosquera (0,91 ha) presenta algas en suspensión mientras que el basural (1,86 ha) montículos de basura y la poca vegetación (Figura 34).

Predio 10: Chatarrera



Figura 35. Chatarrera o depósito de automoviles en la CABA. 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

La chatarrera (2,96 ha) de la Figura 35 se ubica en la CABA entre las avenidas Fernández de la Cruz y Escalada, frente a un hipermercado y lindante con un asentamiento precario. Con buena conexión con el resto de la trama urbana, sobre suelos desnudos con caminos de tierra internos y poca vegetación, perteneciente a la Policía Federal.

Los vehículos se encuentran estacionados en grupos sin un orden general, en algunos casos apilados o pegados sin distancias mínimas entre ellos como contrario a los vehículos en una playa de estacionamiento.

Predio 11: Chatarrera

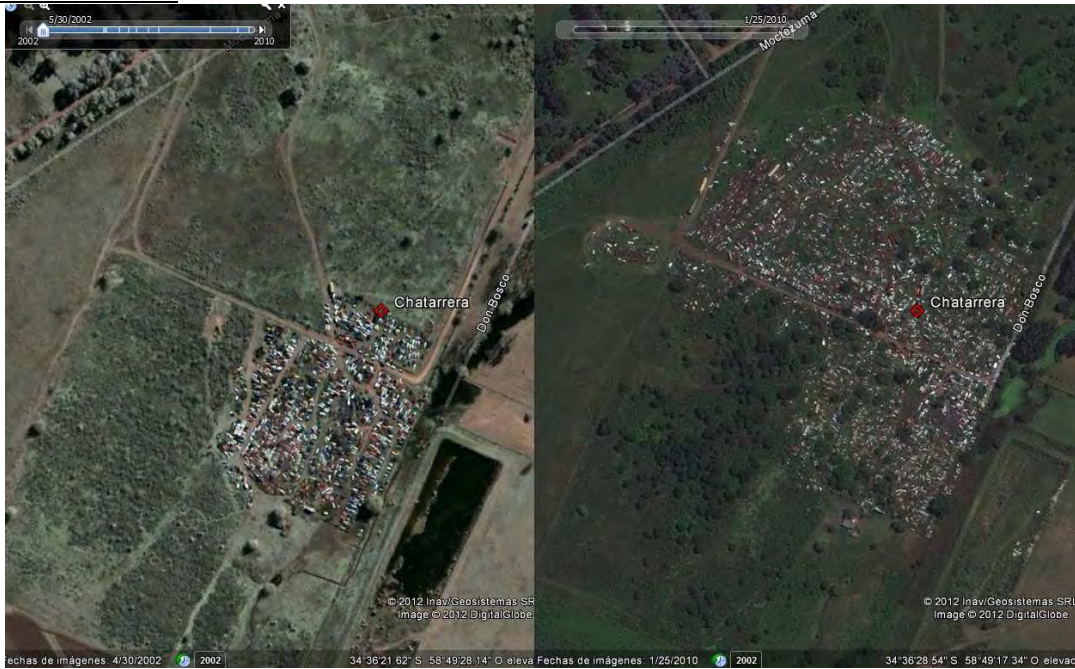


Figura 36. Chatarrera en el Partido de Moreno. Escenas del 1 de mayo de 2002 y 26 de enero 2010, de izquierda a derecha, del Google Earth.

Este predio se encuentra entre las calles Moctezuma, Diagonal Norte, Atahualpa y Don Bosco, en el partido de Moreno. En las imágenes se observa su crecimiento desde el 5 de enero de 2002 al 26 de enero de 2010 (Figura 36). En la imagen de la derecha se observan varios caminos internos de tierra similares a los basurales, mientras que en la imagen de la izquierda sólo hay un camino de tierra que lo atraviesa. Hay todo tipo de vehículos, desde autos pequeños hasta camiones, sin orden alguno.

Predio 12: Rellenos sanitarios y piletas de lixiviados

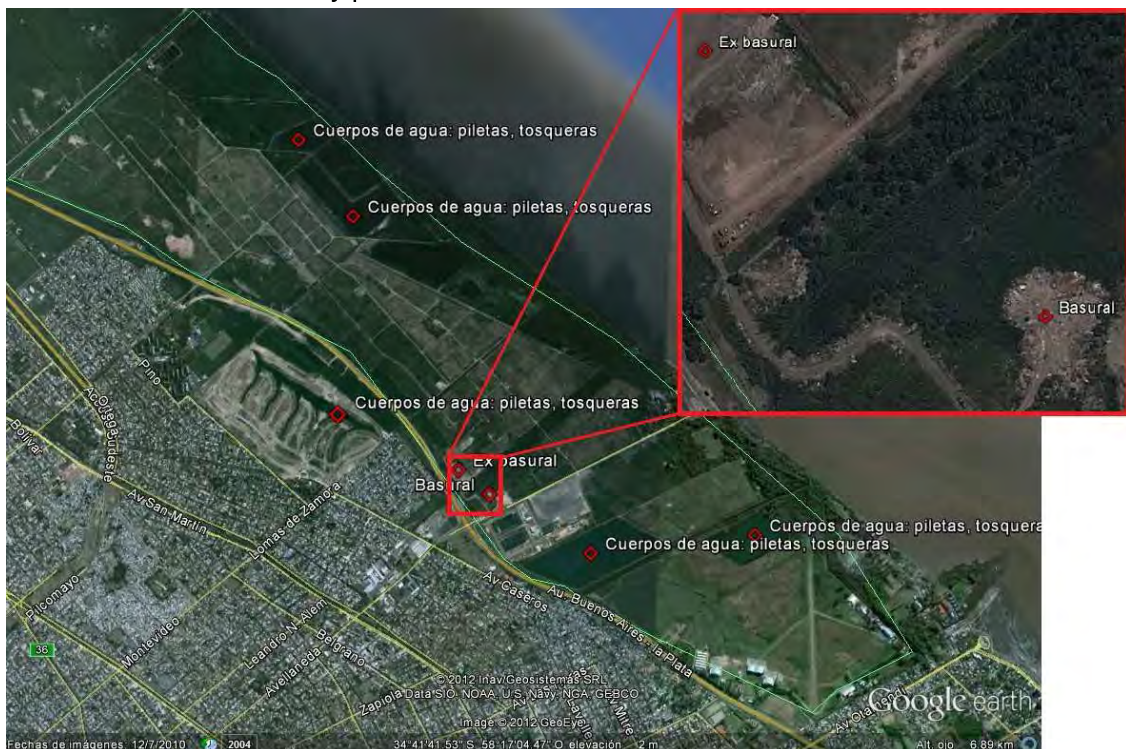


Figura 37. Cuerpos de agua (piletas de lixiviados y tosqueras), ex basural y basural del Relleno sanitario de Villa Domingo (color verde). 7 de diciembre 2010 del Google Earth.

El relleno de Villa Domingo (1.068,7 ha) presenta abundante vegetación con árboles o arbustos sobre el río, mientras que el resto del predio la vegetación es de menor altura. Está ubicado en la

zona ribereña entre el Río de La Plata y la autopista Buenos Aires La Plata.

Este predio tiene la mayor superficie de los sitios estudiados, y está inactivo desde el 2004. En su interior hay numerosos caminos de tierra, piletas de lixiviados; construcciones sobre la autopista (Figura 37), y presenta tres montañas que varían de 11 a 21 msnm, mientras que el resto del predio a excepción de las piletas presenta una altitud de menos de 10 m.

Predio 13: Rellenos sanitarios, piletas de lixiviados, basurales, ex basurales y chatarrerías

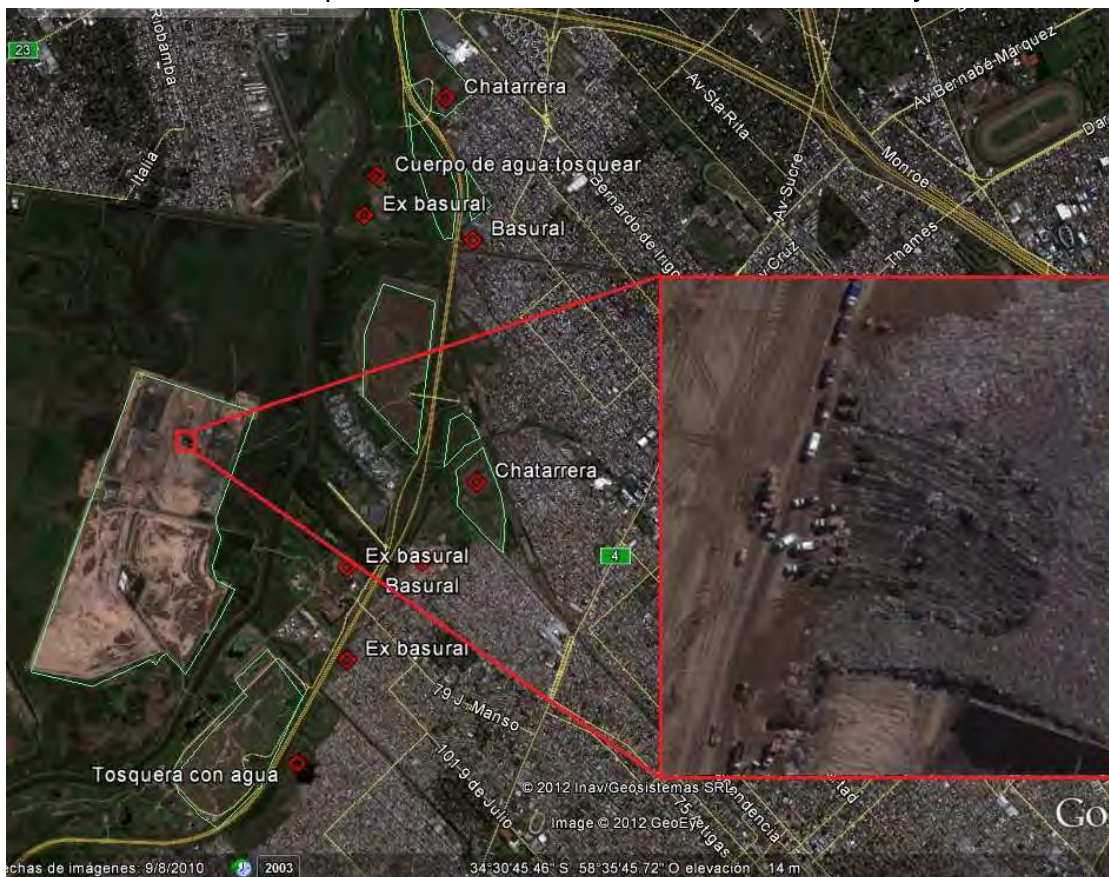


Figura 38. Relleno sanitario Norte I, II, III y Bancalari (color verde) en los partidos de San Martín y San Fernando. 8 de septiembre 2010 del Google Earth.

Estos 8 predios indicados en contorno verde se ubican sobre la Autopista del Buen Ayre y el Río Reconquista. El mayor de ellos Norte III (273 ha), sin vegetación presenta la mayor superficie de suelo desnudo, que corresponde a la tierra con la cual cubren las diferentes capas de basura, que finalmente forma una montaña. Ésta se encuentra rodeada por caminos de tierra, necesarios para el ingreso de los camiones, que se observan en la Figura 38 como líneas paralelas al sur del predio. También se observan numerosos camiones en fila mientras otros depositan los residuos en el gran montículo de basura triturada (16 m) en color gris como se muestra en el acercamiento del recuadro blanco. El predio presenta altitud variada, en algunos sectores de 2 a 4 m, y luego montañas de 10 y 16 m.

En el predio que se encuentra más al sur (70,6 ha) se observan los caminos internos, además de suelos con poca vegetación, y al noreste del mismo una tosquera con algas.

Los rellenos al norte presentan suelos desnudos con poca vegetación, varios caminos internos de tierra y en dos de ellos chatarrerías. También se observan otros sitios como basurales cercanos a los rellenos.

Es importante destacar que todos están comunicados con la autopista que a su vez se conecta con la autopista Panamericana y la ex Ruta Nacional 8, que permiten la comunicación con el resto de los partidos del GBA. Asimismo, todos presentan diferencias abruptas en la altitud (de 2 a 30 m) con 1 o 2 montañas.

Predio 14: Rellenos sanitarios, piletas de lixiviados, tosqueras y chatarreras



Figura 39. Relleno sanitario González Catán (color verde), tosqueras y chatarrera en el partido de La Matanza. 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

Este relleno (266 ha) ubicado sobre las calles Domingo Scarlatti y Manuel Gallardo, presenta varias subdivisiones con caminos de tierra, poca vegetación, rodeado por un curso de agua cuyo predio tienen una altitud promedio de 16 m, con montículos de 21 y 27 m.

En el predio hay piletas de lixiviados (al suroeste del predio) con forma rectangular, tosqueras con diferentes formas y una chatarrera en el interior y otra afuera (Figura 39). A diferencia del resto de los rellenos está lejano de la trama urbana.

Recibe aproximadamente 37.500 toneladas mensuales, equivalentes a 1.450 toneladas diarias (CEAMSE, ceamse.gov.ar/complejo-ambiental-gonzalez-catan). En el recuadro de la derecha se observan camiones cercanos al montículo de basura triturada (color gris).

Otros predios correspondientes a sitios inactivos

También se encontraron complejos habitacionales, barrios cerrados u otro tipo de construcción en predios donde hubo un sitio contaminado. La detección se realizó por interpretación visual y se complementó con datos de temperatura de imágenes ASTER obteniéndose valores similares a los basurales.



Figura 40. Ex basural La Gambeta (polígono de borde rojo) hoy un barrio privado. Ubicado cerca de la autopista Panamericana y aledaño al predio del basural La Juanita, en el partido de Malvinas Argentinas. 24 de marzo 2010 del Google Earth.

En este predio se encontraba el basural La Gambeta actualmente un barrio privado, estudiado por Suárez et al. (1998, 2009).

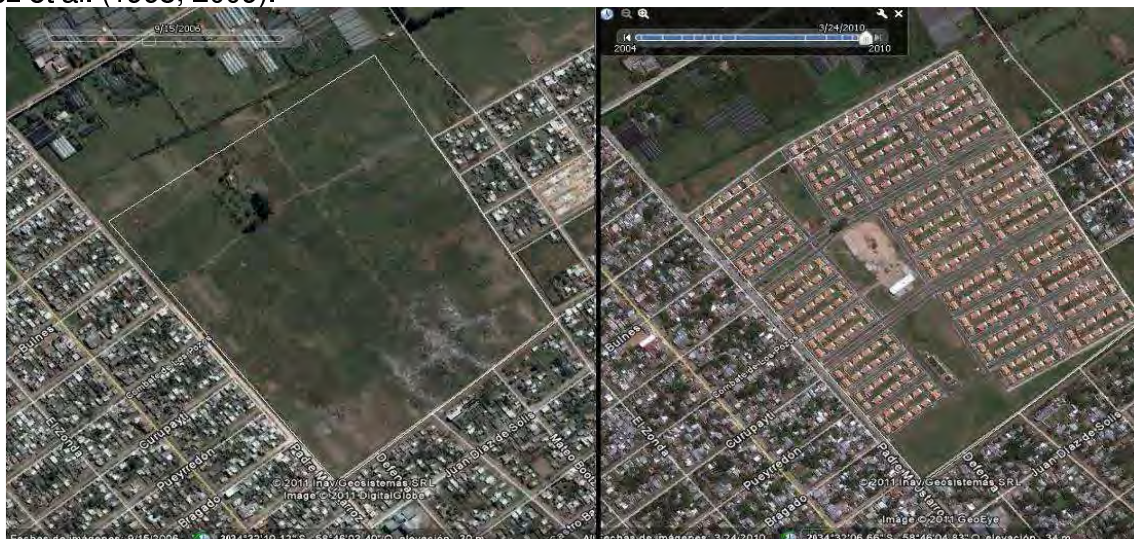


Figura 41. Ex basural actual complejo habitacional en el Partido de José C. Paz, entre las calles: Padre M. Ustaroz, Jorge Newbery, Pichincha y Coronel Suárez. Escenas del 15 septiembre 2006 y 24 marzo 2010, de izquierda a derecha del Google Earth.

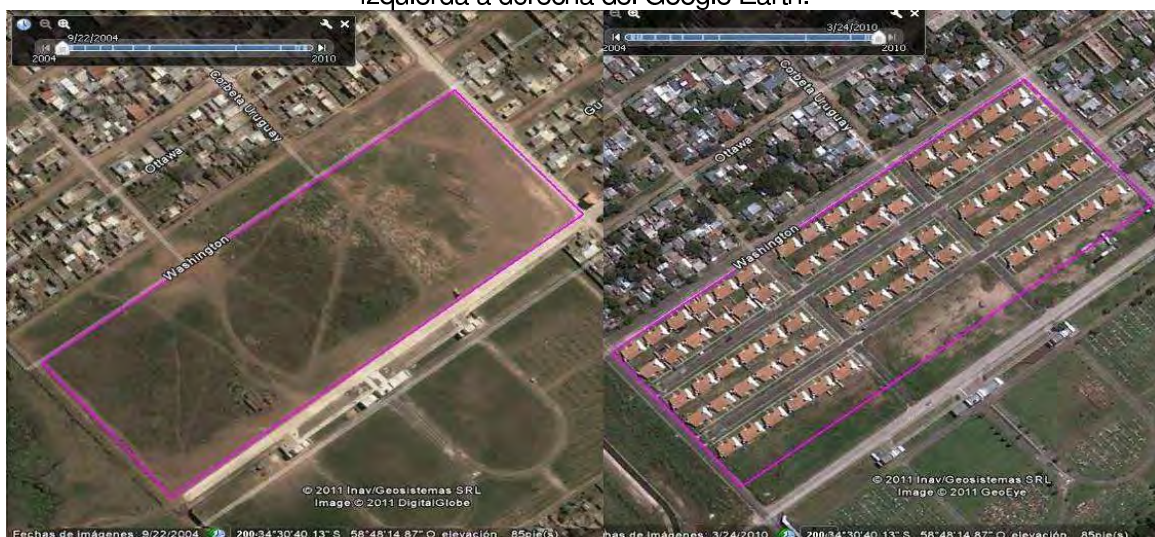


Figura 42. Ex basural actual complejo habitacional en construcción en el Partido de José C. Paz, entre las calles Washington, Fragata Sarmiento, Chuquisaca y Salvatori. Escenas del 22 septiembre 2004 y 24 marzo 2010, de izquierda a derecha del Google Earth.

Las Figuras 42 y 43 se encontraban basurales estudiados en 1997 en los Diagnósticos ambientales de la UNGS, hoy hay complejos habitacionales.



Figura 43. Ex basural hoy un conjunto de edificios o galpones en construcción sobre la intersección de las avenidas General Paz y Castañares. CABA en el límite con el partido de La Matanza. Escenas del 4 diciembre 2000 y 16 septiembre 2010, de izquierda a derecha del Google Earth



Figura 44. Predio con basural y barrio privado en el Partido de San Martín, en la intersección de las calles Triunvirato y Maipú. Escenas del 26 abril 2000 y 16 de septiembre 2010, de izquierda a derecha, del Google Earth.



Figura 45. Predio de ex basurales hoy posible basural y complejo habitacional en el Partido de Tres de Febrero, sobre las vías del FFCC Urquiza (próximo a la estación Pablo Podestá) y el Arroyo Morón. Escenas del 21 de marzo 2004 y 16 de septiembre 2010, de izquierda a derecha, del Google Earth.



Figura 46. Predio de ex basurales hoy basural y complejo habitacional en el Partido de Tres de Febrero, sobre el Arroyo Morón y las calles Luís Angel Firpo, San Javier y San Luís. Escenas del 24 de febrero 2004 y 16 de septiembre 2010, de izquierda a derecha, del Google Earth.



Figura 47. Predio de ex basurales hoy Villa 21-24 en la CABA, ubicada en Iguazú, Pedro de Luján y Zabaleta, sobre el Río Matanza Riachuelo. Escenas del 14 de febrero de 2004 y 7 de diciembre de 2010, de izquierda a derecha, del Google Earth.

Sitios potencialmente contaminados

Con los criterios descritos anteriormente se detectaron **286** sitios potencialmente contaminantes con una superficie de 702 ha (Mapa 6):

- Cuerpos de agua: 107 sitios que ocupan 488,5 ha
- Chatarreras: 17 sitios que ocupan 18,9 ha
- Basurales: 122 sitios que ocupan 92,9 ha
- Ex basurales: 40 sitios que ocupan 101,8 ha

Los **tamaños** fueron similares para las chatarreras y ex basurales mientras los potenciales basurales fueron de menor tamaño y los cuerpos de agua de mayor (Figura 48), en un rango de 0,03 a 5,98 ha.

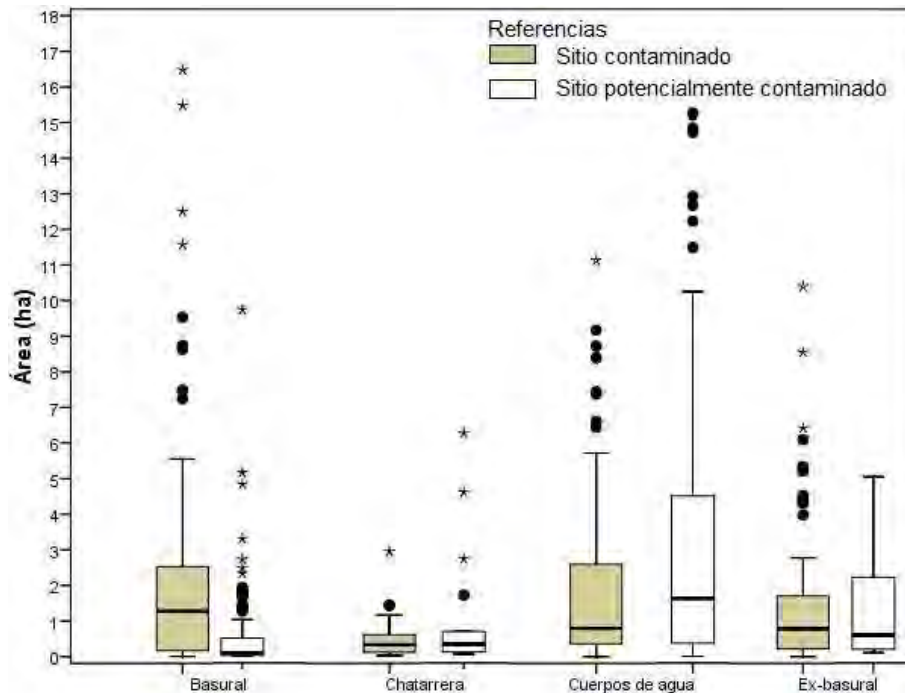


Figura 48. Áreas características en base a 513 sitios contaminados y 286 potencialmente contaminados. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

Ejemplos de sitios potencialmente contaminados



Figura 49. Posibles basurales en el partido de Avellaneda. 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

Este posible basural (0,5 ha) está ubicado frente al relleno sanitario de Villa Dominico, entre la autopista Buenos Aires - La Plata y el Río de La Plata. Presenta varios patrones como montículos de basura, vegetación opaca, caminos cercanos para acceder al predio, sobre un curso de agua y se encuentra en la cercanía de un ex basural y un relleno sanitario (Figura 49).



Figura 50. Posibles basurales en el partido de La Matanza. 16 de septiembre 2010 del Google Earth.

Estos dos posible basurales (0,17 ha), ubicados en la intersección de San Matías y 3 Cruces, se encuentran en el mismo predio de un conjunto de viviendas y una industria. Presenta caminos de tierra, montículos de basura y poca vegetación (Figura 50).



Figura 51. Posibles basurales en el partido de Florencio Varela. 24 de marzo 2010 del Google Earth

En la imagen se delimitaron tres sitios posiblemente contaminados (1,74 ha) ubicados en la intersección de Los Olivos y Diagonal Los Tilos, en un predio con poca vegetación, caminos de tierra, buena conexión con el área urbana, montículos de basura sobre el camino que conecta las calles Los Olivos y El tero, con un curso de agua que atraviesa el área de estudio y una construcción (Figura 51).

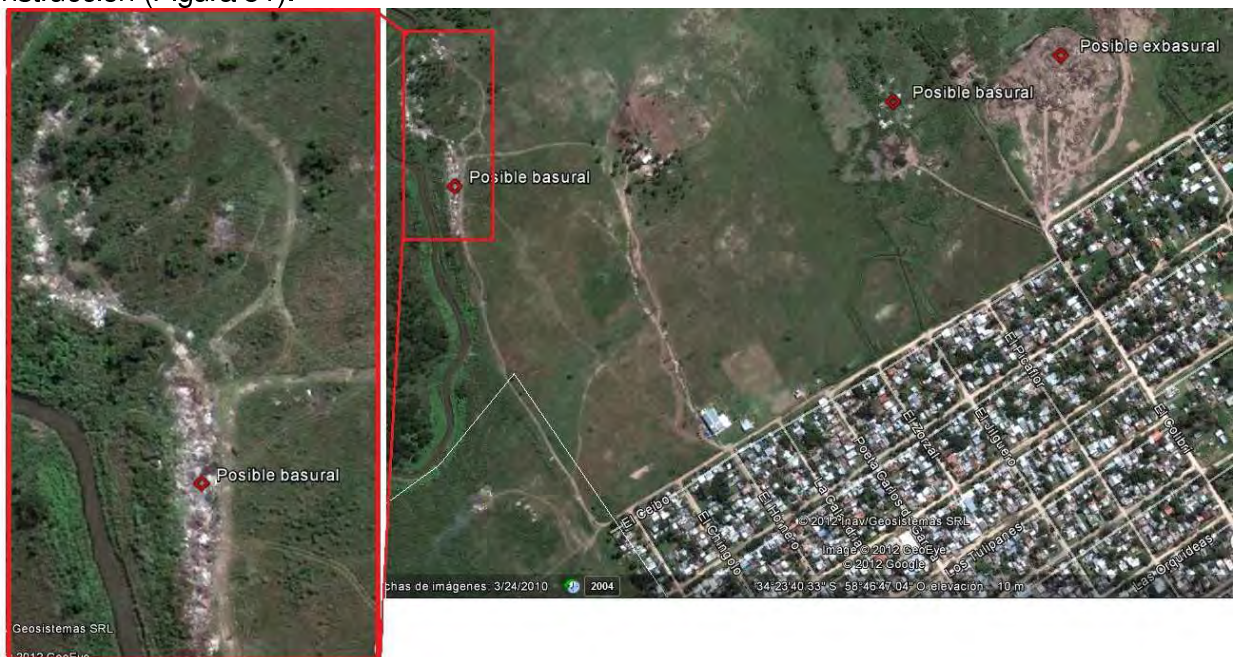


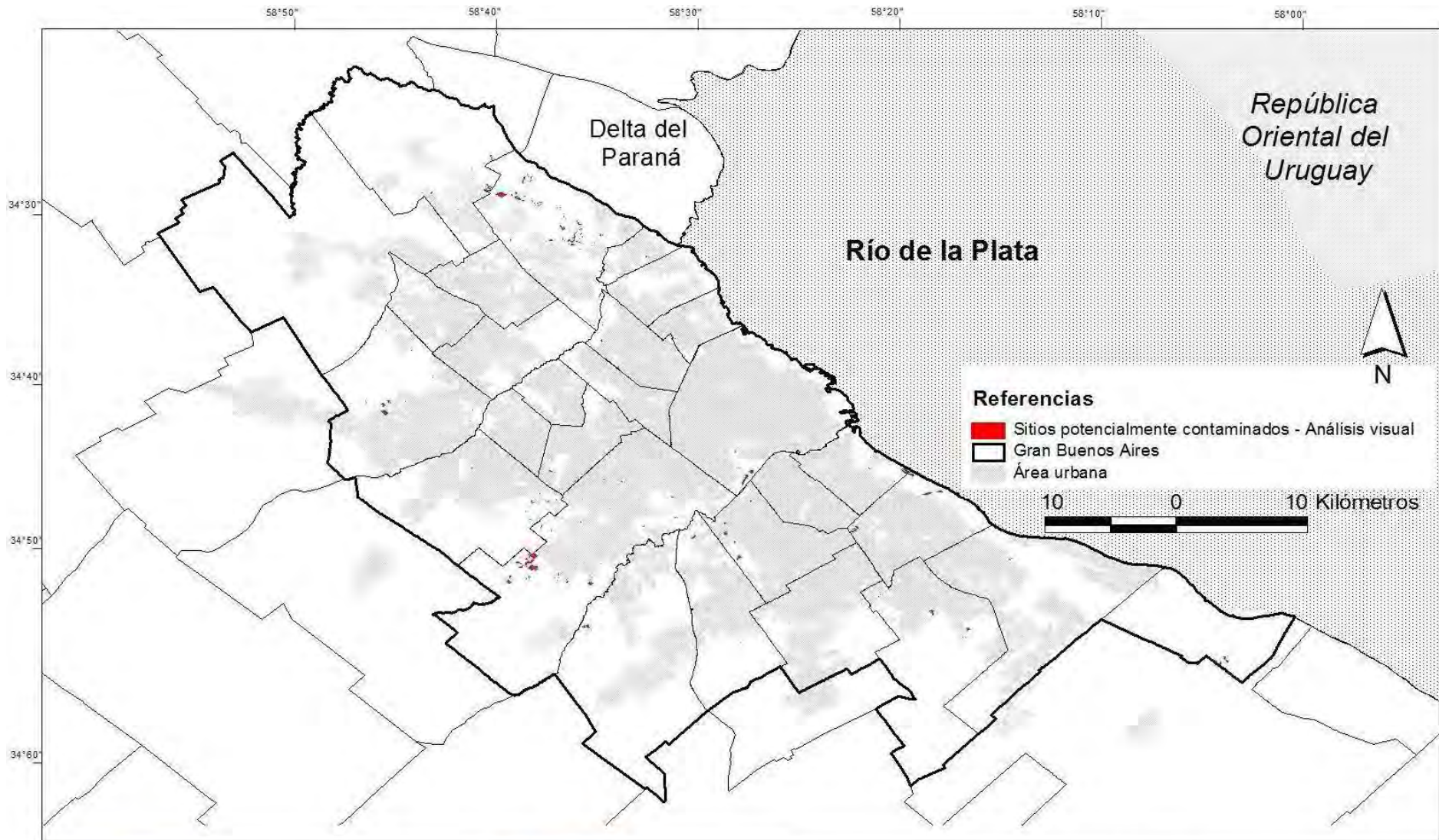
Figura 52. Posibles basurales y ex basurales en el partido de Escobar. 24 de marzo 2010 del Google Earth.

En la Figura 52 se observan basurales (1,1 ha) y un ex basural (3,4 ha), ubicados en el predio delimitado por El Ceibo, La Golondrina y la Ruta 9. En el caso de los basurales los montículos de basura son de color blanco debido a las bolsas de supermercado, mientras que en el ex basural están tapados de tierra. Todos ellos con caminos de internos de tierra y conectados a la trama urbana.



Figura 53. Posible ex basural y chatarrera en el partido de Florencio Varela. 25 de febrero 2010 del Google Earth.

Este ex basural (11,82 ha) y chatarrera (0,29 ha) fueron identificados por los montículos de basura en el primer caso y por la gran concentración de vehículos apilados y poca vegetación en el segundo caso (Figura 53). Ambos se encuentran con caminos internos y ubicados en el mismo predio comprendido por las calles Intendente Cariboni, Río Diamante, Río Juramento y Hudson.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gullch"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 6

Sitios potencialmente contaminados detectados por análisis visual, del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a análisis visual con LandSat 5 y Digital Globe de Google Earth.

Tesis de maestría AEARTE 2009: Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011.

IV.2. Firmas espectrales

En base a los 513 sitios de referencia (2.945 ha) se determinaron por análisis visual 388 sitios activos (2.619 ha, 89%) y 125 inactivos (326 ha, 11%). De los sitios activos se crearon las siguientes firmas o áreas, considerando las firmas de los sitios indicados en la cuarta columna de la Tabla 9, quitando aquellas firmas con comportamiento anómalo.

Índices	Sitios contaminados (ha %)		
	Superficie referencia (ha)	sitios activos por análisis visual	sitios activos por análisis visual y firma espectral
Basurales	612	578 ha 94%	226 sitios, 405 ha, 70%
Ex-Basurales	153	138 ha 91%	70 sitios, 125 ha, 90%
Rellenos sanitarios	1.992	1.863 ha 94%	5 sitios, 1.676 ha, 90%
Chatarreras	12	11 ha 95%	18 sitios, 11 ha, 95%
Cuerpos de agua	171	168 ha 98%	69 sitios, 159 ha, 95%

Tabla 9. Resultados obtenidos en base al análisis visual y las firmas espectrales de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua presentaron 2 agrupamientos (Figura 54): las piletas de lixiviados con valores inferiores a 0,02 y con un máximo absoluto en la banda 2. Mientras que los cuerpos con y sin vegetación en suspensión presentaron el mismo comportamiento que la vegetación pero con valores mayores en reflectancia en particular desde la banda 1 a la 3, y un máximo absoluto en la banda 4 o IRC. Estos dos grupos se diferenciándose de las firmas de la Represa Roggero y del Río de la Plata.

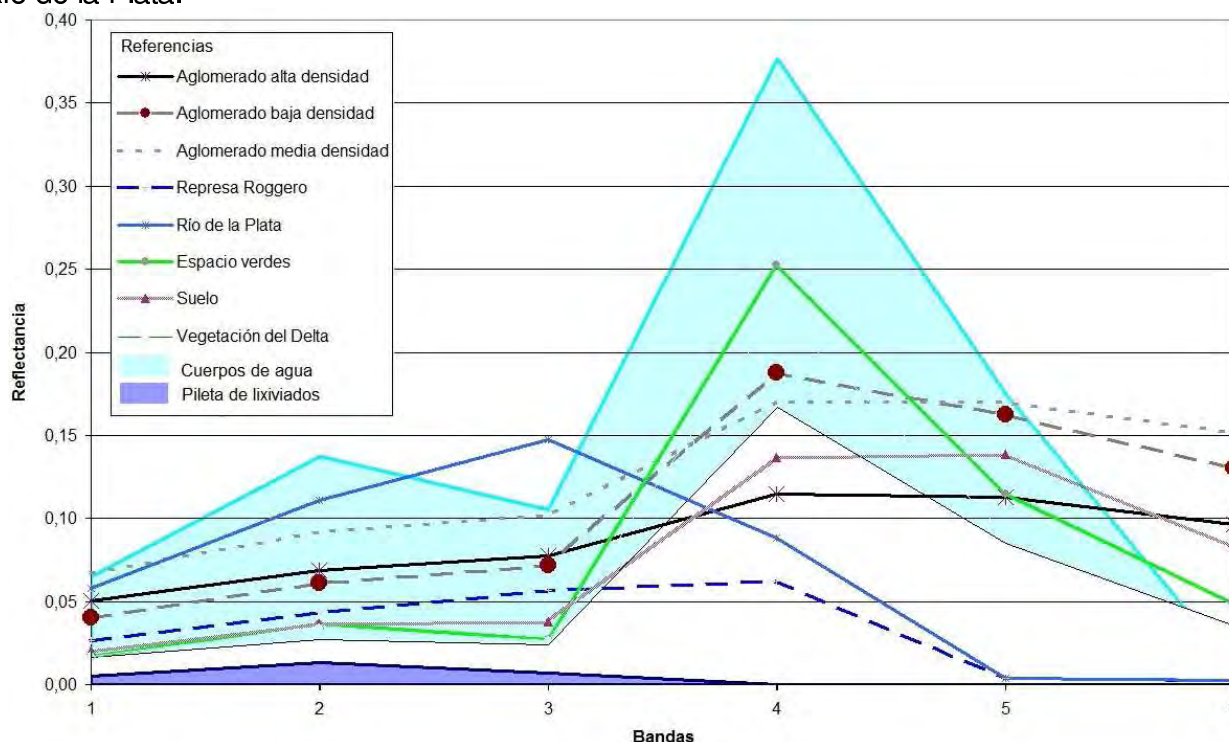


Figura 54. Firmas espectrales de cuerpos de agua (áreas) y otras coberturas del área de estudio (líneas), extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Chatarreras

Las chatarreras presentaron comportamientos intermedios entre la vegetación, el aglomerado urbano y el suelo (Figura 55).

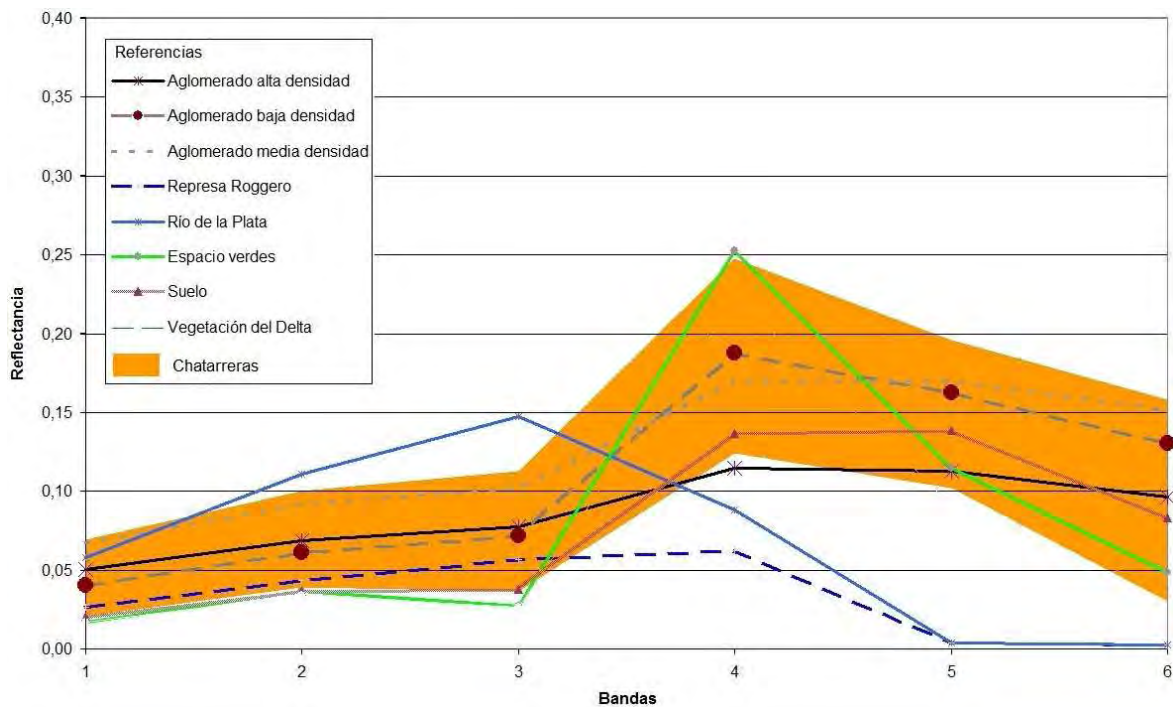


Figura 55. Firmas espectrales de chatarreras y otras coberturas del área de estudio, extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Basurales

En el caso de la firma de los basurales se conoce que su comportamiento es similar a los cuerpos de agua en las bandas 1 a 3 con un pico positivo e la banda 4 o IRC, para basurales con alto contenido de papel, plásticos y metales en Canadá (Yonezawa, 2009) y alto contenido de plásticos, papel, escombros en Japón (Baodong et al., 2008).

En nuestro país se conoce que la composición de la basura en promedio tiene un grado de humedad superior al 50% y un porcentaje similar aunque en seco de materia orgánica, con un 15 a 25% de papel y cartón, lo que es similar a otros países de América Latina y el Caribe (Geo Argentina, 2004).

En base a los basurales con similar comportamiento se generó el área de la Figura 56, donde se observa el mismo comportamiento de los basurales de Canadá y Japón, pero con valores mayores de reflectancia y valores superiores a la vegetación en el Visible.

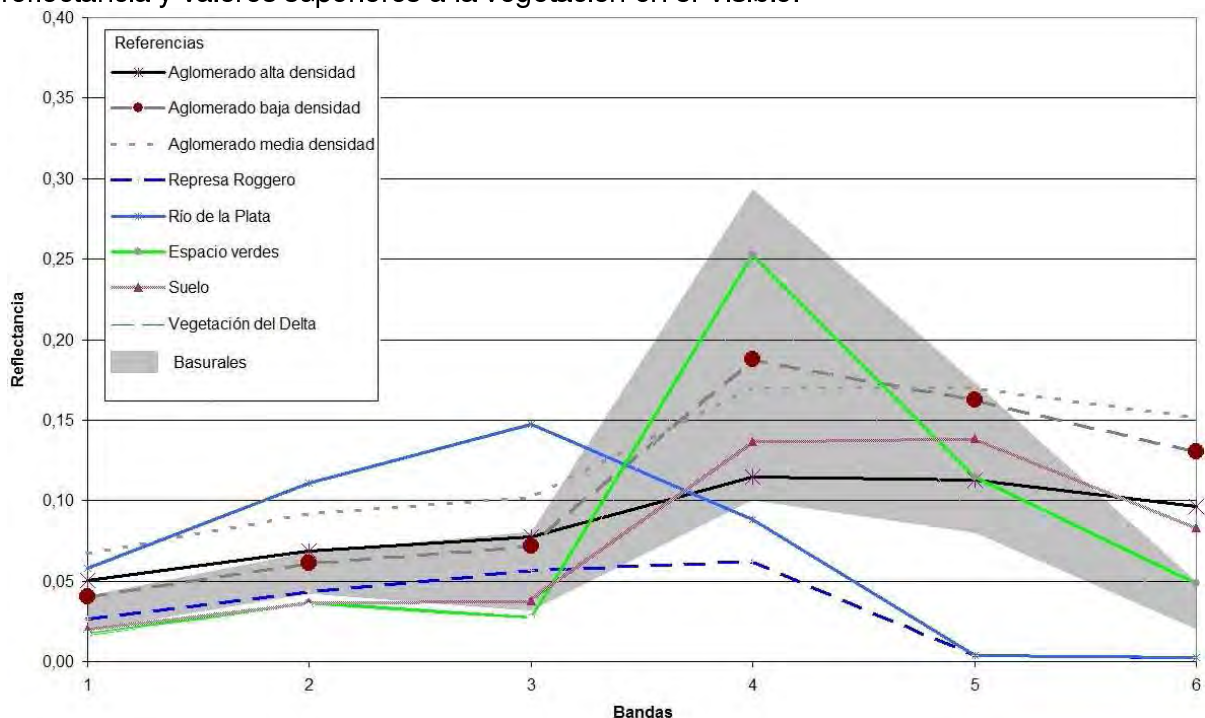


Figura 56. Firmas espectrales de basurales y otras coberturas del área de estudio, extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Ex basurales

Gran parte de los ex basurales presentaron un comportamiento similar a la vegetación. Con picos en el espectro del Verde (Banda 2) entre 0,03 a 0,07 e IRC (Banda 4) entre 0,12 a 0,31 y mínimos en el Azul (Banda 1) entre 0,025 a 0,06 y en el Rojo (Banda 3) entre 0,03 y 0,11 (Figura 57).

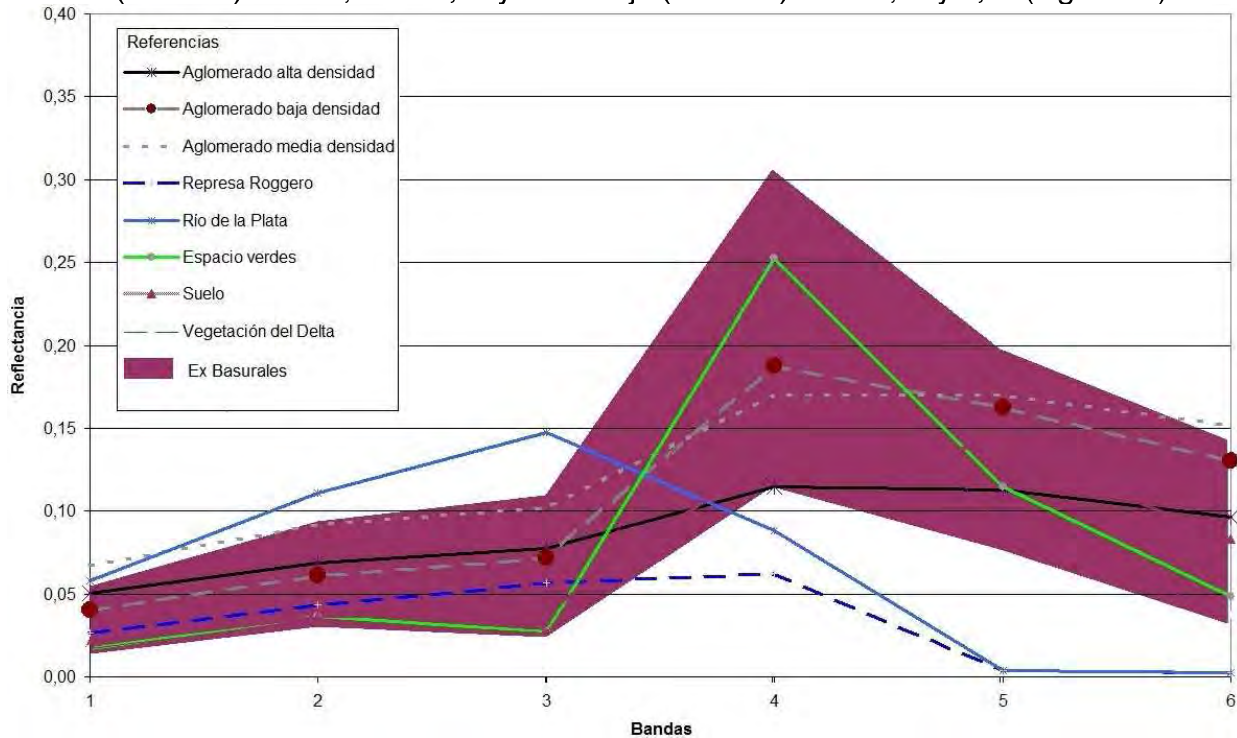


Figura 57. Firmas espectrales de ex basurales y otras coberturas del área de estudio, extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Rellenos sanitarios

El relleno sanitario activo (Norte III, línea) presentó un comportamiento diferente a los inactivos (Villa Domingo y Bancalari), con una firma más aplanada y valores de reflectancia mayores en el VIS (0,065 a 0,19) e IRM e inferiores (0,18 a 0,19) en el IRC. Además presentó mayor reflectancia al aglomerado de media densidad de construcción en todo el espectro. Mientras que los rellenos inactivos siguieron la tendencia de la vegetación con valores superiores en reflectancia (Figura 58).

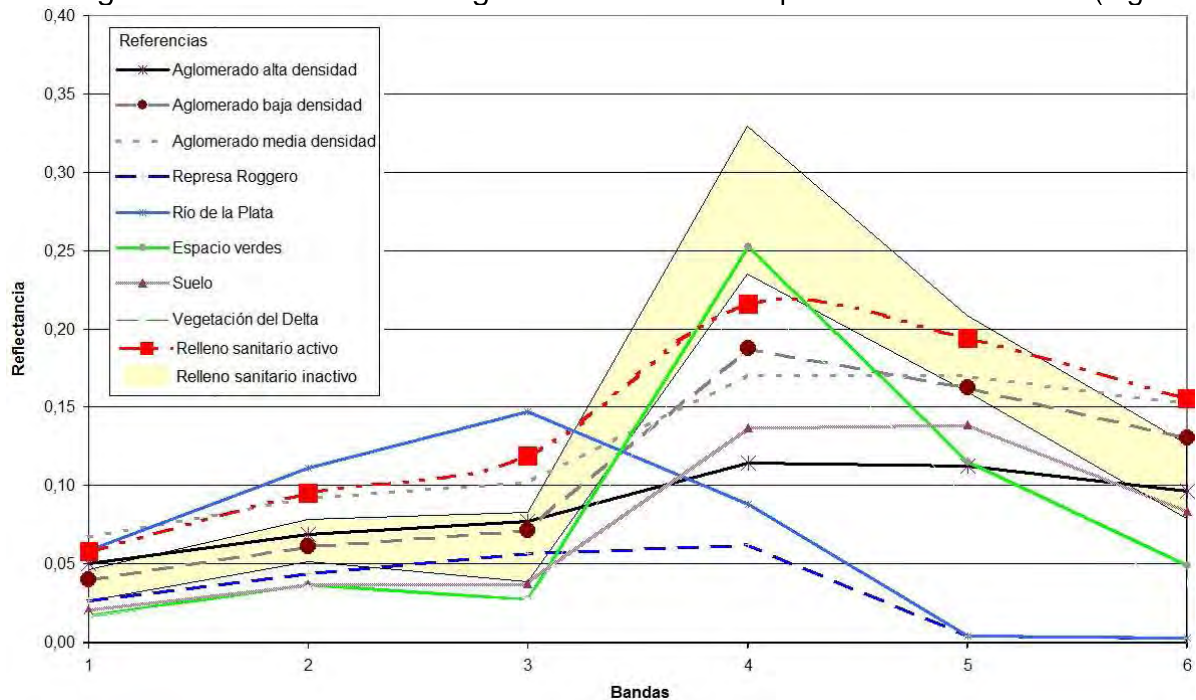


Figura 58. Firmas espectrales de rellenos sanitarios y otras coberturas del área de estudio, extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Resumen de las firmas espectrales

Los sitios contaminados presentaron gráficos bimodales con un máximo absoluto en el IRC y un comportamiento global similar a la vegetación a excepción de las piletas de lixiviados.

En el caso de las chatarreras presentaron un comportamiento intermedio entre los diferentes tipos de aglomerado urbano, la vegetación y el suelo.

El comportamiento de los tres sitios de disposición final de residuos fue muy similar en comportamiento y valores de reflectancia, siendo los rellenos inactivos los de mayor valor y los basurales los de menor valor en el IRC. En comparación con otras cubiertas siguió una tendencia similar a la vegetación hasta el IRM cuando adoptó valores más altos entre el suelo y el aglomerado.

De esta forma se determinaron 3 firmas espectrales diferentes entre si y con el resto de las cubiertas: sitios de disposición de residuos, cuerpos de agua y chatarreras.

Sitios potencialmente contaminados

Se tomaron los sitios detectados por análisis visual y se compararon con las firmas espectrales de los sitios de referencia obteniendo coincidencias superiores al 73% (Tabla 10, figuras 54 a 58). En el caso de los rellenos sanitarios no se detectaron visualmente áreas con estos patrones.

Análisis visual y firmas espectrales	Sitios potencialmente contaminados				
	Cantidad	Superficie (ha)	Coincidencia con la firma espectral		
			Cantidad	Superficie (ha)	%
Basural	122	93	69	69	74%
Ex-Basural	40	102	39	100	99%
Chatarrera	17	19	16	18	97%
Cuerpos de agua	107	488	105	470	96%
Relleno Sanitario	6	1.992	0	0	0%

Tabla 10. Sitios potencialmente contaminados en base al análisis visual y las firmas espectrales de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011

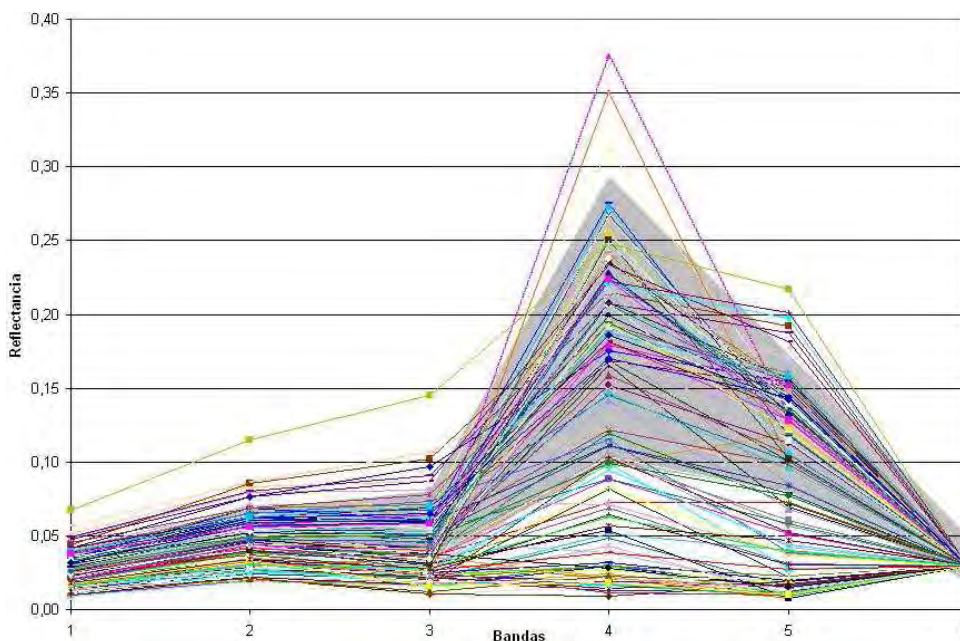


Figura 59. Firmas espectrales basurales (área gris) y de potenciales sitios (líneas), extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

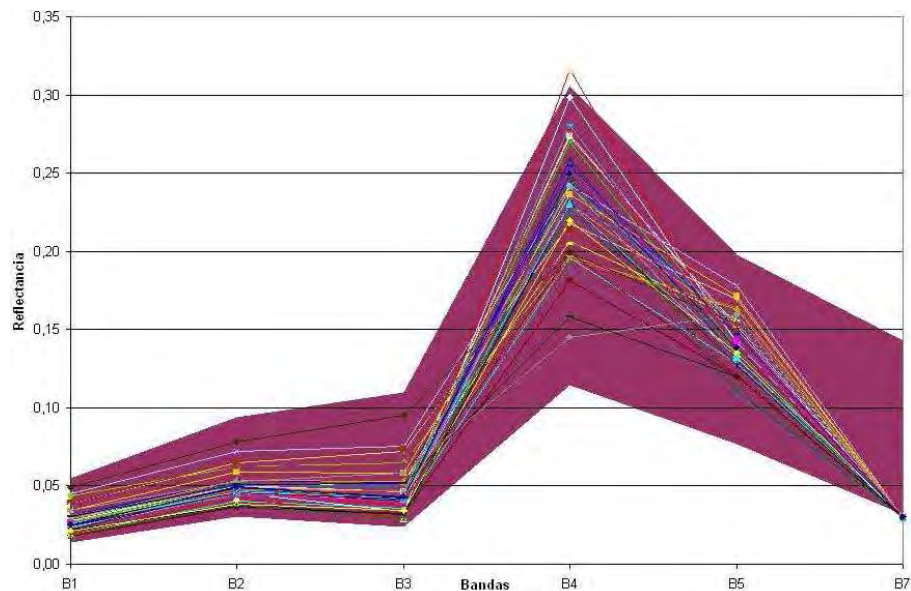


Figura 60. Firmas espectrales ex basurales (área bordo) y de potenciales sitios (líneas), extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

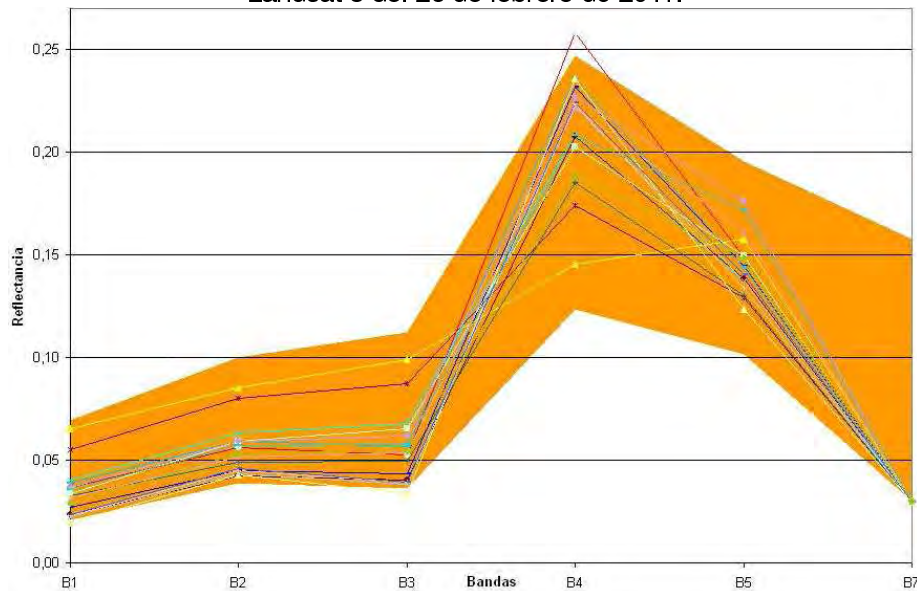


Figura 61. Firmas espectrales chatarreras (área naranja) y de potenciales sitios (líneas), extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

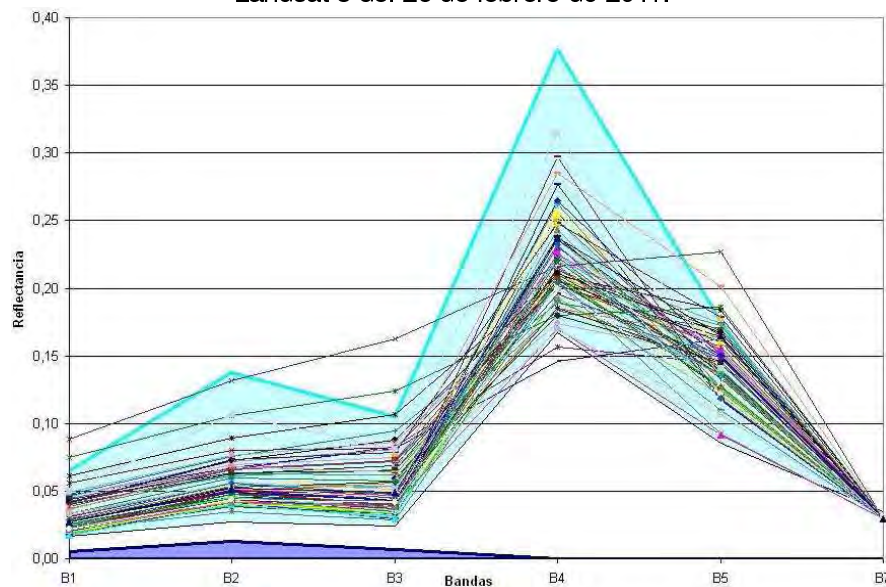


Figura 62. Firmas espectrales cuerpos de agua (área celeste y violeta para piletas) y de potenciales sitios (líneas), extraída de imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

IV.3. Máscaras

Tanto en el análisis visual como espectral los sitios contaminados presentaron características similares al aglomerado urbano y agua de los ríos. Situación que se repitió con el resto de los métodos empleados, por ello se generaron 2 máscaras para eliminar las áreas urbanas y los ríos (Figura 63) en base al primer componente del Análisis de Componentes Principales de una serie de NDVI del 2001-2011 (ver ítem IV.7).

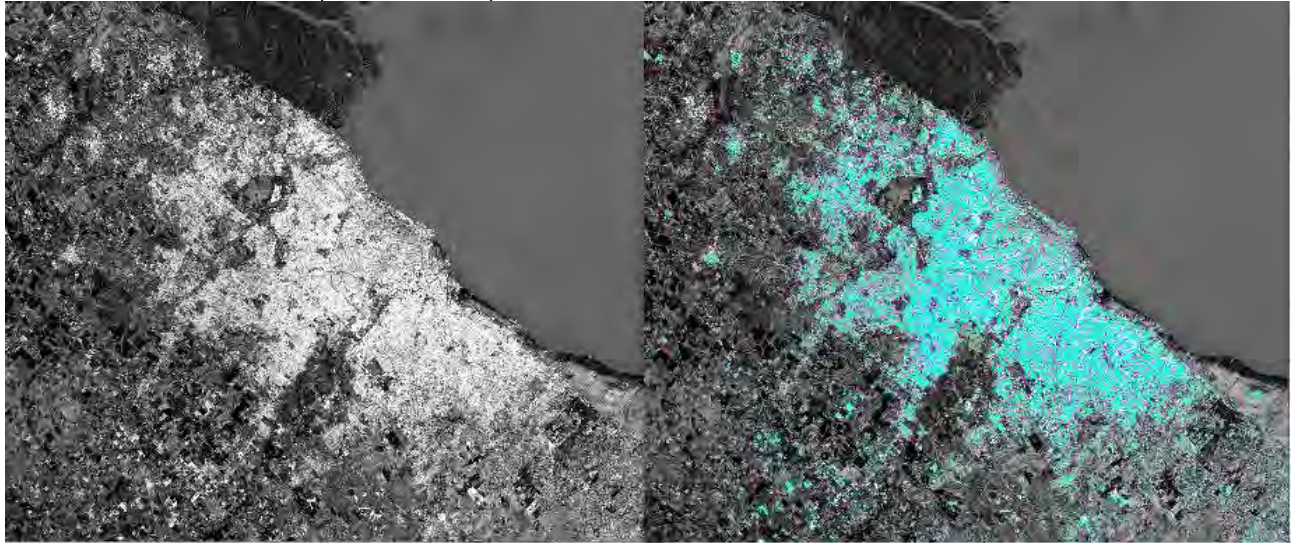
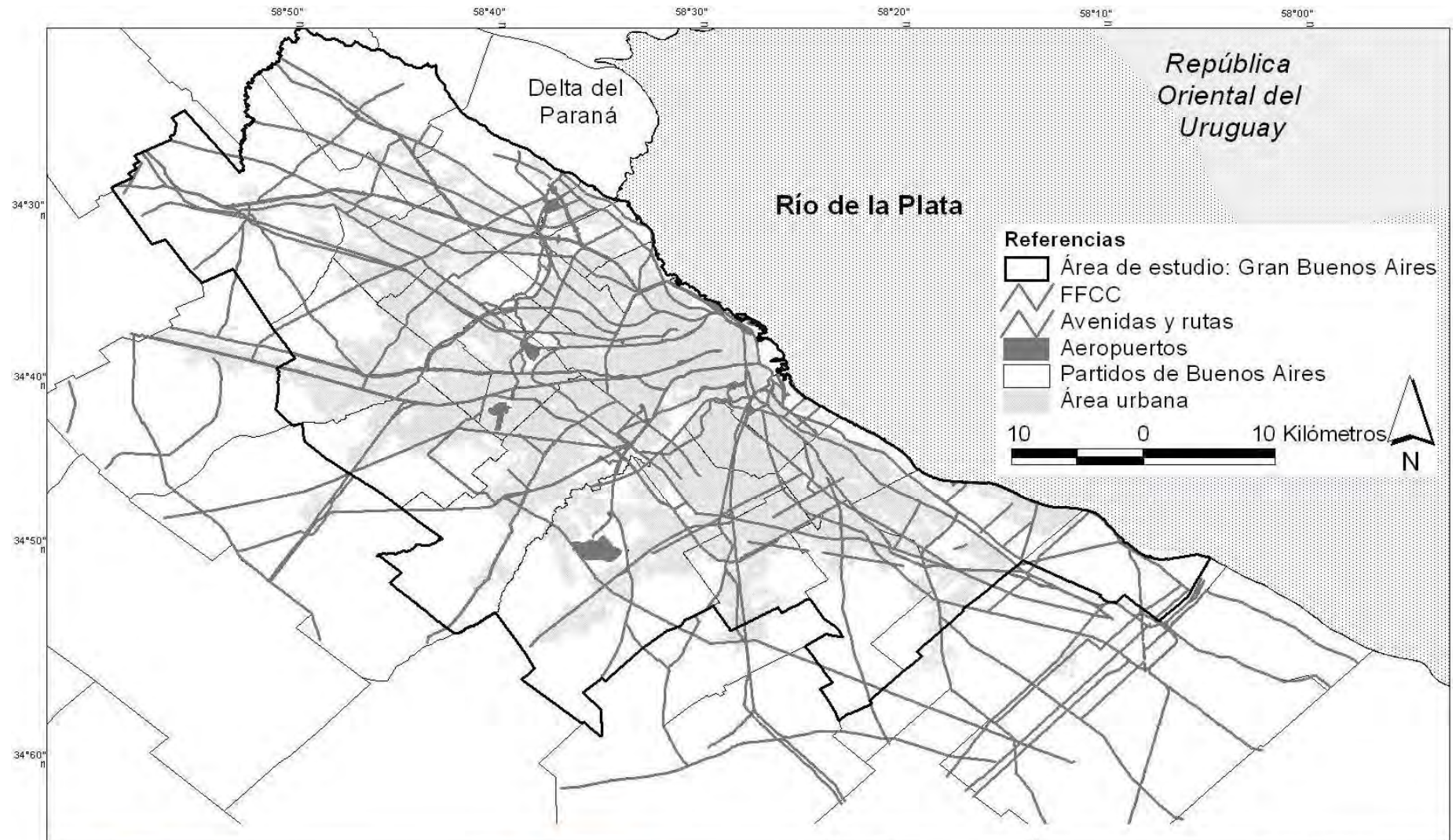


Figura 63. Análisis de Componentes Principales en base a la serie multitemporal de NDVI de Landsat 5 del 2001 al 2011 (izquierda) y cobertura de aglomerado urbano en color cian (derecha).

Dichas máscaras fueron complementadas con datos vectoriales de las principales rutas y avenidas, las vías férreas, los aeropuertos y ríos (Mapa 7).

La primera de ellas, sobre el aglomerado urbano presentó continuidad desde el puerto de la CABA hacia la periferia a lo largo de los ejes del ferrocarril y las autopistas adoptando la forma de tentáculos. Y afectó sólo a un sector de un relleno sanitario.

También se consideró el tamaño de los polígonos resultantes de cada método, considerando los tamaños de los sitios contaminados entre 0,1 a 2,6 ha (ver ítem IV.1) sin considerar los rellenos sanitarios.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 7

Máscara de aglomerado urbano

Fuente: en base al primer componente del
Análisis de Componentes Principales de
una serie de NDVI del 2001-2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

IV.4. Índices NDVI, CEDEX y NDWI NDVI

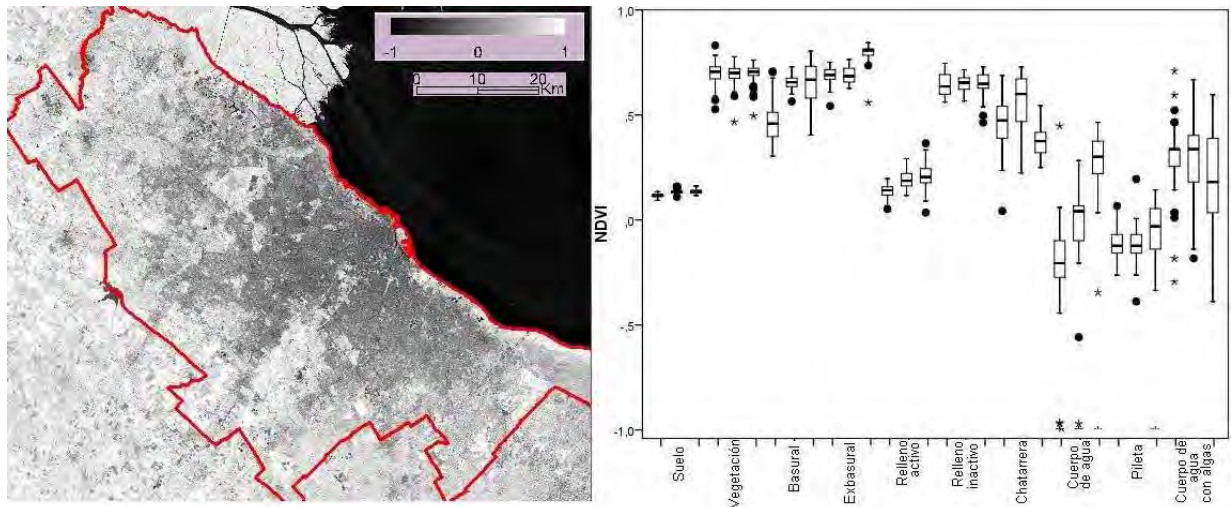


Figura 64. Mapa y gráfico de caja y bigotes. El NDVI en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA. El valor del NDVI más alto se corresponde con el color más claro en el mapa.

Los cuerpos de agua presentaron la mayor dispersión de NDVI en el rango de -0,5 a 0,75 lo que indica heterogeneidad en su composición tanto por algas como basura, no pudiéndose separar entre ellos ni con los otros sitios (Figura 64). Mientras que las chatarreras y los sitios de disposición de residuos presentaron valores similares a la vegetación (0,25 a 0,80), a excepción del relleno activo Norte III que tomó valores bajos (0 a 0,4) y se solapó con el suelo y los cuerpos de agua. Dicho relleno presenta suelo desnudo y una gran montaña de basura triturada a cielo abierto. Con respecto al trabajo de Shaker y Yan (2010) se esperaba que todos los sitios de disposición de residuos tomaran valores cercanos a 0 debido a la vegetación enferma por los lixiviados, encontrándose sólo coincidencia con el relleno activo Norte III. Mientras que los basurales presentaron valores intermedios entre el suelos desnudos y vegetación como el trabajo de Zamorano et al. (2008).

CEDEX

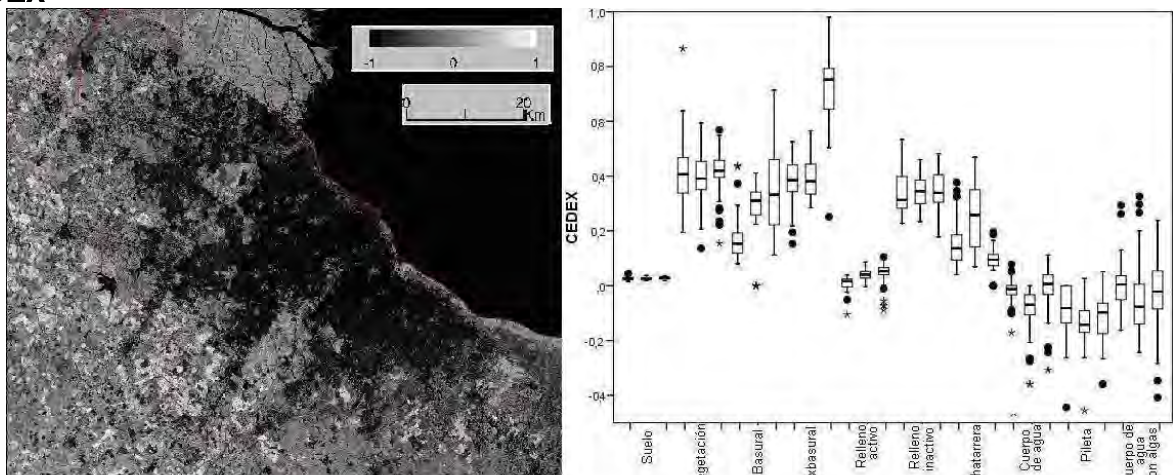


Figura 65. Mapa y gráfico de caja y bigotes. El CEDEX en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA. El valor del NDVI más alto se corresponde con el color más claro en el mapa.

Como se observa en la Figura 65, todos los cuerpos de agua (piletas o cuerpos con o sin algas en suspensión) presentan valores entre -0,3 a 0,3 que se superpone en parte con los suelos (0 a 0,1) y el relleno activo (-0,15 a 0,1). Los restantes sitios de disposición de residuos y las chatarreras (0-1) se solaparon con los box plots de la vegetación (-0,2 a 0,65).

NDWI

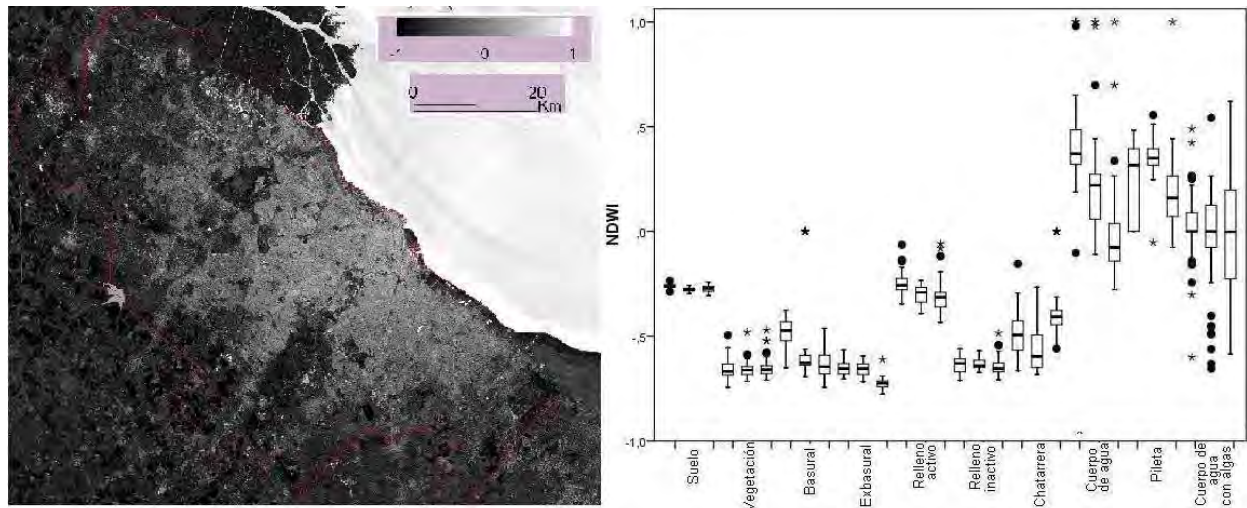


Figura 66. Mapa y gráfico de caja y bigotes. El NDWI en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA. El valor del NDVI más alto se corresponde con el color más claro en el mapa.

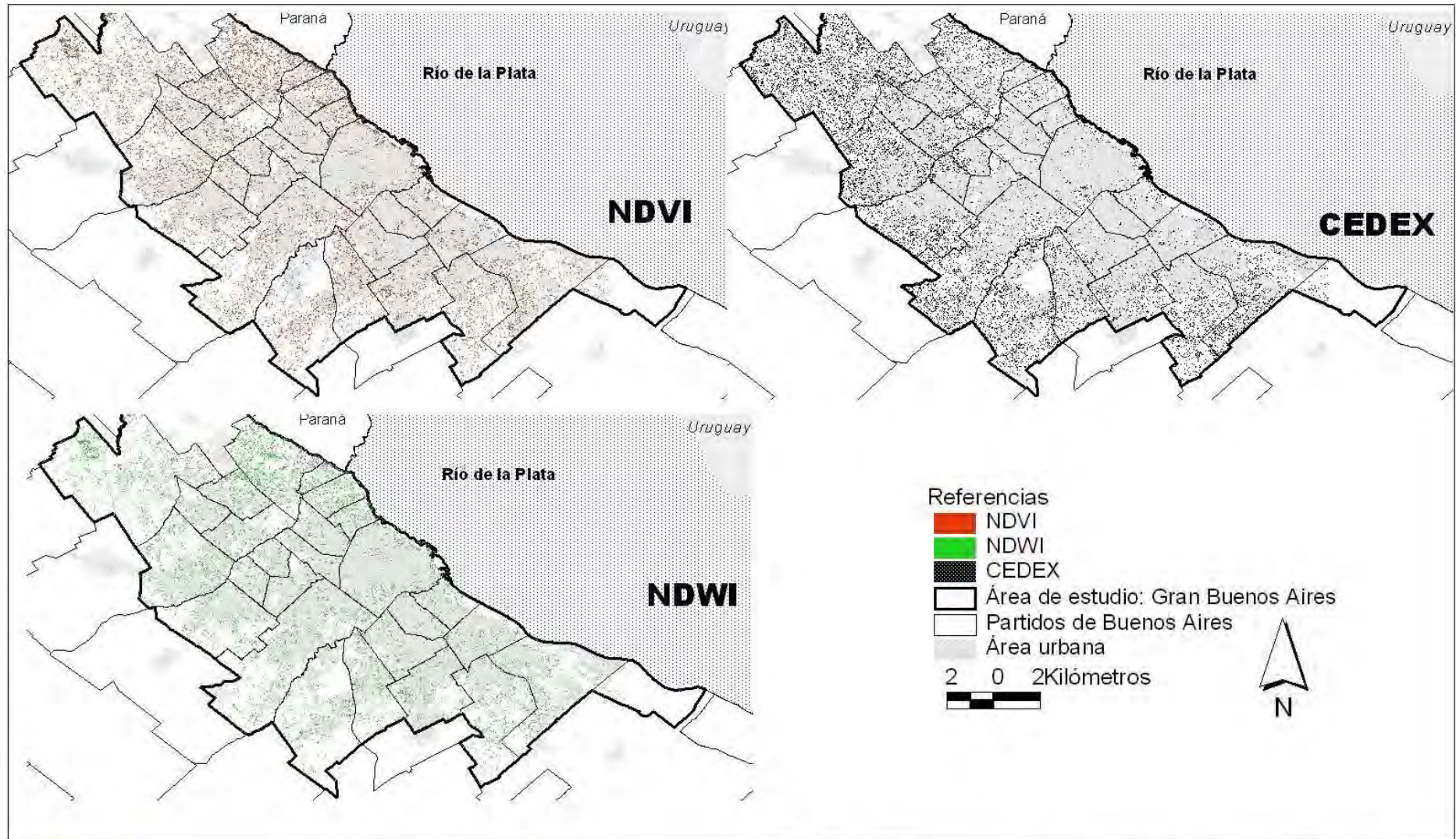
En la Figura 66 se observa que todos los cuerpos de agua (con o sin algas) presentaron valores superiores (-0,4 a 0,6) y solapamiento entre el 25 al 50% con el resto de las cubiertas. Los sitios de disposición de residuos y las chatarreras presentaron valores similares a la vegetación (-0,7 a -0,2). Mientras que el relleno activo coincidió con el suelo y los bigotes de los cuerpos de agua (-0,5 a -0,2).

Resumen de los índices NDVI, CEDEX y NDWI

Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 11 y el Mapa 8, considerando las máscaras y el tamaño característicos de los sitios (ítem IV.1 y IV.3).

Índices	Sitios contaminados coincidente (ha %)				Superficie de Sitios potencialmente contaminados (ha y rango de los índices)		
	Superficie referencia (ha)	NDVI	CEDEX	NDWI	NDVI	CEDEX	NDWI
Basurales	612	192 ha 31%	171 ha 28%	188 ha 31%	26.090 ha (-0,5 a 0,8)	30.877 ha (0,3 a 1)	18.620 ha (-0,7 a -0,2)
Ex-Basurales	153	51 ha 33%	54 ha 35%	44 ha 28%			
Rellenos sanitarios	1.992	1.663 ha 83%	1.674 ha 84%	1.626 ha 82%			
Chatarreras	12	4 ha 36%	2 ha 21%	3 ha 26%			
Cuerpos de agua	171	143 ha 81%	125 ha 71%	145 ha 82%			

Tabla 11. Resultados obtenidos en base a los índices de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 8

índices NDVI, CEDEX y NDWI

Fuente: en base a la imagen Landsat 5
del 26 de febrero de 2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

IV.5. Tasseled Cap Brillo

Se generaron tres nuevas bandas del Tasseled Cap (TCC): Brillo, Verdor y Humedad. En el caso del Brillo (Figura 67), todos los cuerpos de agua presentaron valores bajos (-0,04 -0,04) que se solaparon en menos de un 25% con el relleno activo. Éste último coincidió con el suelo mientras que los restantes sitios coincidieron con los valores de la vegetación (0,07-0,23).

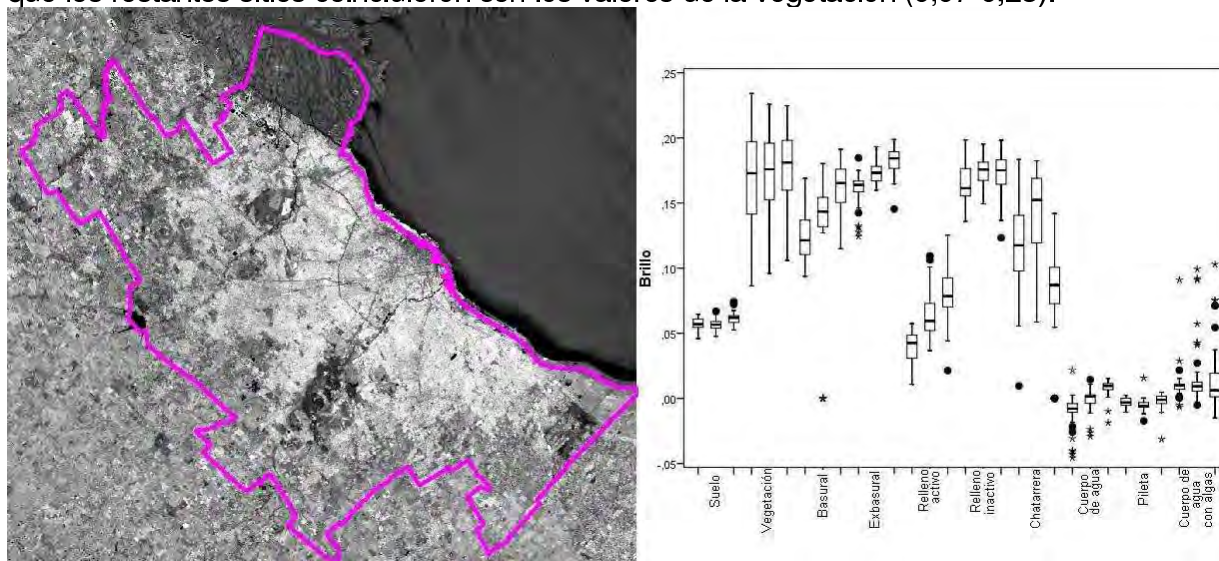


Figura 67. Brillo en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA.

Humedad

En el caso de la banda Humedad (Figura 68), los cuerpos de agua presentaron valores entre -0,02 a 0,02, que se solaparon con el relleno sanitario. Mientras que los restantes sitios presentaron valores similares con el suelo y la vegetación (-0,12 a 0,04).

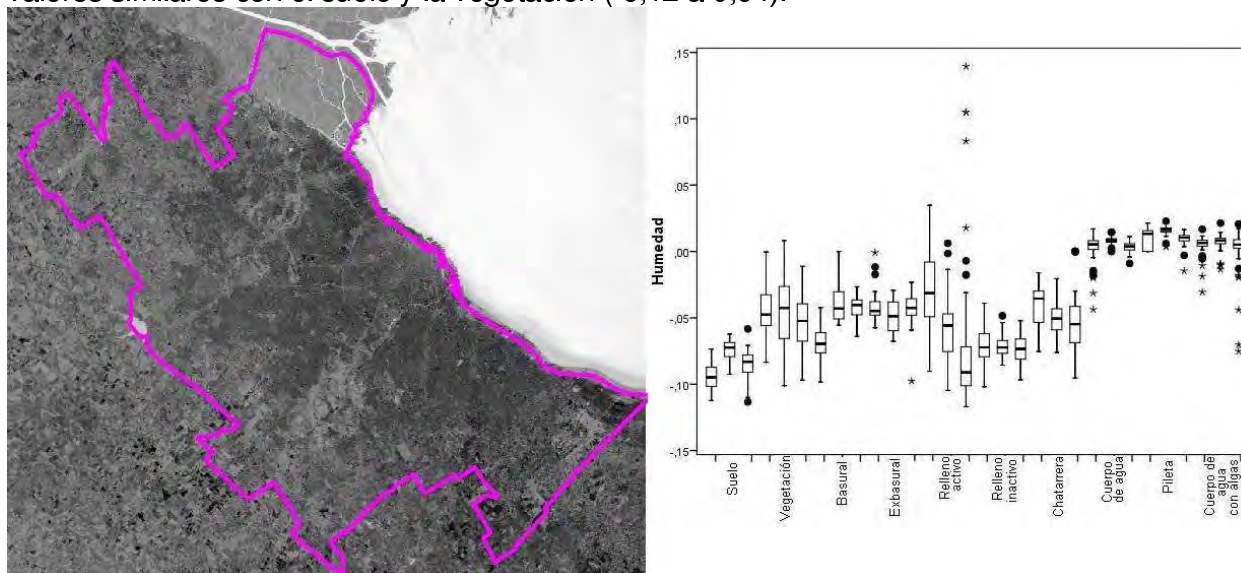


Figura 68. Humedad en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA.

Mientras que con la banda del Verdor (Figura 69), sólo los cuerpos de agua (-0,02 a 0,03) se diferenciaron del resto de la cubiertas aunque los cuerpos con alga se solaparon con el relleno sanitario.

Verdor

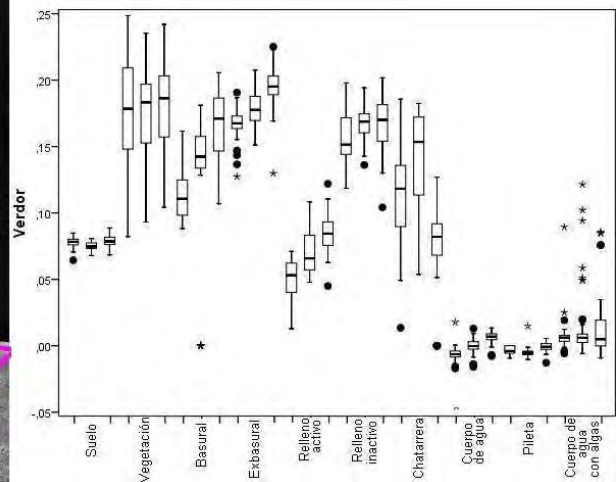


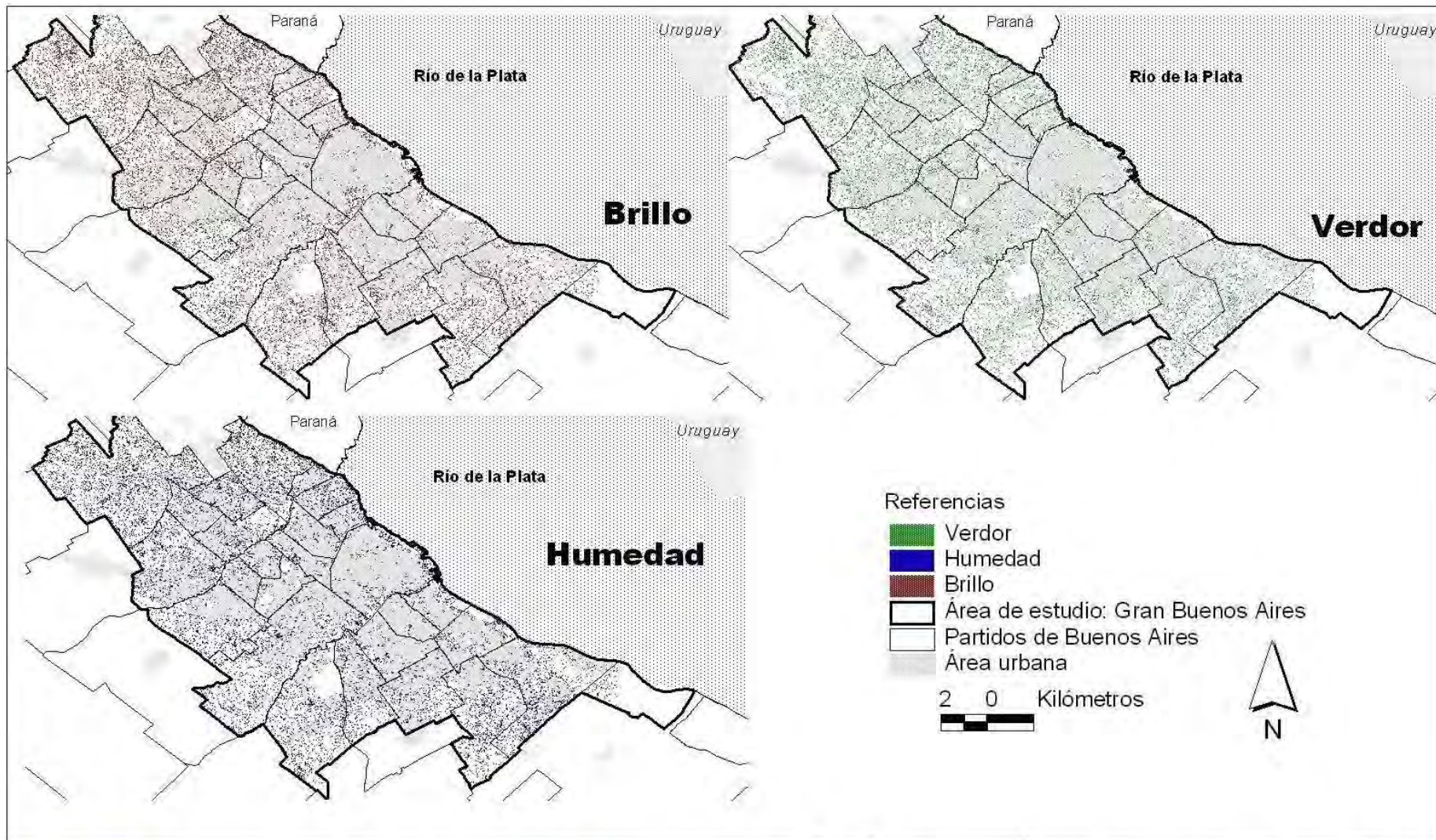
Figura 69. Verdor en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA.

Al igual que el trabajo de Zamorano et al. (2008), los basurales y rellenos presentaron en las bandas de Verdor y Humedad comportamientos heterogéneos, similares a la vegetación, el suelo desnudo o el aglomerado urbano. Lo que indica heterogeneidad en su composición y comportamiento.

Los resultados finales se presentan en la Tabla 12 y Mapa 9.

Índices	Sitios contaminados coincidente (ha %)				Superficie de Sitios potencialmente contaminados (ha) y rangos de las clasificaciones		
	Superficie referencia (ha)	Brillo	Humedad	Verdor	Brillo	Humedad	Verdor
Basurales	612 ha	209 ha 34%	162 ha 26%	205 ha 33%	39.322 ha (-0,04 a 0,04)	38.891 ha (-0,12 a 0,04)	31.077 ha (0,02 a 0,25)
Ex-Basurales	153 ha	56 ha 37%	47 ha 31%	47 ha 31%			
Rellenos sanitarios	1.992 ha	1657 ha 83%	1697 ha 85%	1.572 ha 79%			
Chatarreras	12 ha	6 ha 49%	3 ha 30%	6 ha 49%			
Cuerpos de agua	176 ha	152 ha 86%	125 ha 71%	144 ha 82%	2.313 ha (0,07 a 0,23)		266 ha (-0,02 a 0,03)

Tabla 12. Resultados obtenidos en base al Tasseled Cap de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011



Mapa 9

Tasseled Cap:
Brillo, Verdor y Humedad

Fuente: en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gullch"



IV.6. Clasificación supervisada y no supervisada

Clasificación supervisada

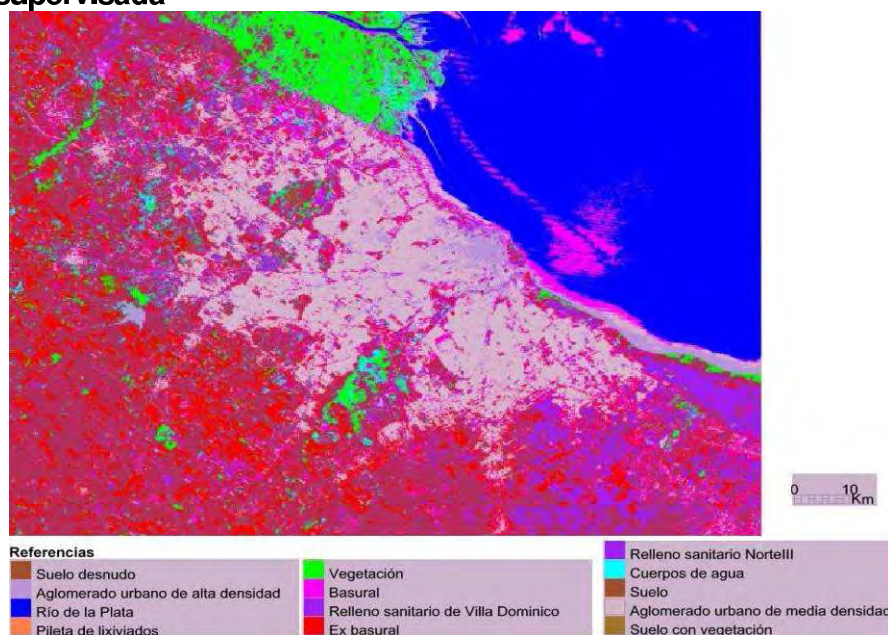


Figura 70. Clasificación supervisada en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011 del GBA.

Para la clasificación supervisada se consideraron 3 muestras por cada sitio y la separabilidad entre todas las clases mayores a 1,76 (ver Anexo 4), en el caso de los cuerpos de agua con sedimentos y algas se unificaron porque presentaron baja separabilidad (1,15) y se excluyeron las chatarreras por presentar baja separabilidad con los basurales.

De esta forma se determinaron: cuerpos de agua (con sedimentos y algas, piletas de lixiviados), basural, ex basurales y dos rellenos (uno activo y otro inactivo). Todos ellos presentaron alta separabilidad en referencia con las muestras de agua del Río de la Plata, la vegetación, el suelo desnudo y el aglomerado urbano de media y alta densidad (Figura 70).

La fiabilidad del método fue del 78,86% lo que indicó concordancia sustancial, entre la clasificación obtenida y la verdad de terreno, a pesar de ello los errores de comisión y omisión fueron altos (ver Anexo 4): suelo con vegetación (17,65%, 0%), Aglomerado de media densidad (28,32%, 0%), cuerpos de agua (17,54%, 26,56%), Relleno sanitario Norte III (0%, 20,31%), Ex basurales (18,64%, 33,33%), Relleno sanitario Villa Dominico (51,06%, 39,47%), Basural (40%, 58,33%), Pileta de lixiviados (50,88%, 59,42%) y aglomerado de alta densidad (7,35%, 0%); excepto para algunas cubiertas: suelo desnudo (0%, 0%), Vegetación (0%, 0%), Río de la Plata (0%, 0%).

Al igual que el trabajo del Atlas de la Basura, la clase de basural coincidió con las áreas ribereñas. En cuanto a la clase de ex basurales se correspondió en realidad con parte de los suelos con vegetación, las lagunas artificiales o la represa Roggero fueron clasificadas como aglomerado urbano, y en el caso de las chatarreras, a pesar de que no se pudo generarse una clase, se obtuvo 100% de coincidencia con la clase de basural debido al error de omisión de este último.

La cantidad de hectáreas y porcentajes de las clases referentes sólo a los sitios contaminados, luego haber aplicado máscaras de avenidas y rutas se reflejan en la Tabla 13 y Mapa 10.

Clasificación No supervisada

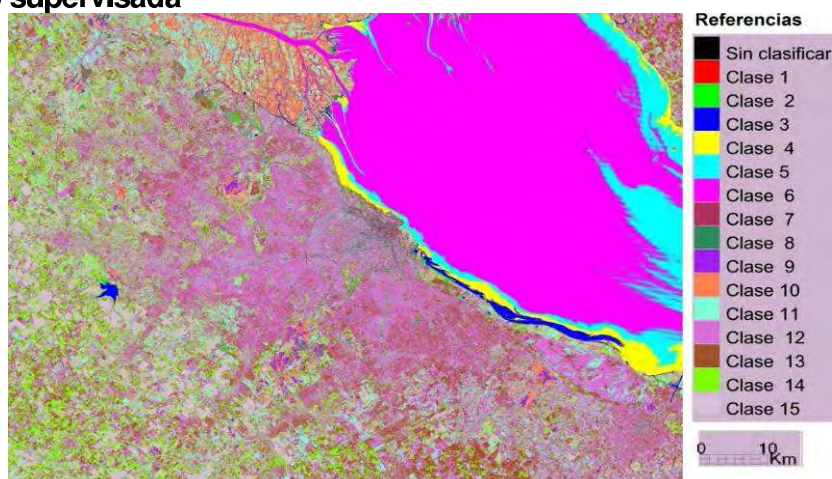
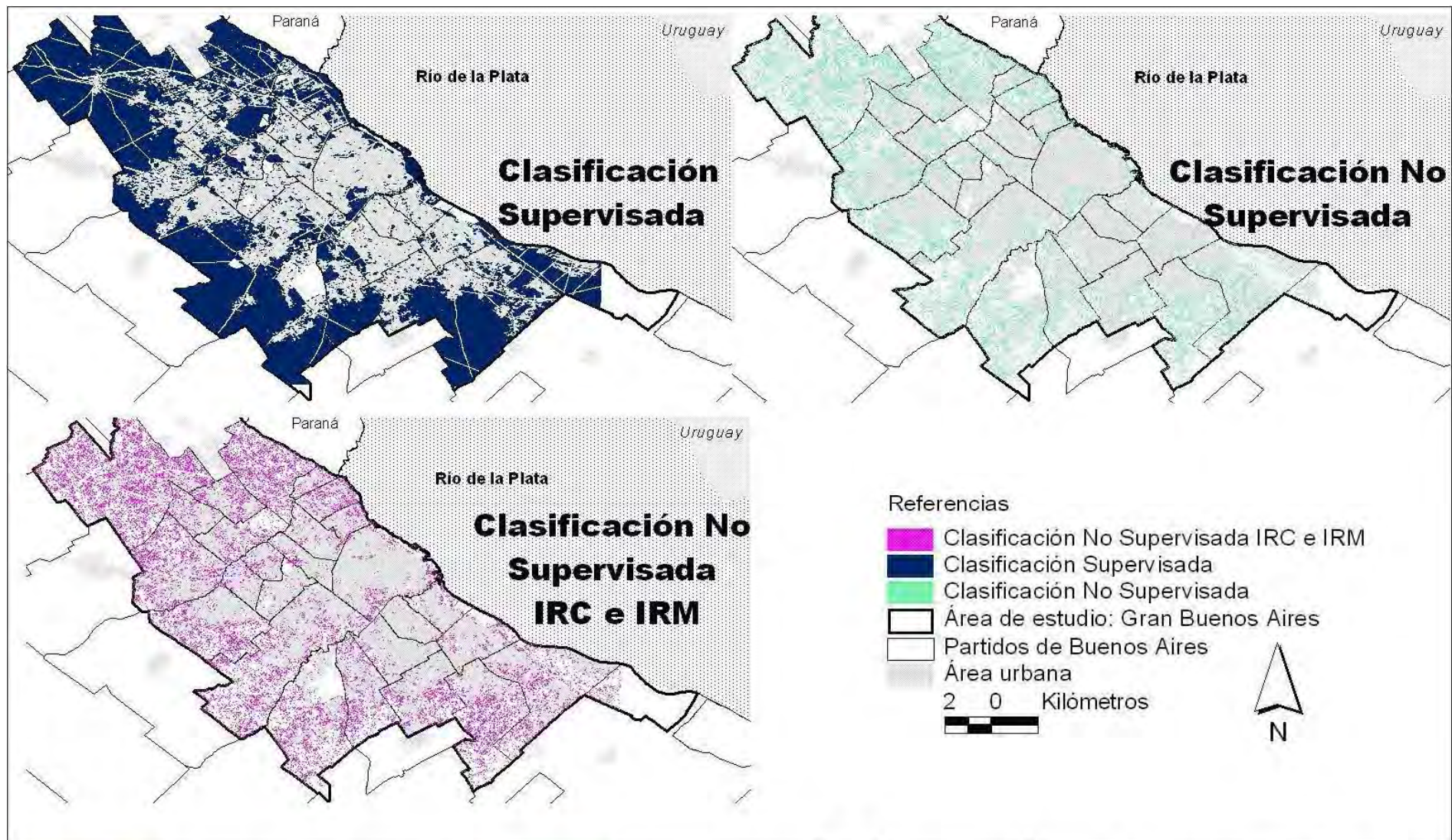


Figura 71. Clasificación No supervisada ISODATA, en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Se aplicaron clasificadores no supervisados ISODATA de 10 clases sin la banda térmica, obteniendo 3 clases para los sitios de disposición de residuos y las chatarrerías (clases 6 a 8) y 1 clase para los cuerpos de agua (clase 1). El mismo procedimiento se aplicó a las bandas del IR y del Tasseled Cap, obteniendo los mayores valores de eficiencia para el primer producto (Tabla 13 y Mapa 10).

Clasificación	Sitios contaminados coincidente (ha %)					Superficie de Sitios potencialmente contaminados (ha) y rangos de las clasificaciones			
	Superficie referencia (ha)	Sup.	No Sup.	No Sup. IR	Tasseled Cap	Sup.	No Sup.	No Sup. IR	No Sup. Tasseled Cap
Basurales	612 ha	230 ha 38%	385 ha 63%	266 ha 43%	10 ha 2%	6.565 ha	55.589 ha (clases 5 a 10)	60.619 ha (clases 5 a 10)	463 ha (clases 3 a 6)
Ex-Basurales	153 ha	58 ha 38%	124 ha 81%	76 ha 50%	6 ha 4%	10.395 ha			
Rellenos sanitarios	1.992 ha	1362 ha 68%	1772 ha 89%	1754 ha 88%	448 ha 22%	8.551 ha			
Chatarrerías	12 ha	-	10 ha 86%	9 ha 80%	2 ha 15%	-			
Cuerpos de agua	176 ha	170 ha 97%	170 ha 97%	161 ha 92%	10 ha 5%	2.027 ha	370 ha (clase 1)	383 ha (clase 1)	3.447 ha (clase 1 y 2)

Tabla 13. Cantidad de hectáreas y porcentajes por clase y sitio, en base a las clasificaciones de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulch"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 10

Clasificadores:
Supervisados y No supervisados

Fuente: en base a la imagen Landsat 5
del 26 de febrero de 2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

IV.7. Series multitemporales de NDVI y temperatura

Se utilizaron dos series multitemporales con 41 escenas del período 2001 al 2011 de Landsat 5, tanto para el NDVI a 30 m de resolución espacial y como la temperatura de brillo aparente en grados Celsius [°C] a 90 y 120 m.

IV.7.1. Serie de NDVI



Figura 72. Combinación de los tres primeros componentes, en base a la serie de NDVI del 2001 al 2011.

Para el estudio del NDVI se consideraron 2 o 3 muestras por cada sitio, y como se mencionó anteriormente las muestras seleccionadas fueron aquellas que presentaron mayor heterogeneidad. También se compararon con muestras de vegetación, el aglomerado urbano, suelo desnudo, y de agua de la represa Roggero y el Río de la Plata. La primera cubierta presentó los mayores valores de NDVI superiores a 0,25, excepto en tres fechas: enero y julio de 2004 y enero 2006 cuando el suelo lo superó (Figura 73). Con valores inferiores a 0,1 en orden decreciente se encontró el aglomerado urbano, la represa Roggero y el Río de la Plata. El suelo presentó comportamiento contrario a la vegetación en julio de 2004, julio a octubre 2005, julio a diciembre 2007 y octubre 2010 a julio 2011.

Cuerpos de agua

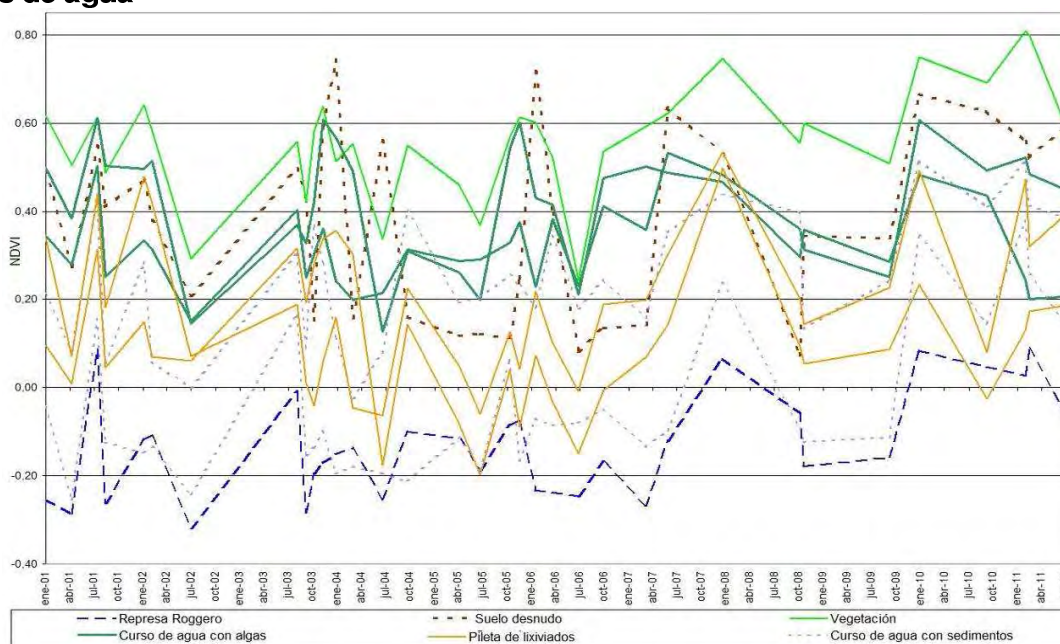


Figura 73. Cuerpos de agua -análisis multitemporal del NDVI, en base a una serie multitemporal de 41 escenas Landsat 5 del período 2001 al 2011.

Los cuerpos de agua presentaron los siguientes valores, ordenados en forma decreciente: con alga en suspensión, piletas de lixiviados y con sedimentos, aunque hubo superposición entre los tres, en mayor medida entre los dos últimos con el agua de la Represa Roggero.

Los cuerpos de agua con alga y las piletas presentaron comportamientos similares, tanto en crecimiento /decrecimiento, a la vegetación pero siempre inferior excepto en julio 2001 y enero 2004. Mientras que los cuerpos con sedimentos se asemejaron al agua de la Represa Roggero con valores superiores.

Rellenos sanitarios

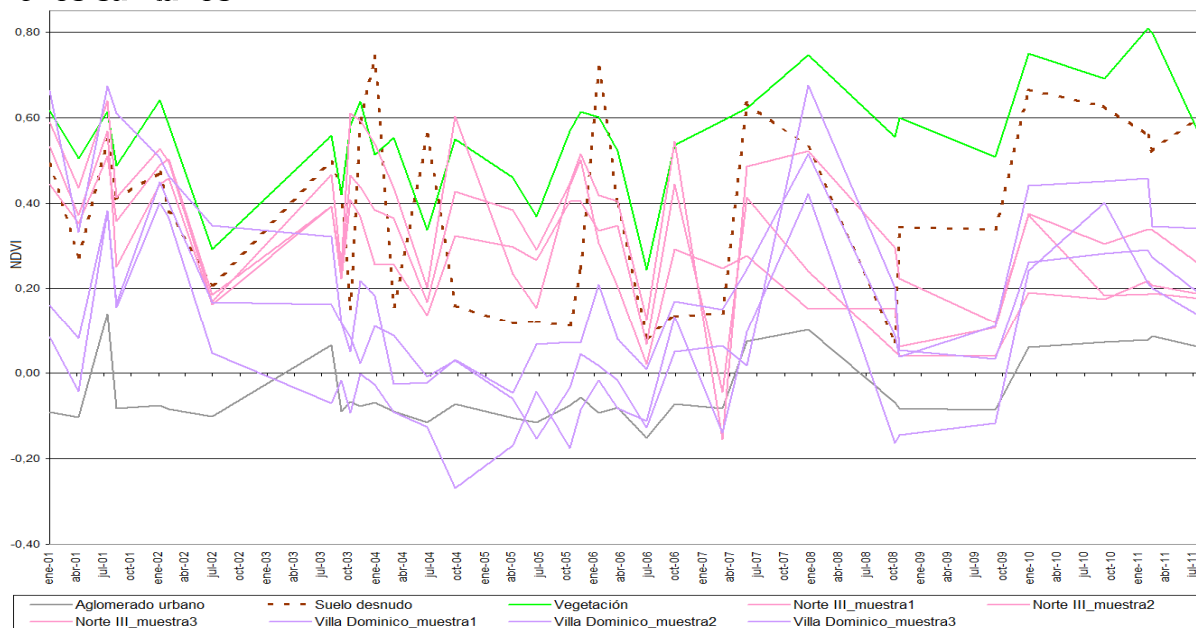


Figura 74. Rellenos sanitarios -análisis multitemporal del NDVI, en base a una serie multitemporal de 41 escenas Landsat 5 del período 2001 al 2011.

Los rellenos no siguieron el comportamiento de una única cubierta a lo largo de la serie de 10 años, sino de tres: la vegetación, el aglomerado urbano y el suelo desnudo. Gran parte inferior a la vegetación y superior al aglomerado urbano (Figura 74).

En forma global, considerando el crecimiento del NDVI en primavera -verano y el decrecimiento en otoño - invierno, el de Villa Domínic fue decreciendo hasta octubre 2004 cuando presentó su mínimo más importante de los 10 años, ésta caída puede deberse a su cierre definitivo el 31 de Enero de 2004. Luego comienza a crecer hasta su máximo en enero de 2008.

El relleno Norte III en forma global fue decreciendo, con un mínimo en marzo 2007, cuando presentó valores inferiores al aglomerado urbano y un comportamiento contrario a la vegetación. Este relleno actualmente se encuentra activo con capacidad de disposición hasta el 2012.

Basurales, ex basurales y chatarras

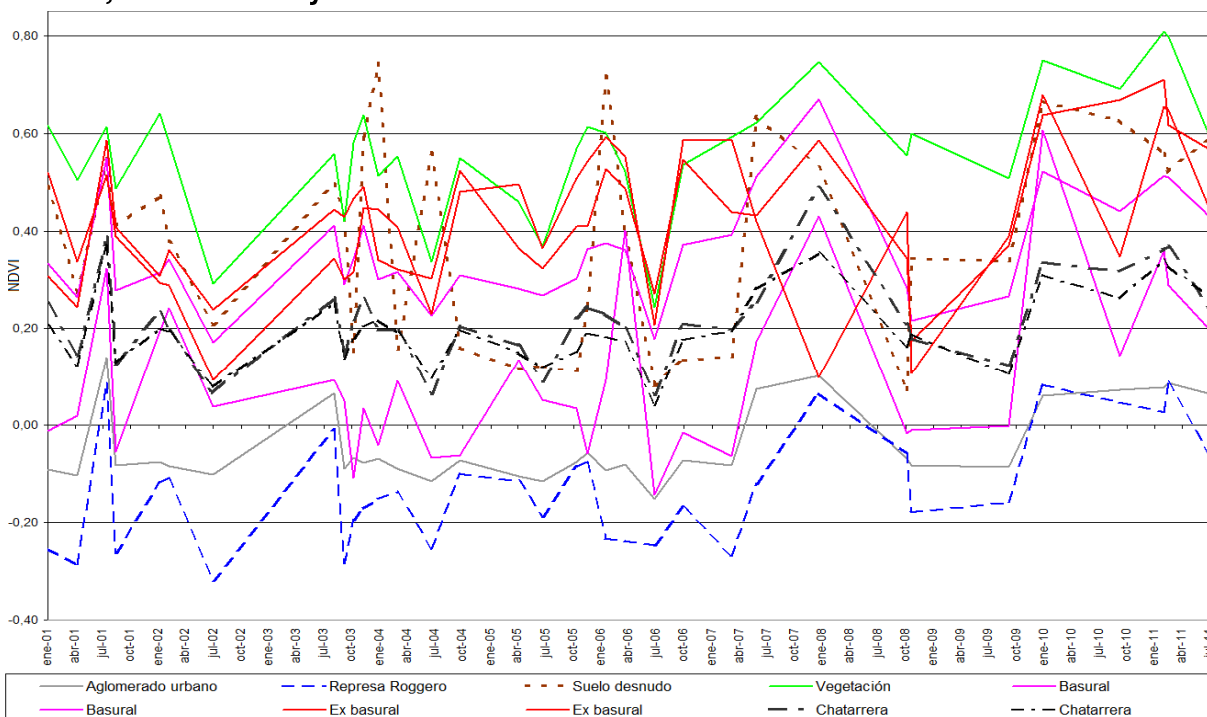


Figura 75. Basurales, ex basurales y chatarras -análisis multitemporal del NDVI, Landsat 5 del período 2001 al 2011.

Los ex basurales presentaron mayor valor de NDVI y menor dispersión que los basurales. El mínimo y máximo de 0,1 y 0,7 respectivamente de NDVI durante el período 2001 – 2010. Ambos sitios contaminados presentaron comportamiento similar a la vegetación y valores superiores al aglomerado urbano y la Represa Roggero. Mientras que las chatarreras presentaron valores intermedios entre los ex basurales y basurales (Figura 75).

IV.7.2. ACP y serie de NDVI

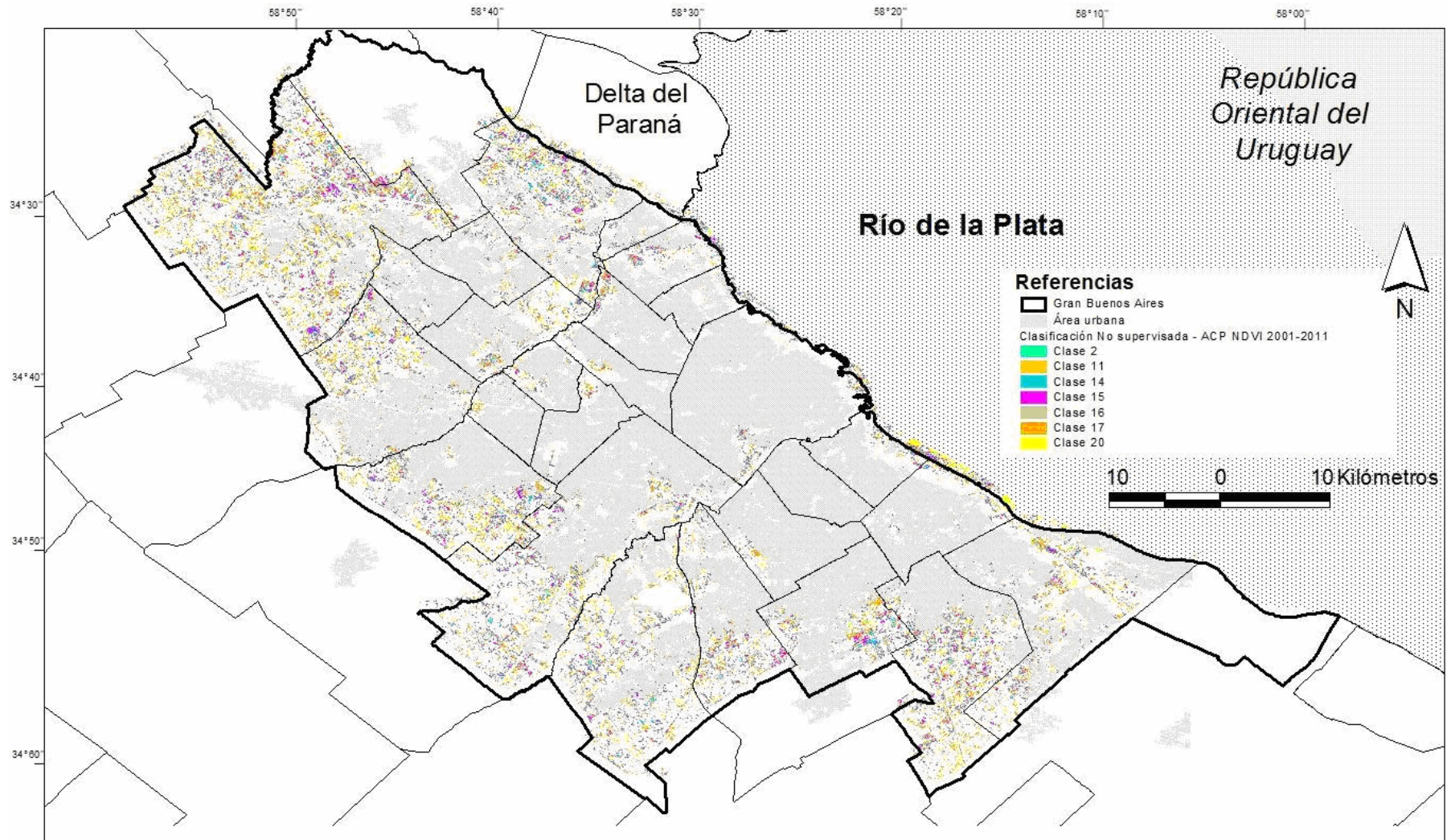
A la serie multitemporal de NDVI se aplicó ACP, y se observó que las tres primeras componentes distinguían mejor los sitios contaminados que los últimos componentes (Mapa 11), para lo cual se generó una clasificación no supervisada ISODATA obteniendo los siguientes resultados (Tabla 14):

Clasificación No Supervisada al ACP de NDVI	Sitios contaminados		Superficie de Sitios potencialmente contaminados (ha y rangos de las clasificaciones)
	Referencia (ha)	Superficie coincidente (ha %)	
Basurales	612 ha	17 ha 3%	50.565 ha (clases 11, 14, 15, 16, 17 y 20)
Ex-Basurales	153 ha	5 ha 3%	
Rellenos sanitarios	1.992 ha	610 ha 31%	
Chatarreras	12 ha	5 ha 43%	
Cuerpos de agua	176 ha	18 ha 11%	
			420 ha (clase 1 y 2)

Tabla 14. Cantidad de hectáreas y porcentajes por clase y sitio, en base a una clasificación no supervisada de tres componentes de una serie multitemporal de NDVI de 41 escenas Landsat 5 del período 2001 al 2011.

Los resultados obtenidos presentaron porcentaje de coincidencia inferior a los esperados visualmente.

Mientras que la primer componente fue de utilidad para la generación de las máscaras de aglomerado urbano y ríos.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulch"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 11

Análisis de Componentes Principales sobre serie multitemporal de NDVI, para la detección sitios potencialmente contaminados, del Gran Buenos Aires al 2011.

Fuente: en base a serie multitemporal Landsat 5 del 2001 al 2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009: Detección de basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarrerías en el Gran Buenos Aires, mediante Teledetección y SIG.

Lic. Miño Mariela Lorena, 2011.

IV.7.3. Serie de Temperaturas Landsat 5

En la Figura 76 se graficaron las temperaturas diarias mínimas, promedios y máximas (líneas punteadas) de la serie multitemporal de temperaturas Landsat 5 y la temperatura media del aire (líneas continuas) obtenidas de las estaciones meteorológicas del INTA Castelar y Aeroparque Jorge Newery de la CABA.

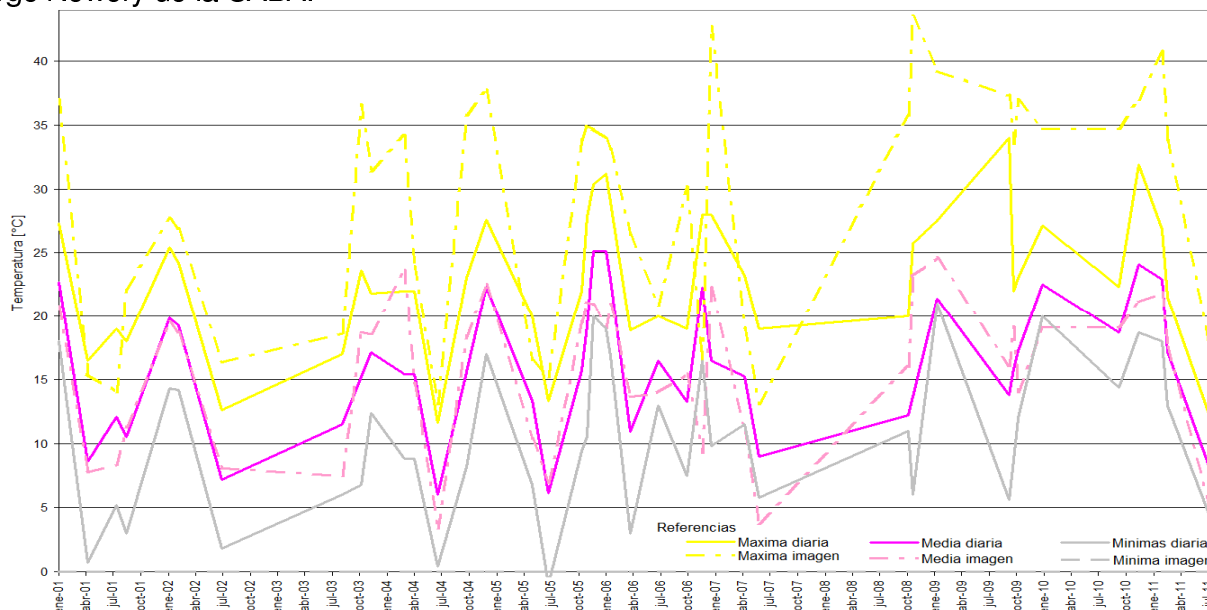


Figura 76. Temperaturas mínimas, medias y máximas diarias del período 2001 a 2011 del GBA (Estación INTA Castelar y Aeroparque Jorge Newery CABA) y de las bandas térmicas de Landsat 5 del área de estudio path/row 225-84.

Los comportamientos en cuanto al crecimiento o decrecimiento a través del tiempo de las imágenes y los datos climáticos fueron muy similares, con excepción del mes de julio de 2006 y 2009. Aunque los valores de las imágenes fueron de 1 a 20 °C superiores a los datos climáticos tanto para la mínima como máxima mientras que las temperaturas medias presentaron diferencias de hasta 5 °C. La temperatura media del aire del GBA en el período de estudio es de 17 °C, 11 °C en julio y 23 °C en verano.

Cuerpos de agua

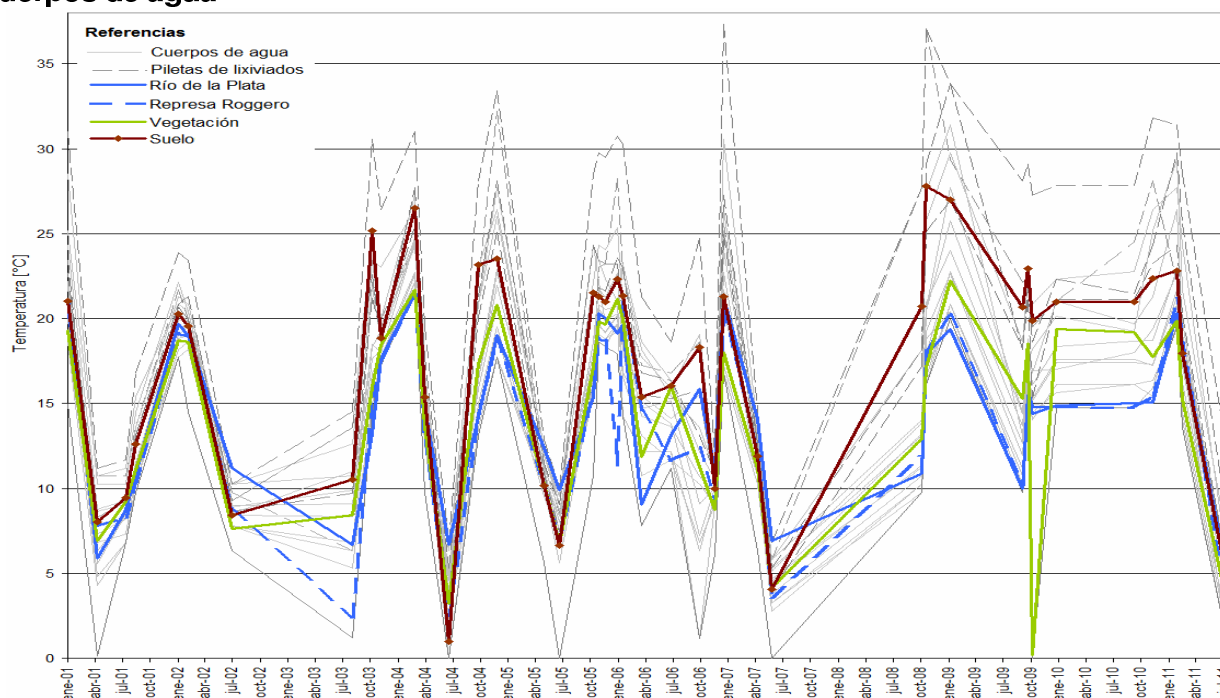


Figura 77. Temperaturas de cuerpos de agua en base a la serie multitemporal de Landsat 5 del 2001 a 2011.

En forma global, los cuerpos de agua presentaron las siguientes temperaturas en orden decreciente:

- las piletas de lixiviado de los rellenos sanitarios Norte III (relleno activo) y Villa Domingo (relleno inactivo o en etapa de post de clausura).
- Algunos cuerpos de agua con sedimentos y/o algas en suspensión con temperaturas superiores de 2 a 5°C a los suelos desnudos o con poca vegetación (julio 2001 - enero 2002, julio 2004 -enero 2005, octubre 2005 - abril 2006, enero a abril 2007, octubre 2008-abril 2009, octubre 2010- enero 2011).
- los restantes cuerpos presentaron temperaturas similares a la vegetación y superiores a las muestras de agua del Río de la Plata y de la Represa Roggero, excepto en julio a octubre de 2006 y de julio 2007 a octubre 2008 cuando las temperaturas fueron inferiores a todas las cubiertas.

Por medio de la temperatura y su ubicación dentro de los rellenos sanitarios se identificaron las piletas de lixiviados del resto de los cuerpos de agua (las tosqueras que son de nuestro interés de estudio y las lagunas artificiales o naturales), obteniendo 10 sitios equivalentes a 96 ha. Estas dos últimas presentaron comportamientos similares.

Basurales, ex basurales y rellenos sanitarios

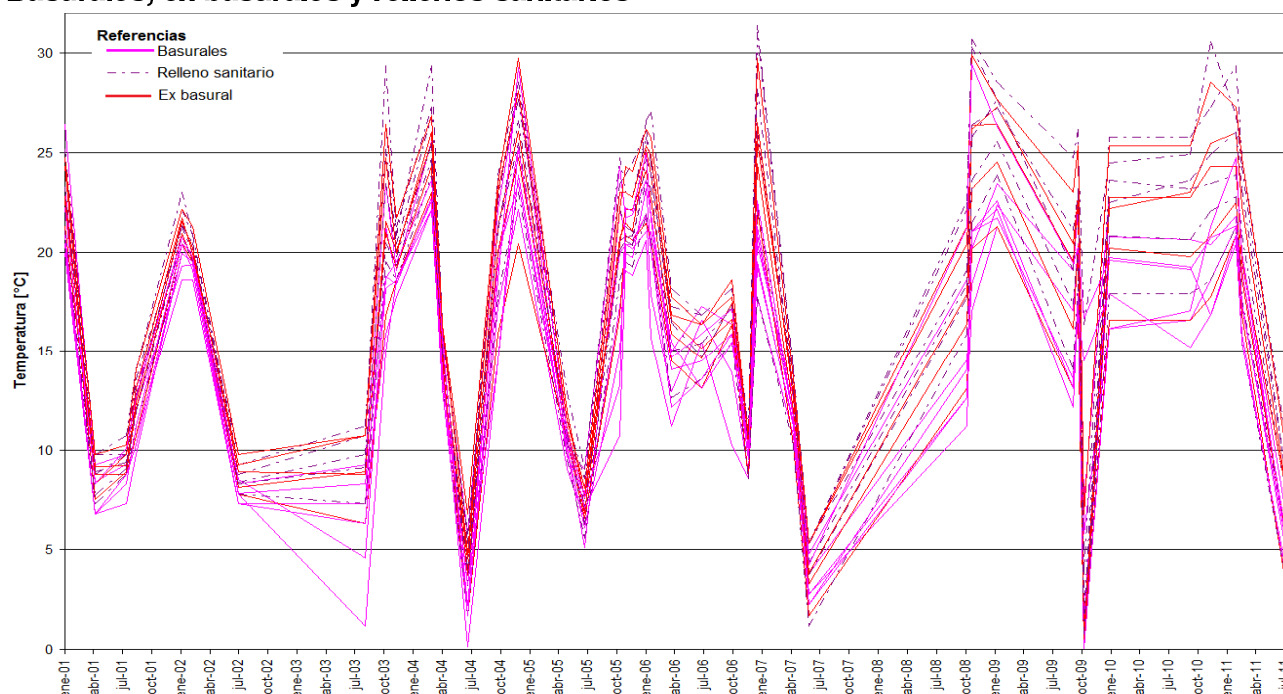


Figura 78. Temperaturas de basurales, ex basurales y rellenos sanitarios en base a la serie multitemporal de Landsat 5 del 2001 al 2011.

En la Figura 78 se observan que las tres cubiertas bajo estudio se encuentran entremezcladas, aunque varios rellenos sanitarios (línea cortada violeta) presentan las mayores temperaturas, y en menor medida los ex basurales (línea continua roja) y los basurales (línea continua fucsia). Como se comentó anteriormente, por cada tipo de sitios contaminados se consideraron sólo las muestras que presentaron diferentes comportamientos, esto se acentuó con los basurales lo que puede indicar heterogeneidad en cuanto a su composición, y en menor medida los rellenos sanitarios y ex basurales.

Debido a la nula separabilidad se generó un gráfico de áreas en base a los valores mínimos y máximos de estos sitios, junto con los cuerpos de agua sin considerar las piletas de lixiviados²⁴ y gráficos de líneas de las cubiertas adicionales (Figura 79).

²⁴ Las piletas de lixiviados son sitios contaminados controlados que serán considerados en el inventario pero no son parte de los objetivos de este trabajo.

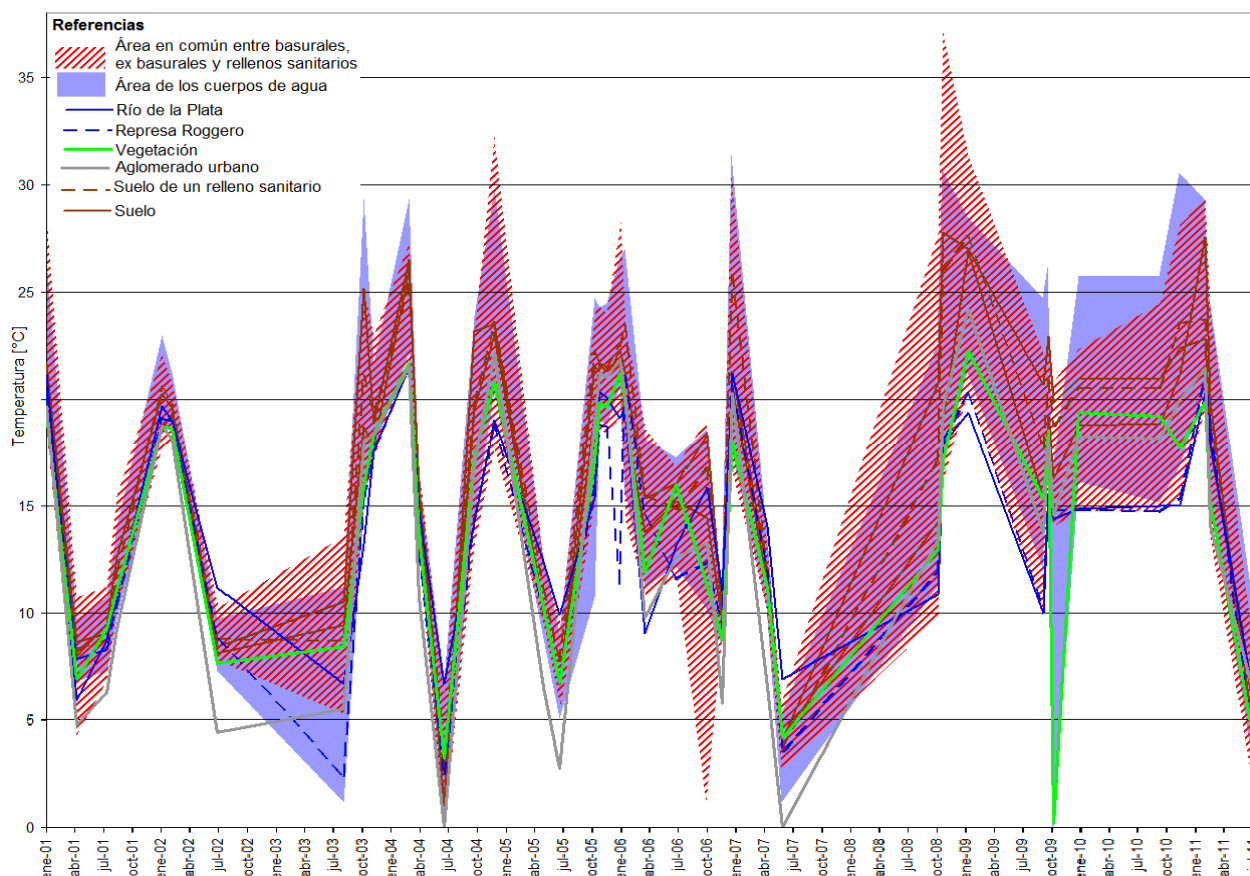


Figura 79. Gráfico combinado de áreas (basurales, ex basurales, rellenos sanitarios y cuerpos de agua a excepción de las piletas de lixiviados) y líneas de otras coberturas, base a la serie multitemporal de temperatura de Landsat 5 del 2001 al 2011.

En forma global, el comportamiento de todas las cubiertas siguió la estacionalidad, es decir, las temperaturas crecieron en primavera - verano y decrecieron en otoño - invierno, a excepción de los períodos de abril a julio de 2003 y 2006 (Figura 79), cuando se esperaba un decrecimiento de las temperaturas del río de la Plata y la Represa Roggero.

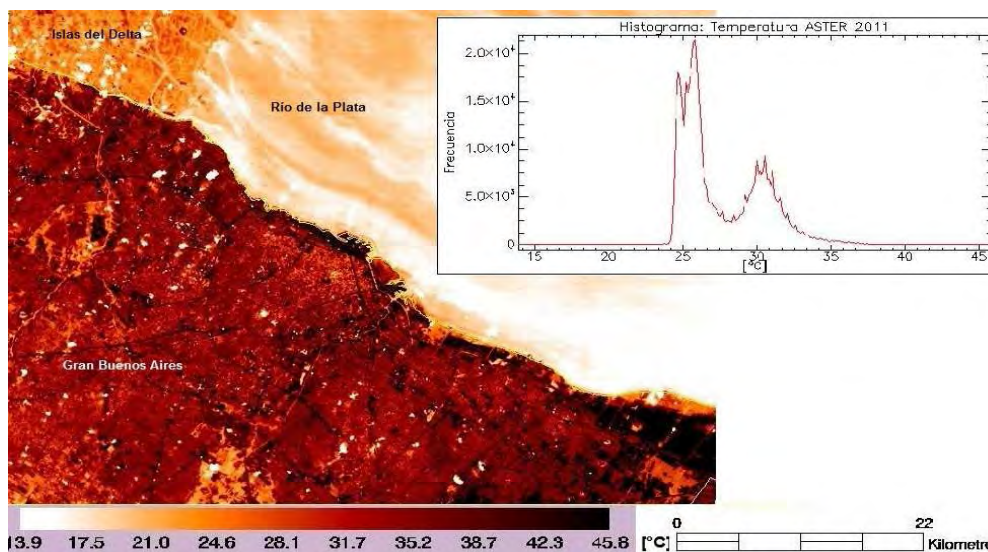
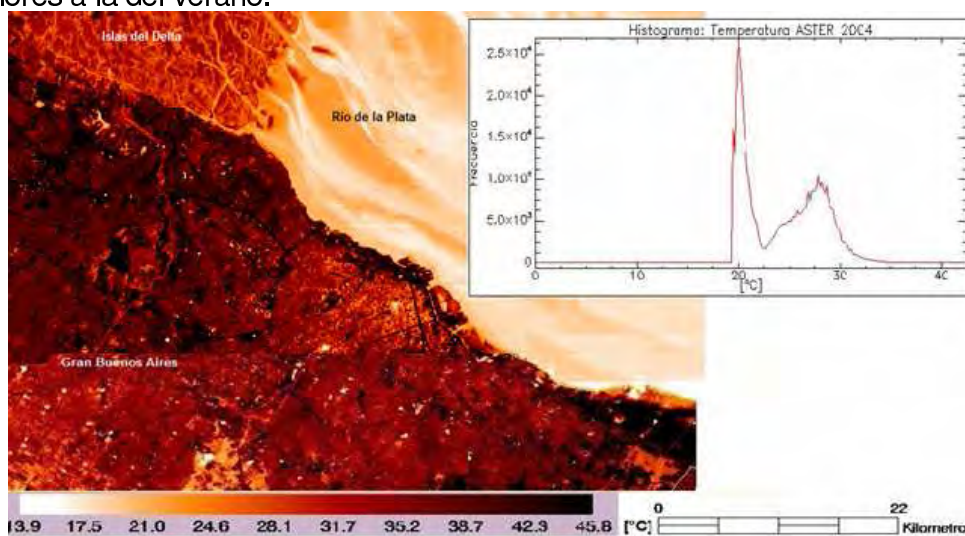
También se observa que hay superposición entre el área rayada (correspondiente a los cursos de agua), el área sólida (basurales, ex basurales y rellenos sanitarios) y las líneas (cubiertas adicionales). Las áreas que no presentaron superposición, fueron evaluadas considerando también los siguientes períodos y rangos de temperaturas:

- los cuerpos de agua: octubre de 2002 a julio 2003 con temperaturas superiores a 11 °C, julio a octubre 2006 con valores inferiores a 10 °C julio, abril a octubre 2008 con valores crecientes de 15 a 25 °C y enero 2009 con temperaturas superiores a 30 °C,
- los basurales, ex basurales y rellenos sanitarios: octubre 2009 en el rango de 1 a 13 °C, enero a octubre 2010 con valores crecientes de 22 a 27 °C, octubre 2010 a enero 2011 con temperaturas mayores a los 27 °C.

El comportamiento promedio del área de los basurales, ex basurales y rellenos sanitarios coincidieron con el suelo desnudo o con poca vegetación. Mientras que los valores mínimos del área fueron mayores e iguales a los valores del aglomerado urbano (enero 2001 a 2008 y abril a julio 2011), la vegetación (a partir de octubre 2009 a julio 2011) y superaron ampliamente a las muestras de agua del río de la Plata y la Represa Roggero (enero 2006, enero a octubre 2009 y enero 2010 a 2011). Para excluir la superposición con el aglomerado urbano, el río de la Plata y la Represa Roggero se aplicó una máscara de área urbana (ver próxima sección - IV.7. Máscaras), creadas a partir de la serie multitemporal de temperatura. Estos resultados se integraron con los datos de ASTER que se describen a continuación.

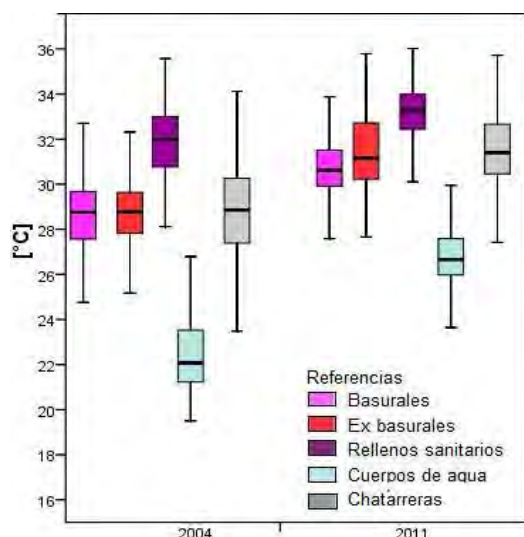
IV.8 Temperatura con imágenes ASTER

Se utilizaron 2 bandas térmicas del 2 de diciembre de 2004 y 27 de febrero de 2011 (Figura 80 y 81), ambas presentaron dos picos de temperatura, el primero correspondiente a los cuerpos de agua del GBA (21 y 26°C respectivamente) en particular al estuario del Río de La Plata, y el restante al área continental (28 y 31°C respectivamente). Los valores de la imagen de primavera fueron inferiores a la del verano.



El agua del Estuario como las nubes representaron las temperaturas más bajas de las escenas, seguida por los grandes espacios verdes en el GBA y los humedales en la parte insular del Delta. La parte continental presentó valores cercanos a los 26 y 30°C para los años 2004 y 2011 respectivamente, mayormente correspondiente al aglomerado urbano y en menor medida los suelos desnudos, mientras que las máximas temperaturas fueron de la infraestructura vial que convergen en el puerto de Buenos Aires junto con las terminales ferroviarias y aeroportuarias.

De cada escena se extrajeron 10 muestras de 50 píxeles por sitio contaminado, se calcularon y graficaron los diagramas de caja y bigotes (Figuras 82), obteniéndose medianas similares para los basurales, ex basurales y chatarreras mientras que los cuerpos de agua presentaron las temperaturas más bajas a diferencia de los rellenos sanitarios. Aunque hubo superposición del 25% entre estos dos últimos sitios y nula separabilidad entre los tipos de cuerpos de agua.



Sitio contaminado	Limite inferior [°C]		Mediana		Q3 [°C]		Limite superior [°C]	
	2004	2011	2004	2011	2004	2011	2004	2011
Basural	25,8	28,4	28,8	30,6	29,7	31,5	31,1	33,0
Ex basural	26,6	29,0	28,8	31,2	29,6	32,7	31,2	35,1
Relleno sanitario	28,8	30,7	32,0	33,2	33,0	34,0	34,2	35,3
Cuerpos de agua	20,3	23,8	22,1	26,7	23,5	27,6	26,8	29,6
Chatarrera	24,5	28,2	28,9	31,4	30,3	32,7	32,0	35,3

Figura 82 y Tabla 15. Gráfico de caja y bigotes y tabla. Temperaturas por sitio contaminado, en base a las escenas ASTER del 2 de diciembre de 2004 y 27 de febrero de 2011.

Los cuerpos de agua presentaron valores similares a ríos del área de estudio de 20,3 – 26,8 °C y 23,8-29,6 °C para 2004 y 2011 respectivamente.

El resto de los sitios contaminados presentó rangos de temperatura similares (24,5-34,2 °C y 28,2-35,3 °C para 2004 y 2011 respectivamente), y a su vez coincidiendo con:

- El aglomerado urbano de media y alta densidad de construcción que rodean las áreas portuarias (Desde Puerto Madero hasta la Reserva Costanera Norte en la CABA, Puerto de fruto de Tigre, Vicente López), las terminales de FFCC (como Retiro, Constitución, Once, Tigre).
- La infraestructura vial (principales rutas, avenidas y autopistas): 9 de julio y las autopistas Panamericana, Illia, General Paz, Delle Piane, Gaona.
- Las grandes concentraciones de industrias / portuarias como el polo petroquímico DockSud o el puerto con gran cantidad de containers y barriles.
- Los grandes techados de chapas y playas de estacionamiento correspondientes a shopping y cines (Unicenter, Solei Factory, Abasto, Patio Bullrich, Alcorta, Parque de la Costa), universidades (Facultad de abogacía y Ciudad Universitaria), Clubes (River Plate, Boca Juniors).
- Los aeropuertos de CABA, San Fernando, El Palomar, Ezeiza, Morón y Moreno.

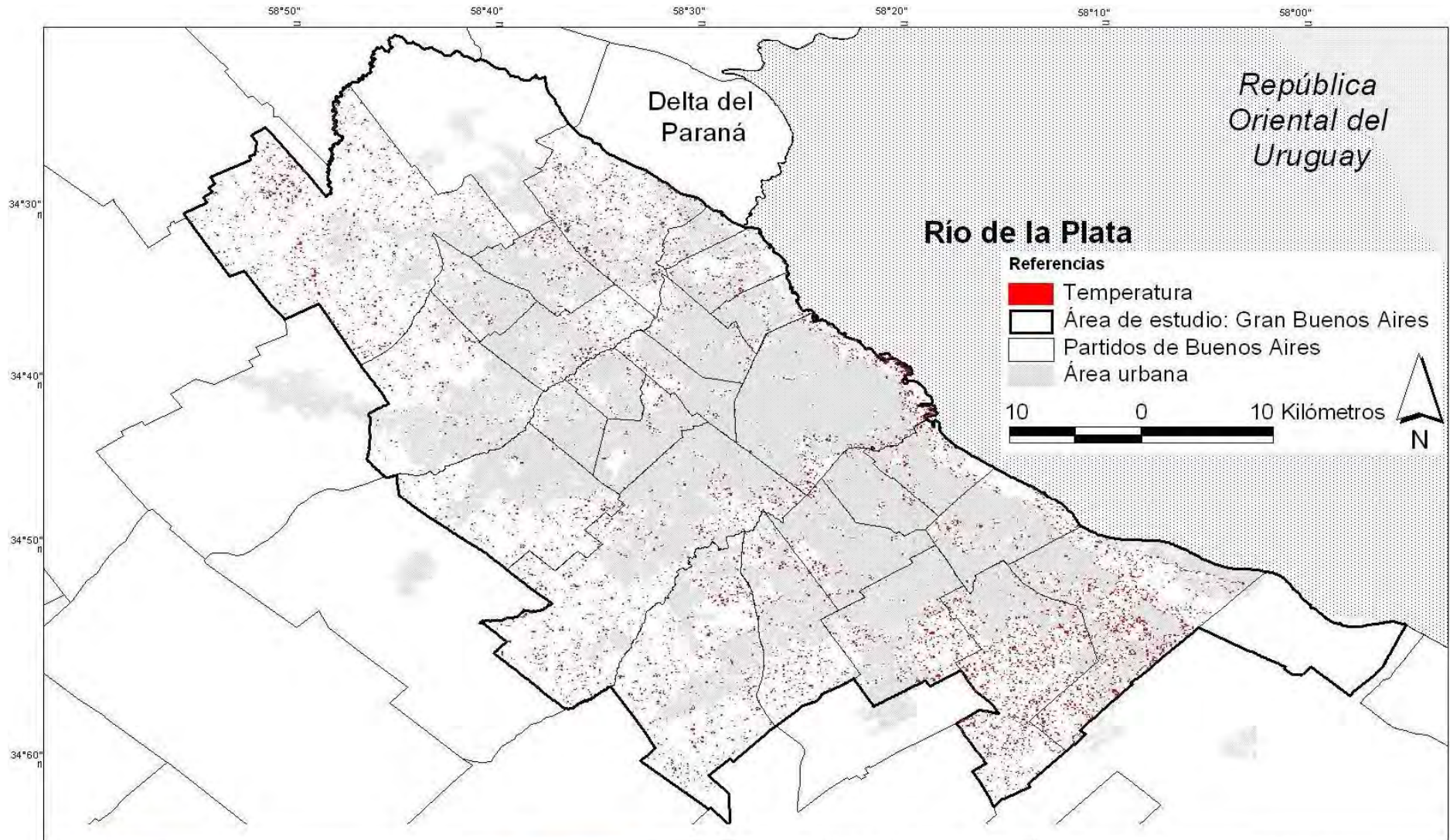
Considerando los períodos y valores posibles de temperatura de ASTER y las máscaras se obtuvieron los sitios potencialmente contaminados detectados por temperatura (Mapa 12).

Resultados de la temperatura

Se unificaron los resultados obtenidos por las imágenes Landsat 5 y ASTER, considerando las áreas en común y en el caso las áreas del borde de la escena Landsat fuera de la escena ASTER. Las áreas coincidentes con los polígonos de referencia fueron (Tabla 16):

Temperatura	Sitios contaminados		Superficie de Sitios potencialmente contaminados
	Referencia (ha)	Superficie coincidente (ha %)	
Basurales	612 ha	148 ha 24%	11.787 ha
Ex-Basurales	153 ha	38 ha 2%	
Rellenos sanitarios	1.992 ha	1.236 ha 62%	
Chatarreras	12 ha	3 ha 28%	
Cuerpos de agua	176 ha	17 ha 10%	

Tabla 16. Cantidad de hectáreas y porcentajes por clase y sitio, en base a una clasificación no supervisada de imágenes térmicas Landsat 5 y ASTER del período 2001 a 2011.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 12
Temperatura de brillo (°C)
de bandas térmicas

Fuente: en base al procesamiento de imágenes
Landsat 5 y ASTER

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

Estos resultados fueron inspeccionados con Landsat y Google Earth, obteniendo entre otros resultados:

- (k) 2 chatarrerías con alta temperatura alta (frente al aeropuerto de San Fernando y detrás del estacionamiento del Soleil Factory).
- (l) Complejos habitacionales construidos sobre ex basurales y aledaños a basurales, que presentaron altas temperaturas, en los partidos de San Martín y Tres de Febrero (ver sección IV.1.3. Resultados del análisis visual).
- (m) Las temperaturas de los rellenos inactivos como Villa Domínico y Bancalari fueron inferiores a las del relleno activo Norte III.

En comparación con el trabajo de Ferrer-Vidal y Solé-Sugrañes (1995) con una escena de primavera de Landsat 5 de la ciudad de Barcelona en España, se determinó que la temperatura media de un relleno sanitario (31,90 °C) era muy cercano al área urbana (31,52 °C) y superior al suelo desnudo (29,55 °C). Mientras que Shaker y Yan (2010) monitorearon el comportamiento de rellenos sanitarios en la ciudad de Toronto en Canadá, con Landsat 5 desde 1985 a 2009, obteniendo que la temperatura en primavera de 2008 de un relleno activo fue levemente superior a otro inactivo, superior a la vegetación y muy superior a la del aire (37 °C, 33 °C, 27 °C y 22 °C respectivamente).

En nuestro caso, lo comparamos con una escena de noviembre de 2008 obteniendo superposición entre las temperaturas de los rellenos sanitarios (21 a 31 °C), el aglomerado urbano de (23,5 °C), el suelo desnudo de (27 °C) y la vegetación (18 °C).

A pesar de que las condiciones climáticas, geográficas y las correcciones de las escenas son diferentes o se desconocen, los valores del primer trabajo fueron cercanos a los nuestros aunque el suelo desnudo presentó mayor temperatura que el aglomerado. En el segundo caso, hubo una diferencia de 6 °C, 9,5 °C, 0 °C y 4 °C con nuestro trabajo, coincidiendo sólo con la vegetación.

Ambas comparaciones se realizaron debido a que no se encontró información sobre estos sitios contaminados en el GBA.

En cuanto a la baja resolución de las imágenes térmicas, Ishihara et al. (2002) concluyeron que presentaba restricciones en cuanto a la detección de sitios pequeños. En nuestro caso no se pudo analizar la respuesta de las chatarrerías con Landsat 5 de 120 m por lo cual se complementó con ASTER de 90 m.

Mientras que Silvestri et al. (2005) determinaron que las imágenes tomadas por el sensor en la primavera o verano en horario matutino eran las únicas con posibilidad de diferenciar las temperatura entre los sitios de disposición de residuos (donde hay procesos de fermentación, quema y lixiviados) del restos de las cubiertas. En nuestro caso, todas las escenas fueron en horario matutino (horario local), Landsat de 9 a 10 h y ASTER a las 11 h. Con el primer sensor no se pudo separar estos sitios, pero si 2 de ellos con el segundo.

Además con Landsat puedo distinguir las piletas de lixiviados de las tosqueras y lagunas. Estas dos últimas no pudieron separarse, mientras que la separabilidad entre los cuerpos de agua y los sitios de disposición de basura fue baja. En el caso de ASTER con un horario más cercano al medio día, las piletas de lixiviado presentaron temperaturas similares a las tosqueras y lagunas y al igual que Landsat 5 no hubo separabilidad entre los rellenos sanitarios, basurales y ex basurales, adicionándose en este caso las chatarrerías.

IV.9. Regresión logística binaria

El objetivo del uso de esta herramienta estadística fue generar un modelo que exprese las variables que mejor describen a un basural en el GBA, en base a la variable dependiente y un conjunto de variables predictivas numéricas y categóricas (Anexo 5).

La variable dependiente llamada **Sitio** constó de 78 polígonos del área de estudio, 38 de ellos codificados como 1 cuando corresponde a un basural (es el evento que queremos detectar) y los 38 restantes codificados como 0 cuando sea ausencia de basural para lo cual se tomaron áreas con vegetación, suelo, aglomerado urbano, ex basurales y muestras de agua.

Para la generación del modelo se utilizó el 80% de los polígonos (31) y el 20% (14) para la validación.

Las variables independientes seleccionadas se eligieron en base a los antecedentes de investigación de la sección I.2 adicionalmente se consideró el tamaño de estos sitios contaminados dado que se observó que gran parte de ellos tienen un tamaño similar. Estas variables se dividieron en dos grupos: numéricas o cuantitativas y categóricas, todas ellas tienen información sobre los 76 polígonos de la variable dependiente:

Numéricas

- Área (ha): Área del basural medida en hectáreas (ha).
- Poblacion2011: Población por municipio (hab), provenientes del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010.
- Densidad2011 (hab/km²): Densidad poblacional por municipio medida en habitantes por km² (hab/km²) en base a datos de población del 2010 y la superficie del municipio.
- Generación de basura (Tn): Generación de basura por municipio medida en toneladas (Tn) ingresadas al CEAMSE al año 2005.
- Pavimento: porcentaje de calles pavimentadas por municipio (%).
- Brillo, verdor y humedad: valor promedio de la Transformación Tasseled Cap, en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.
- Índices Valor: promedio de los índices SAVI, NDVI y NSI, con rangos de valores de -1 a 1 en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.
- Temperatura media (C): valor promedio de la temperatura en °C en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.
- TC1, TC2 y TC3: Valor promedio de las tres primeras componentes de ACP, en base a una serie multitemporal de temperatura del 2001-2011 con imágenes Landsat 5.
- B1 a B5 y B7: Valor promedio de la reflectancia en base a la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Categóricas

Corresponden a las variables descriptas en la sección III.2, las cuales son dicotómicas, donde 1 indica cercanía a 100 m, 300 o 500 m a la redonda con un basural y 0 sin relación con un basural.

- VyA100m y VyA300m: cercanía con villas y asentamientos a 100 y 300 m.
- BarriosCerrados100m y BarriosCerrados300m: cercanía con barrios cerrados a 100 y 300 m.
- Industrias100m, Industrias300m e Industrias500m: cercanía a industrias y parques industriales a 100, 300 y 500 m.
- Rios100m y Rios300m: cercanía a cursos de agua a 100 y 300 m.
- Avdayrutas100m y Avdayrutas300m: cercanía a las principales avenidas, autopistas y rutas a 100 y 300 m.
- FFCC de 100m: cercanía a las vías del FFCC a 100 m.
- Altitud menor a 100 m: altitud menor de 10 m de altura, correspondiente a áreas inundables o con gran probabilidad.
- Otros sitios contaminados de 100 m: cercanía a otros sitios contaminados (ex basurales, rellenos sanitarios, chatarrerías y tosquerías) a 100 m.

En base a Sitio (1= basural, 0= no_basural) y las 35 variables independientes se realizó la regresión logística binaria, obteniendo que las variables predictoras fueron **Área (ha)**, **Brillo**, **Temperatura media (C)** y **Otros sitios contaminados100m**.

La primera variable presentó valores promedio de 1 ha para basurales y 3,5 ha para no_basurales y rangos entre 0,02-2,3 ha y 2,0 a 6,2 ha, además de muy buena separabilidad entre dichos grupos (Figura 83-a).

Mientras que para el Brillo y la Temperatura la separabilidad entre los dos tipos de sitios fue baja, tomando rangos de 0,20 - 0,34 y 0,18 - 0,31 en reflectancia y 21 - 27°C y 20 - 25,5 °C respectivamente (Figura 83-b y c). En cuanto a la cercanía con otros sitio contaminado se encontró que el 30% de los basurales de referencia se encontraron a menos de 100 m a diferencia del 6% del no_basural (Figura 83-d).

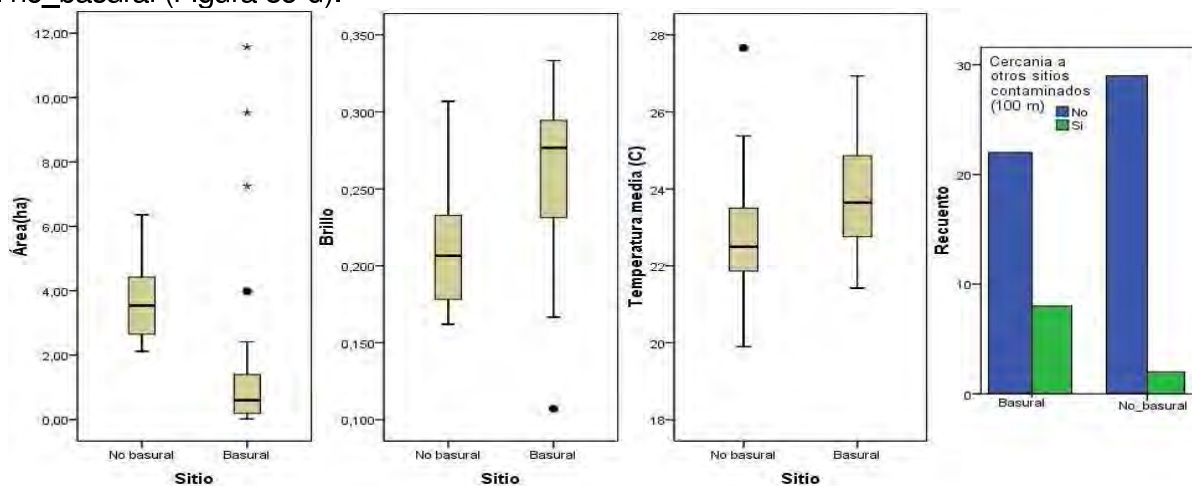


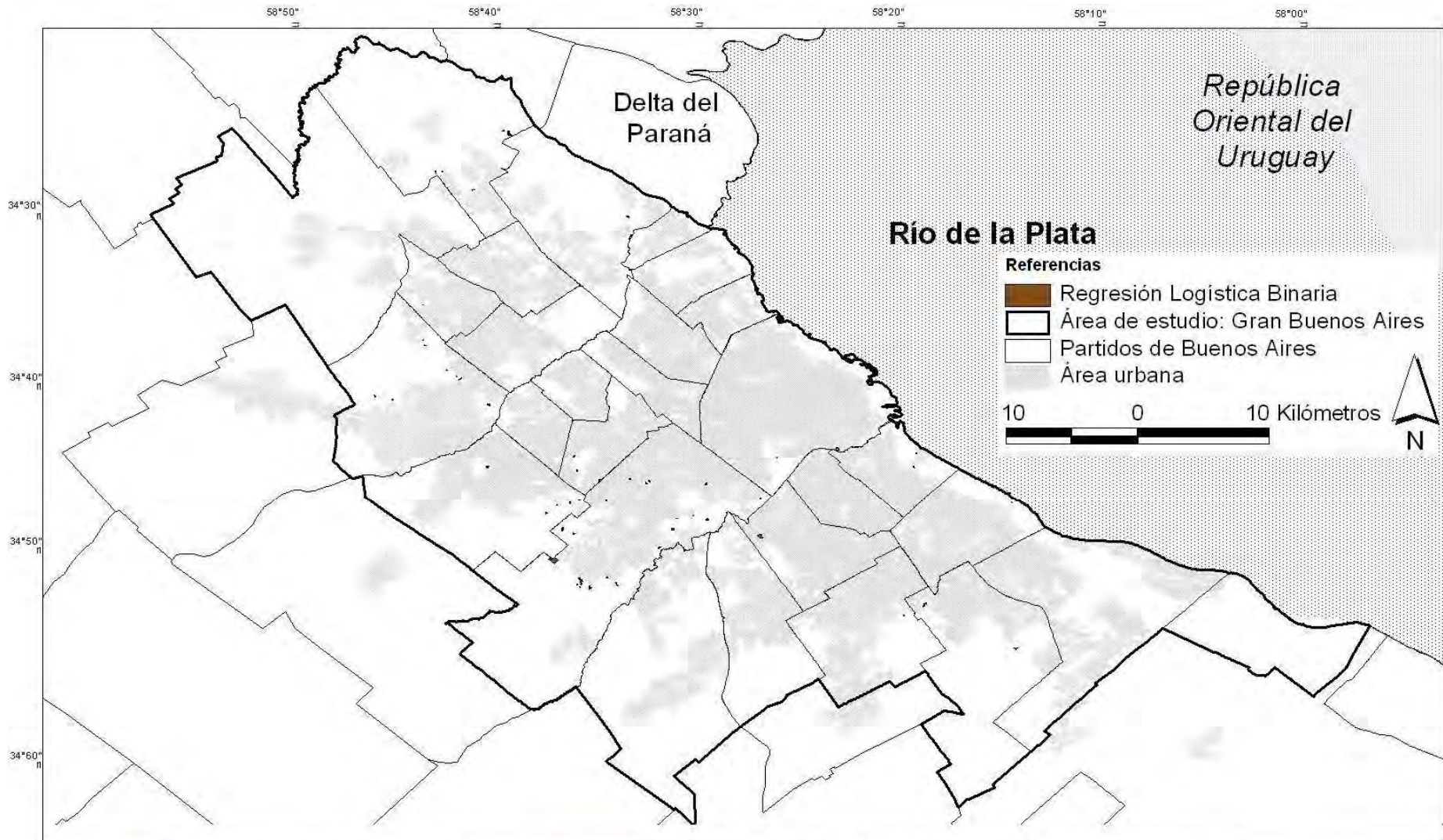
Figura 83. a, b y c. Diagramas de cajas de Área (ha), Brillo y Temperatura media (C); d) Gráfico de barras de Otros sitios.

En base a los coeficientes de la prueba de Wald se construyó la ecuación de regresión logística:

$$Y = 1 / \{1 + \exp(-15,376 - 0,53 * \text{Área} + 24,176 * \text{Brillo} + 0,468 * \text{Temperatura media} + 2,337 * \text{Otros sitios contaminados 100 m})\}$$

Los valores de P(Y=Basural) menores de 0,5 se clasificaron como Basural mientras que los mayores a dicho valor se correspondieron a No_basural. El método se validó tomando el 20% de las muestras con la ecuación anterior y se calculó el valor de Chi-Cuadrado cuyo valor de significancia fue de 0,37 lo que indicó que la validación y la estimación no estaban correlacionadas.

Finalmente, se evaluaron los **123 polígonos** obtenidos por análisis visual, de los cuales 93 (76%) fueron evaluados como Basurales (Mapa 13).



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gullch"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 13

Regresión logística binaria
Detección de potenciales basurales

Fuente: en base a la imagen Landsat 5
del 26 de febrero de 2011.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarrerías en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

Capítulo V. Análisis exploratorio con Imágenes SAR en banda X y C

En este capítulo se describe la adquisición, el preprocesamiento, procesamiento y los resultados obtenidos con imágenes SAR. Mientras que los fundamentos físicos se presentaron en el capítulo II junto a las imágenes ópticas y térmicas.

V.1. Adquisición de imágenes

Los sensores SAR utilizados en esta tesis fueron:

- COSMO-SkyMed (CSKS) en banda X (8 GHz) con polarización simple o dual de acuerdo al modo de adquisición.
- ERS-2 (European Remote Sensing Satellite) en banda C (5,3 GHz), polarización simple, VV.

V.1.1. COSMO-SkyMed

Las imágenes CSKS utilizadas proceden de la constelación COSMO-SkyMed en banda X ($\lambda = 3,1$ cm). Ésta consta de 4 satélites²⁵, pertenecientes a la Agencia Espacial Italiana (ASI, por Agenzia Spaziale Italiana) y al Ministerio de Defensa Italiano, concebido para uso militar y civil. Las aplicaciones de este último son: manejo de riesgo ambiental, científico y comercial.

La revisita entre los 4 satélites es de 7 horas con ángulos de incidencia entre 25° y 59° y en 3 modos posibles de adquisición de la imagen (Figura 84).

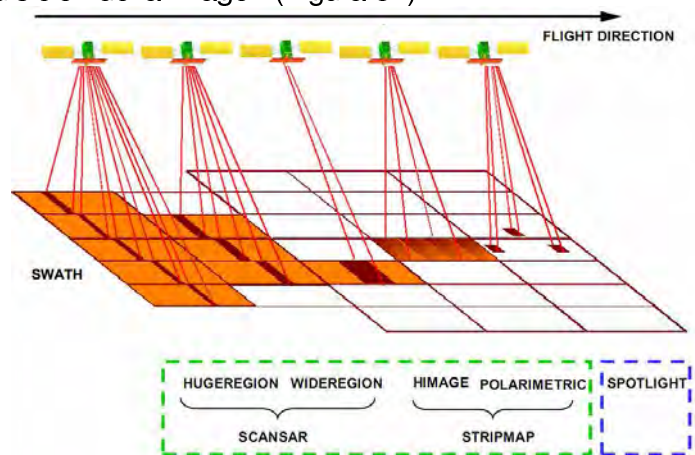


Figura 84. Modos de adquisición de la imagen (e-geos, 2010a).

Los 3 modos de adquisición de la imagen son (Italian Space Agency, 2009):

- Spotlight²⁶: imágenes con extensión de $10 \times 10 \text{ km}^2$, resolución espacial de $1 \times 1 \text{ m}^2$ y un look. En este modo el haz de la antena ilumina varias veces una misma región. Su resolución espacial es alta pero su área de cobertura es pequeña.
- Stripmap: imágenes con extensión de $40 \times 40 \text{ km}^2$, resoluciones de $5 \times 5 \text{ m}^2$ y un look (Himage); e imágenes con escena de $30 \times 30 \text{ km}^2$, $20 \times 20 \text{ m}^2$ de resolución espacial, y 2 polarizaciones posibles entre HH, HV, VH o VV (PingPong). En el modo Stripmap, el patrón de iluminación de la antena se mantiene ortogonal a la línea de vuelo del radar. En Himage sólo tiene una polarización mientras que en PingPong, los pulsos emitidos y/o recibidos alternan la polarización.
- ScanSAR: imágenes con extensión de $100 \times 100 \text{ km}^2$ (WIDE REGION), hasta $200 \times 200 \text{ km}^2$ (HUGE REGION) y resolución espacial desde $30 \times 30 \text{ m}^2$ hasta $100 \times 100 \text{ m}^2$.

Estos productos pueden tener dos niveles de corrección posibles: Standard y High-level.

- El nivel Standard presenta cuatro subtipos según el grado de corrección radiométrica y geométrica, cada uno de ellos se basa en el anterior:
- Nivel 0 datos RAW (Received SAR Echo Signal): son los datos crudos tomados por el sensor.
- Nivel 1A datos SCS (Single look, Complex, Slant range): con correcciones mínimas, como un proyección en rango y azimuth además de una ecualización radiométrica

²⁵ El lanzamiento de CSKS-1 y 2 fue en el año 2007, CSKS-3 en 2008 y CSKS-4 en 2010.

²⁶ Hay 2 modos: uno de uso civil y otro militar. El modo descrito corresponde al modo comercial.

- Nivel 1B datos DGM (Detected, Ground projected, Multilook): tienen calibración radiométrica interna del sensor, proyectada sobre un elipsoide de referencia.
- Nivel 1C datos GEC (Geo-coded, Ellipsoid corrected) y Nivel 1D datos GTC (Geo-coded, Terrain corrected): ambos son los datos del nivel anterior pero con una georreferencia externa al sensor, en el caso 1C en base a un sistema de referencia cartográfico mientras que 1D con una DEM.

El nivel Higher tiene 6 productos, todas ellas incluyen correcciones radiométrica y geométrica:

- Quick look (vista rápida)
- Speckle Filtered (filtrado por speckle)
- Co-registered (corregistrada)
- Backscattering (retrodispersión)
- Mosaiked (mosaico)
- DEM & Interferometric Products: Coherence map; Interferograms (Productos interferométricos y DEM: mapa de coherencia, interferograma).

V.1.2. ERS-2

El satélite ERS-2, que funciona en banda C, es el segundo satélite de teledetección diseñado por la Agencia Espacial Europea (ESA por European Space Agency), lanzado en el año 1995. Su misión es el estudio del océano, la criósfera y seguimiento de procesos terrestre. El tiempo de revisita es de 35 días y su ángulo de incidencia de 23°.

En esta tesis se utilizó una única imagen con modo de adquisición Stripmap y con ancho de escena de 100 km X 102,5 km.

Los productos de ERS-2 son varios²⁷:

- Raw: datos crudos tomados por el sensor.
- SLCI (Single Look Complex Image): datos en bruto a los que se ha aplicado un ligero preprocesado, aunque manteniendo la forma compleja de los mismos. No se aplican algoritmos para la reducción del fenómeno "speckle" y los datos están en forma de "slant-range".
- PRI (Precision Image)²⁸: imagen con correcciones sistemáticas y reducción de speckle (mediante 3 looks).
- GEC (Ellipsoid Geocoded Image) y GTC (Terrain Geocoded Image): productos de alto nivel localiza y rectifica, con precisión, la imagen SAR, se han eliminado las distorsiones del terreno utilizando un DEM.

En la Tabla 17 se proporcionan las características principales de las imágenes utilizadas según el modo de adquisición. Todas las imágenes SAR utilizadas se encontraban en valores originales en amplitud expresados en ND, mientras que el tipo de producto utilizado fue estándar para CSKS y PRI para ERS-2. El área de coberturas se muestran en la Figura 85.

Características	Modos de adquisición					
	Spotlight	Stripmap-Ping Pong		Stripmap-Himage		Stripmap
Satélite-Misión	CSKS1	CSKS2	CSKS3	CSKS3	CSKS3	ERS-2
Nombre de la imagen	620	613	612	23	322	ERS2
Banda	X					C
Ángulo de incidencia	40°					23°
Polarizaciones	HH	HV, HH	VV, HH	VV	HH	VV
Resolución en alcance (m)	1	20		5		22
Resolución en azimut (m)	1	20		5		25
Tamaño del píxel (m ²)	1 x 1	20 x 20		5 x 5		12,5 x12,5
Resolución radiométrica (ENL: número de observaciones)	1	2,82		2		3
Nivel de Corrección	DGM			GEC		Pri
Área de la escena	10 km x 10 km	30 km x 30 km		40 km x 40 km		100 km x 102,5 km
Fecha	06/12/10	14/12/10	15/12/10	29/06/09	25/06/09	27/09/05

Tabla 17. Características de las imágenes SAR.

²⁷ www.crepad.rcanaria.es

²⁸ Esta corrección difiere del producto estándar generado por ESA. La corrección la realizó la Estación terrena de CoNAE.

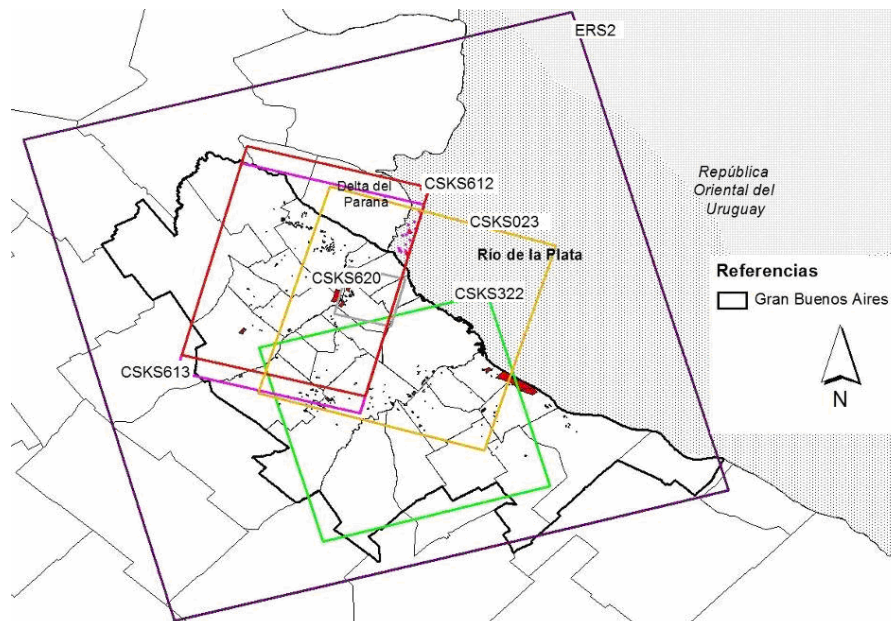


Figura 85. Área de cobertura de las imágenes SAR.

V.2. Preprocesamiento

Estas imágenes al igual que las ópticas y térmicas fueron corregidas aunque no atmosféricamente debido a que estos sensores son poco afectados por la atmósfera (CCRS, 2008). Adicionalmente fueron calibradas para obtener los valores en potencia y decibeles a partir de una ecuación de calibración propia de cada sensor.

V.2.1. Corrección radiométrica

La magnitud que se obtiene al realizar la corrección radiométrica es el coeficiente de retrodispersión, con notación σ^0 también conocida como Sigma0, magnitud física que contiene la información sobre el blanco. Este concepto es equivalente al de reflectancia en el óptico, y se obtiene de la relación fundamental entre las características del radar, el blanco y la señal recibida, para un reflector puntual y lambertiano²⁹ (Ulaby et al., 1982):

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R_t^2} \sigma \frac{A_r}{4\pi R_r^2}$$

Donde:

P_t es la potencia enviada por el transmisor a la antena que transmite.

G_t es la ganancia de la antena, que multiplicada por P_t da cuenta de la potencia irradiada por la antena.

R_t es la distancia entre el blanco reflector y el transmisor

σ es la sección eficaz de retrodispersión (al radar) del blanco y es el factor que relaciona la fuente de iluminación con la superficie. Tiene unidades de superficie.

R_r es la distancia entre el reflector y el receptor (en el caso de un satélite la antena que emite es la misma que recibe entonces $R_r = R_t$).

A_r es la superficie efectiva de la antena que recibe la señal (en el caso de satélites es la misma que envía).

El término encerrado en el triángulo da cuenta de la potencia que llega al blanco mientras que el término encerrado en el círculo da cuenta de la potencia que sale del receptor debido a la perturbación del haz incidente. Por último la densidad de radiación que sale del blanco dispersada de manera isotrópica, rectángulo, llega al receptor e incide en toda su área efectiva, A_r .

La ganancia de la antena G_t tiene la siguiente relación con la longitud de onda y el área efectiva:

$$G_t = 4 * \pi * A_t / \lambda^2$$

Entonces, al reemplazarlo en la ecuación de potencia se obtiene:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma$$

Donde la intensidad de la radiación cae a la cuarta potencia de la distancia.

Al despejar el σ , sección eficaz de retrodispersión de un determinado blanco, y normalizarla por el área y se denomina σ^0 :

²⁹Una superficie lambertiana refleja la energía incidente por igual en todas direcciones.

$$\sigma = \frac{P_r (4\pi)^3 R^4}{P_t G_t G_r \lambda^2} \rightarrow \sigma^0 = \frac{\sum \sigma_i}{A} = \frac{\sigma}{A} \quad (8)$$

Donde σ_i es la sección eficaz individual de cada porción del terreno y A es el área total donde se promedian todas las respuestas recibidas.

El σ^0 se puede expresar de tres formas:

Potencia, σ^0 : es directamente proporcional a la intensidad de energía recibida. La distribución de los datos no es normal.

Amplitud, σ^0_A : es la raíz cuadrada de la potencia ($\sqrt{\sigma^0}$). La distribución de los datos se asemeja a una gaussiana.

Decibeles, σ^0_{dB} : es el logaritmo de la potencia multiplicado por 10 ($10 \cdot \log(\sigma^0)$). La distribución se considera normal.

V.2.2. Calibración SAR

La calibración se utiliza para ajustar posibles cambios temporales en la ganancia de la antena y en las condiciones de saturación de la señal, con el fin de convertir los valores de amplitud de cada píxel, expresado en contaje digital ND a valores de brillo o coeficiente de retrodispersión (σ) en potencia corregidos en rango (Laur et al. 1996 en Frulla et al., 1998).

Todas las imágenes originales almacenaban sus datos en 16 bits, pudiendo alcanzar su valor mínimo de 0 y máximo de 65.535.

La calibración de los datos SAR depende del procesador del sistema satélite considerado. Los datos necesarios para este procedimiento fueron obtenidos de la cabecera "header o metadata" de cada imagen³⁰.

CSKS

La ecuación de calibración utilizada es la propuesta por la ASI (e-geos, 2010a), correspondiente a imágenes con nivel de corrección 1B y 1C (Tabla 18):

Paso	Fórmula	Condición	Descripción
1	$P(i, j) = img_{inp}(i, j) ^2$		Donde P(i,j) es el valor en potencia de cada píxel, o sea, el cuadrado del valor positivo de la amplitud $img_{inp}(i, j)$ expresado en contaje digital ND.
2	$Fact = R_{ref}^{2 * R_{exp}}$	$Rsl_{flag} \neq NONE$	Remove the Reference Slant Range (la distancia oblicua de referencia). Rsl _{flag} : Range Spreading Loss Compensation R _{exp} : Reference Slant Range Exponent (Exponente de la distancia oblicua de referencia). R _{ref} : Reference Slant Range- (Reference Slant Range)
3	$Fact' = Fact * \sin(\alpha_{ref})$	$Inc_{flag} \neq NONE$	Remove the Reference Incidence Angle (obtener el ángulo de incidencia de referencia) A _{ref} : Reference Incidence Angle- (ángulo de incidencia de referencia). Inc _{flag} : Incidence Angle Compensation Geometry.
4	$Fact'' = Fact' * \frac{1}{F^2}$		Remove the Rescaling Factor (obtener el Factor de reescalado o reajuste) F: Rescaling Factor (factor de reescalado o reajuste)
5	$F_{Tot} = Fact''' * \frac{1}{K}$	$K_{flag} = 0$	Apply the Calibration Factor (aplicar el factor de calibración) K: Calibration Constant (constante de calibración). K _{flag} : Calibration Constant Compensation Flag.
6	$\sigma^0(i, j) = P(i, j) * F_{Tot}$		Apply the total scaling factor (aplicar el factor de rescalado) F _{tot} es un número, factor de reescalado

Tabla 18. Calibración de CSKS

En el primer paso de la fórmula (Tabla 18) se calculó P(i,j), con la herramienta BandMath de ENVI,

³⁰ Desde el menú de Envi: Open/Prepare Radar File/COSMO SkyMed Utilities/View Extend COSMO SkyMed Header

mediante la fórmula $(\text{abs}(\text{float}(b1)))^2$ donde $b1$ correspondía a una de las bandas polarizadas en amplitud expresado en niveles digitales ND.

Los pasos 2 a 5 se ejecutaron con el programa estadístico R versión 2.12.0³¹ (Figura 86). En estos pasos se calcularon coeficientes para cada imagen y polarización (Figura 85). Se chequearon cada una de las condiciones establecidas, cumpliendo con cada una de ellas.

```

#Product Name: CSKS3_DGM_B_PP_05_CO_RD_SF_20101215211605_20101215211612.h511612.h5
#Azimuth Geometric Resolution 20.0
#Ground Range Geometric Resolution 20.0

#Datos a Ingresar
Rref=780000.0#Reference Slant Range

Rexp=2.0#Reference Slant Range Exponent
ANGref=40.0#Reference Incidence Angle
F=99.1976318359375#Rescaling factor

#Polarisation: VV Image Description: /S01
Kvv=4.37278206744999E25#Calibration Constant

#Polarisation: HH Image Description: /S02
Khh=4.54718370562908E25#Calibration Constant

#ctrl+R para ejecutar

#Resultados
Fact=Rref^(2*Rexp)

print (Fact)

Fact1=Fact*sin(ANGref)
print (Fact1)

Fact2=Fact1/(F^2)
print (Fact2)

Ftotvv=Fact2/Kvv
print (Ftotvv)

Ftothh=Fact2/Khh
print (Ftothh)

```

```

> Rexp=2.0#Reference Slant Range Exponent
> ANGref=40.0#Reference Incidence Angle
> F=99.1976318359375#Rescaling factor
>
> #Polarisation: VV Image Description: /S01
> Kvv=4.37278206744999E25#Calibration Constant
>
> #Polarisation: HH Image Description: /S02
> Khh=4.54718370562908E25#Calibration Constant
>
> #ctrl+R para ejecutar
>
> #Resultados
> Fact=Rref^(2*Rexp)
>
> print (Fact)
[1] 3.701506e+23
>
> Fact1=Fact*sin(ANGref)
> print (Fact1)
[1] 2.758041e+23
>
> Fact2=Fact1/(F^2)
> print (Fact2)
[1] 2.802838e+19
>
> Ftotvv=Fact2/Kvv
> print (Ftotvv)
[1] 6.409737e-07
>
> Ftothh=Fact2/Khh
> print (Ftothh)
[1] 6.163899e-07

```

Figura 86. Procesamiento con R de los pasos 2 al 5 de la calibración. Ejemplo sobre la imagen CSKS612.

En el caso de las imágenes con dos polarizaciones se calcularon dos constantes de calibración (K) y factores de reescalado (Ftot: ftothv, ftothv o ftothh).

En el paso 6 se obtuvo σ_0 (σ) en potencia, multiplicando los resultados obtenidos en el paso 1 y 5.

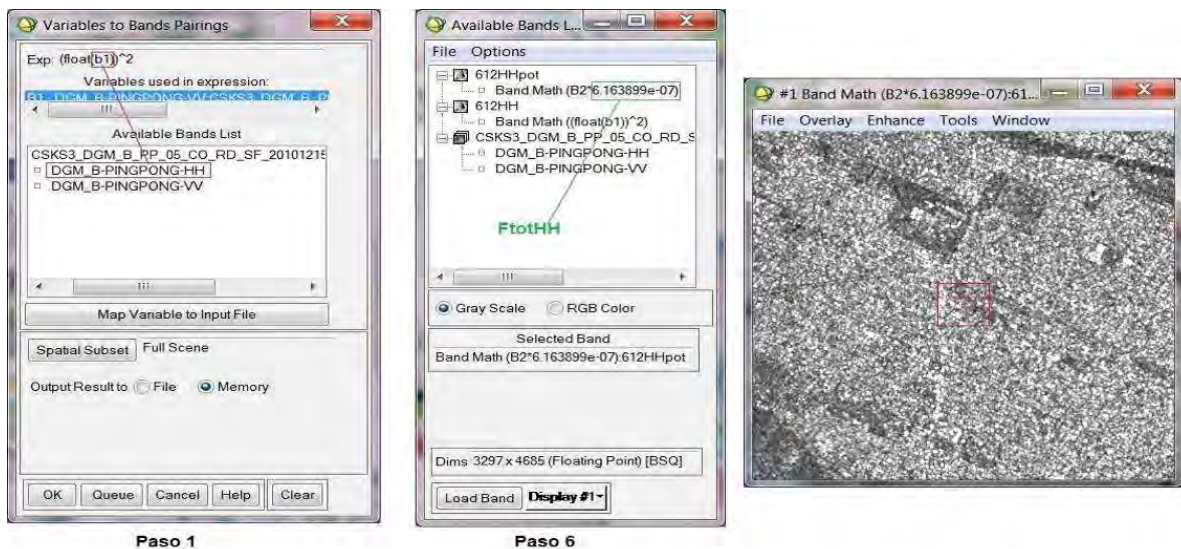


Figura 87. Pasos para la calibración. Ejemplo sobre la imagen CSKS612 con polarización HH.

Luego, se paso σ en potencia a decibles mediante la siguiente ecuación: $10 \cdot \log_{10}(B3)$, donde $B3$ es σ . Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 19.

³¹ El uso de este programa se debió a que utiliza más decimales que otros como IDL y Excel, 14 decimales, lo que permitió trabajar con mayor precisión.

Características	Modos de adquisición				
	Spotlight	Stripmap-Ping Pong			Stripmap-Himage
Nombre de la imagen	CSKS620	CSKS613	CSKS612	CSKS023	CSKS322
Polarizaciones	HH	HV, HH	VV, HH	VV	HH
Rref	780000				
Rexp	2			1,5	
ANGref	0,6981317 = radianes (40.0°)				
F	2,34E+002	108,03	99,2	1,4	2,06
K	2,86E+035	Khv=6,9649795e+25 Khh=7,1766182e+25	Kvv=4,3727821e+25 Khh=4,5471837e+25	1,61E+022	1,15E+022
Valores obtenidos con R					
Paso 2. Fact=Rref^(2*Rexp)	3,70E+023	3,70E+023	3,70E+023	4,75E+017	4,75E+017
Paso 3. Fact1=Fact* sin(ANGref)	2,38e+23	2,38e+23	2,38e+23	3,05e+17	3,05e+17
Paso 4. Fact2=Fact1/(F^2)	4,35e+30	2,04e+19	2,42e+19	1,55e+17	7,12e+16
Paso 5. Ftot=Fact2/K	1,52e-05	Ftothv=2,93e-07 Ftothh=2,84e-07	Ftotv =5,53e-07 Ftothh =5,32e-07	9,65e-06	6,25e-06
Condiciones					
Rsflag≠ NONE	ACQUISITION	ZERO DOPPLER			
Inclflag≠ NONE	ACQUISITION	ZERO DOPPLER			
Kflag=0		0			

Tabla 19. Cálculos de coeficientes de calibración de CSKS.

V.2.3. Comentarios sobre la calibración de CSKS

El preprocesamiento de calibración se repitió con el programa NEST DAT4A-1.5. Con la misma fórmula de calibración que se indica en la tabla 2 de e-geos (2010b) que trabaja con un ángulo de incidencia de un elipsoide: $Fact = Fact * \sin(\alpha_{ref})$

También se puede optar por trabajar con un DEM, en este caso se introduce un término a la ecuación anterior: $Fact' = Fact * \sin(\alpha_{ref}) * \sin(\theta_{DEM}) / \sin(\theta_{el})$

Donde θ_{DEM} es el ángulo de incidencia calculado sobre un DEM y θ_{el} es el ángulo de incidencia calculado a partir de una red de puntos tomados por el satélite.

Se obtuvieron las estadísticas básicas de cada imagen con ambos programas, los cuales aplican la calibración propuesta por e-geos (2010b). Todos los resultados se indicaron con 6 decimales como se obtuvo con ENVI (Tabla 20), mientras NEST trabaja con 13 decimales los cuales fueron redondeados en el 6to decimal.

CSKS	σ en dB	HH		VV		HV	
		ENVI	NEST DAT	ENVI	NEST DAT	ENVI	NEST DAT
613	Mínimo	-65,335709	-65,465706			-65,465706	-65,335709
	Máximo	30,993626	30,863626			18,574244	18,704245
	Media	-9,328261	-9,750009			-16,793223	-17,253918
612	Mínimo	-62,742992	-62,573147	-62,573147	-62,742992		
	Máximo	28,999771	29,169621	33,756058	33,586280		
	Media	-9,941461	-10,104754	-8,790989	-9,248981		
620	Mínimo	-48,185608	-48,185604				
	Máximo	48,143597	38,290985				
	Media	-9,236849	-0,219364				
322	Mínimo	-52,040859	-52,040859				
	Máximo	44,288475	44,288475				
	Media	-6,079439	-6,079439				
023	Mínimo			-50,156067	-50,156067		
	Máximo			46,173267	46,173267		
	Media			-5,804292	-5,804292		

Tabla 20. Estadísticas de las imágenes CSKS (612, 613 y 620).

La mitad de los resultados obtenidos por ambos programas coincidieron hasta el quinto decimal mientras que los restantes presentaron diferencias en el primer decimal o en la unidad como los valores máximos y medios de 612VV, 613HV y 620HH.

En el caso de ENVI, se observó un cambio del orden de las bandas en 612 y 613 ambas con modo de adquisición PingPong, por ejemplo la banda calibrada como VV era en realidad HH y viceversa. Debido a que el objetivo de esta tesis no se centró en la calibración de imágenes y el tiempo para realizarla fue acotado (6 meses), se decidió posponer dicho análisis para un trabajo futuro. Por todo lo anterior se consideró la calibración de CSKS con NEST. Asimismo, la corrección geométrica también se utilizó este programa³², aplicando el método de remuestreo convolución cúbica mediante una transformación polinómica de primer grado con los puntos de control del satélite. Todas las imágenes fueron proyectadas a Lat/Lon, y datum WGS84.

ERS-2

En el caso de ERS-2 la ecuación de calibración es la propuesta por la ESA (Laur et. al., 2004):

$$\sigma = \frac{DN^2}{K} + \frac{\text{Sen}(\alpha)}{\text{Sen}(\alpha_{\text{ref}})}$$

Donde DN, como se mencionó anteriormente, es la amplitud expresado en contaje digital, K es una constante de calibración, α es el ángulo de incidencia local y α_{ref} es el ángulo de referencia que corresponde al ángulo medio del rango (Tabla 21).

Características de ERS-2	
Nombre de la imagen	ERS-2
Polarizaciones	VV
Constante de calibración (K)	936914
ángulo de incidencia local (α)	19,623 a 26,631
ángulo de referencia (α_{ref})	23,2

Tabla 21. Coeficientes de calibración de ERS-2.

Para la corrección geométrica se utilizó como referencia una imagen pancromática Landsat 7 ETM+ de 15m del 20 diciembre de 2001 (con nivel de corrección 5 - georreferenciada), con 29 puntos de control distribuidos homogéneamente obteniéndose un error RMS de 0,346329 píxeles (equivalente a 4,33 m), con el programa ENVI.

V.3. Procesamiento

Para el análisis exploratorio se realizaron estadísticas globales en base cada imagen y parciales a partir de un conjunto de sitios contaminados y cubiertas del área de estudio, empleando tablas de datos y gráficos de caja y diagrama, con ENVI y SPSS. Para ello se aplicó para cada imagen una máscara³³ (Figura 88) de forma de evitar el fondo blanco producto de la georreferencia que modifica las estadísticas globales.



Figura 88. Máscara de color amarillo de CSKS612 con polarización VV.

³²La imagen original se calibró desde SarTools/Radiometric Correction/Calibrate y georreferenció con Geometry/Reprojection. Luego se exportó a ENVI con formato .TIF (File/Product Writers).

³³Las máscaras se generaron con la herramienta Band Math, donde se consideraron los valores iguales a 1.

En base a la imagen con la máscara se calcularon desde ENVI los histogramas divididos en 1000 intervalos³⁴ y luego fueron exportados como dato numérico a SPSS, a partir de los cuales se obtuvieron las estadísticas básicas en tablas y los gráficos de caja.

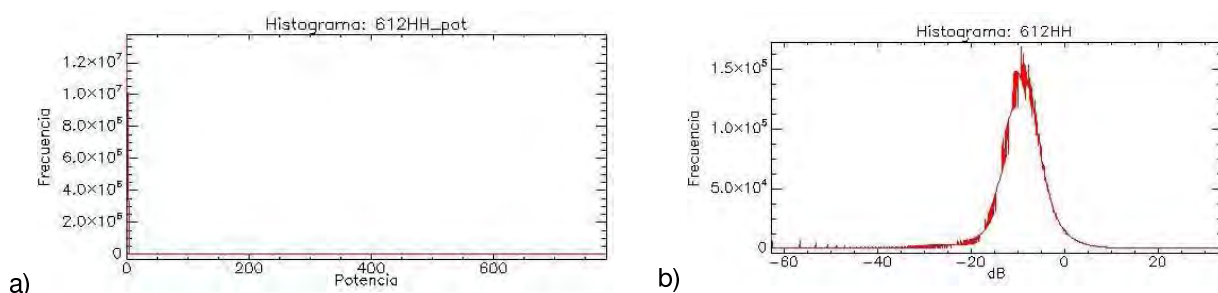
En el caso de las estadísticas parciales, se extrajeron 10 muestras por cada sitio y cubierta de aproximadamente 50 píxeles cada una, y se graficaron sólo las 3 muestras con mayor heterogeneidad para cada sitio y cubierta de forma de mostrar la heterogeneidad en la composición de los sitios de disposición de residuos (materia orgánica, escombros, plásticos, materia inerte, metales, vegetación, etc.). En lo posible se mantuvieron las mismas muestras para todas las imágenes excepto para 620HH que abarca una región mucho menor que el resto.

Luego de realizar el análisis estadístico se determinó la imagen que presentó la mejor separabilidad entre cada sitio contaminado y las cubiertas, y se extrajeron los píxeles comprendidos en los rangos de cada sitio. Los resultados obtenidos fueron compararon con los sitios de referencia, excluyendo los píxeles unitarios y aplicando máscaras ríos del GBA.

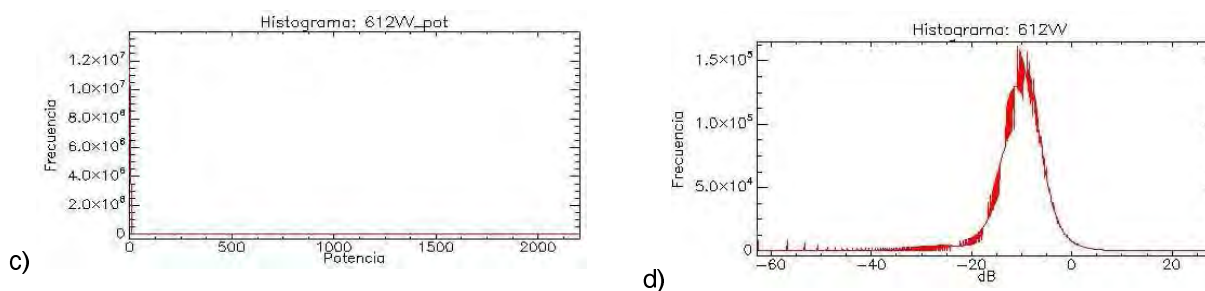
Finalmente, se realizó análisis visual empleando la variación del tono y la forma para lo cual se utilizaron imágenes Landsat 5 y Digital Globe del Google Earth de fechas próximas a las SAR como apoyo visual.

V.3.1. Estadísticas globales

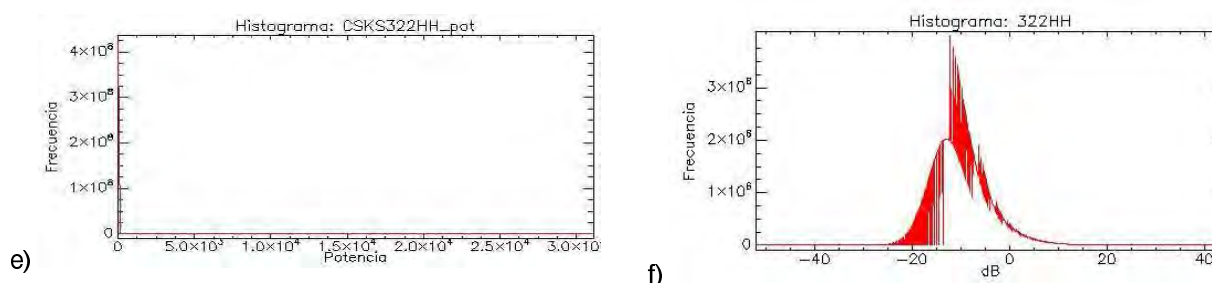
En base a cada imagen se obtuvieron sus histogramas en potencia y decibeles (Figura 89 a - ñ) y estadísticas (Tabla 22), con el objetivo de conocer las distribuciones de los datos.



Histogramas de la imagen 612HH en potencia (a) y en decibeles (b)

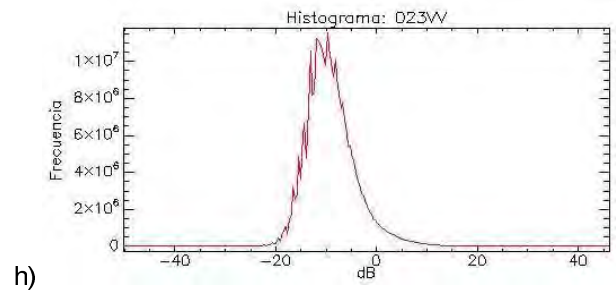
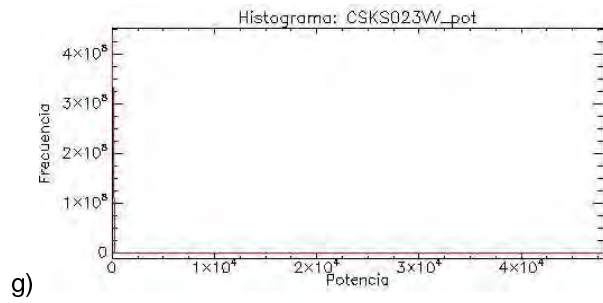


Histogramas de la imagen 612VV en potencia (c) y decibeles (d).



Histogramas de la imagen 322HH en potencia (e) y decibeles (f).

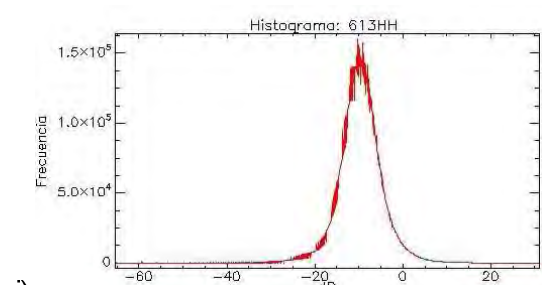
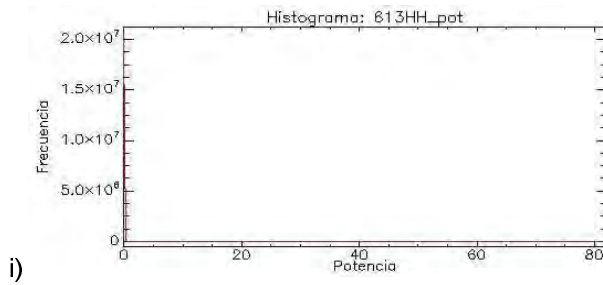
³⁴Por defecto ENVI divide a la histograma en 256 intervalos que fueron modificados a 1000 para obtener valores más cercanos a los verdaderos desde File/Preference/Miscellaneous/Max Histogram Bins



g)

h)

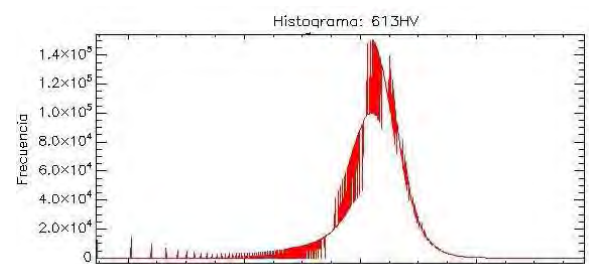
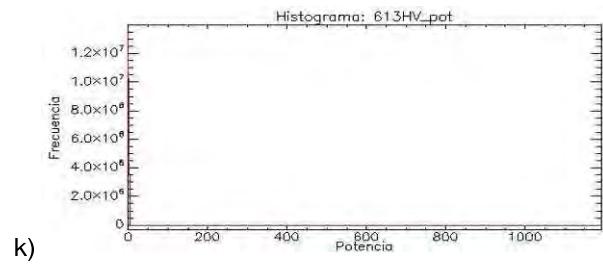
Histogramas de la imagen 023VV en potencia (g) y en decibeles (h).



i)

j)

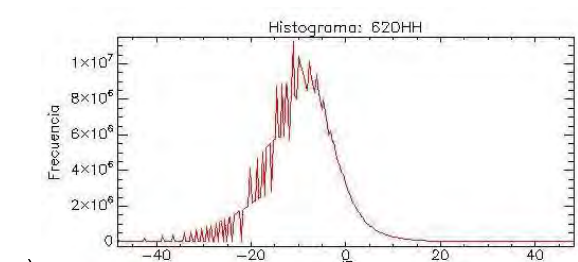
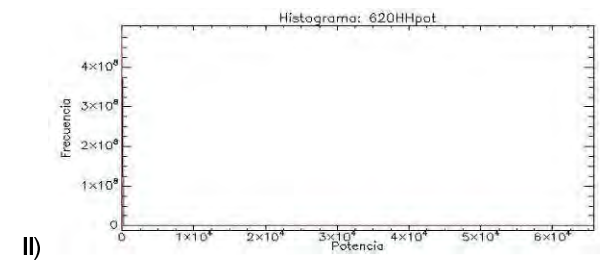
Histogramas de la imagen 613HH en potencia (i) y en decibeles (j).



k)

l)

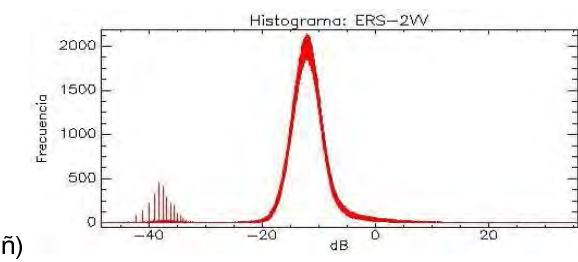
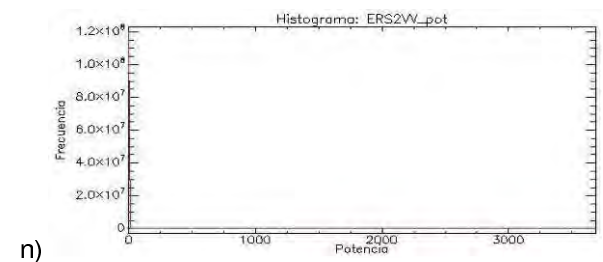
Histograma de la imagen 613HV en potencia (k) y en decibeles (l).



ll)

m)

Histogramas de la imagen 620HH en potencia (ll) y en decibeles (m).



n)

ñ)

Histogramas de la imagen ERS2-VV en potencia (n) y en decibeles (ñ).

Figura 89. Distribuciones de las imágenes SAR.

Nombre	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
CSKS322HH	-52,04	-13,18	-10,19	-6,43	44,29
CSKS023VV	-50,16	-12,38	-9,74	-6,34	46,17
CSKS612HH	-62,57	-11,66	-8,96	-6,26	33,66
CSKS612VV	-62,74	-12,60	-9,94	-7,37	28,91
CSKS613HH	-49,81	-12,40	-9,70	-7,00	30,99
CSKS613HV	-65,47	-19,79	-16,93	-14,23	18,57
CSKS620HH	-65,34	-13,81	-9,28	-4,74	48,14
ERS2-VV	-48,49	-13,87	-12,10	-10,24	35,67

Tabla 22. Estadísticas básicas en dB, obtenidas con SPSS.

Todos los histogramas de las imágenes en potencia presentaron distribución Gamma, donde los datos se agruparon mayormente hacia la izquierda. Mientras que en decibeles, presentaron distribuciones tendientes a Gaussiana o Normal con mediana cercana a -10 dB y efecto de diente de serrucho en los valores menores a 0 dB; como en las imágenes 612HH, 612VV, 613HH y 023VV.

Las restantes distribuciones presentaron de 2 a 4 picos. En 322HH y 620HH los máximos absolutos estuvieron entre -10 a 0 dB y los relativos entre -15 a 5 dB. En ERS2-VV también el absoluto fue en -10 dB pero el relativo en -40 dB mientras que en 613HV el absoluto en -20dB y los relativos entre -25 a -10 dB.

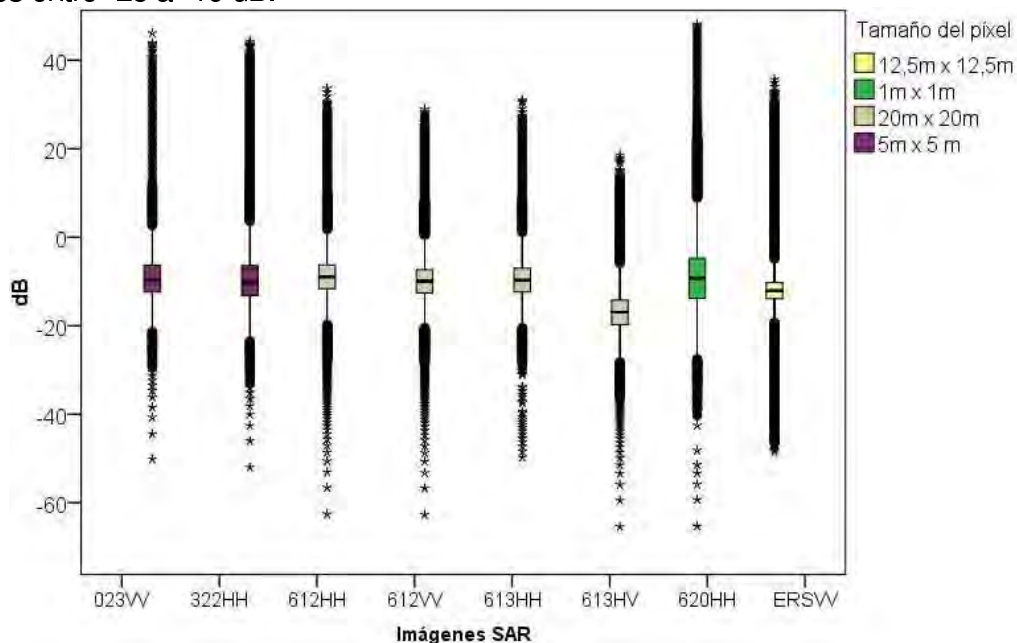


Figura 90. Gráfico de caja y bigotes de las imágenes SAR utilizadas. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En la Figura 90 se observan 8 diagramas de caja y bigotes correspondientes a cada escena SAR. El rango de valores sin considerar los valores atípicos y anómalos fue de -30 a 10 dB, y se presentaron distribuciones simétricas excepto 023VV y 322HH que presentaron un leve sesgo a la izquierda. Todas las imágenes presentaron bigotes inferiores y superiores del mismo largo.

La imagen con menor dispersión fue ERS2-VV y la de mayor 620HH en comparación al resto de las imágenes SAR.

Se presentaron distribuciones muy similares entre:

- 322HH y 023VV de 5 m x 5 m de tamaño de píxel, siendo la primera imagen la de mayor dispersión.
- 612HH, 612VV y 613HH de 20 m x 20 m de tamaño de píxel.

V.3.2. Estadísticas parciales Cuatro coberturas del área de estudio

Como se mencionó anteriormente, los sitios contaminados fueron comparados con cubiertas del área de estudio para comparar su comportamiento. Estas cubiertas fueron agua de los ríos Reconquista y Matanza, suelo, vegetación y aglomerado urbano para cada imagen en decibelios, tanto para CSKS en banda X como para ERS-2 en banda C.

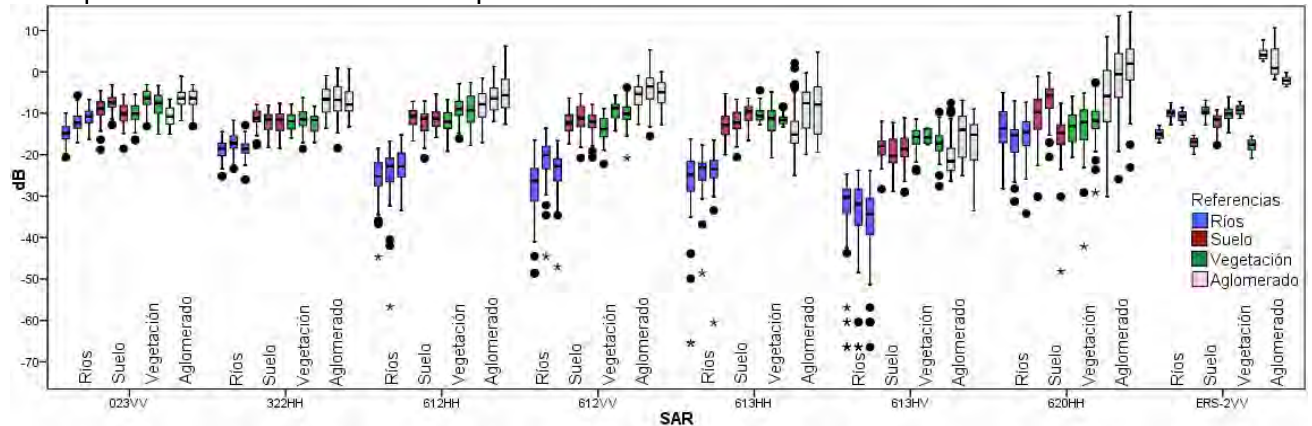


Figura 91. Estadísticas de muestras de agua (azul), suelo (marrón) y vegetación (verde). Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En la Figura 91 se observa que los valores de las 4 cubiertas fueron: aglomerado urbano (-35 a 10 dB), vegetación (-22 a -3 dB), suelo (-30 a 0 dB) y ríos (-50 a -2 dB). El rango de trabajo fue de -50 a 10 dB. Gran parte de las muestras presentaron puntos anómalos, asimetría y dispersión, acentuándose en las muestras de agua.

El agua de los ríos presentó la menor superposición con el resto de las cubiertas para el 50% de las imágenes SAR: 612HH, 612VV, 613HH y 613HV. Mientras que las muestras de 023VV, 322HH, 620HH y ERS2-VV presentaron solapamiento superior al 50% con el suelo y la vegetación. Y en el caso del aglomerado urbano, en ERS2-VV se observó separación con el resto de las cubiertas.

Estadísticas sobre los sitios contaminados Cuerpos de agua

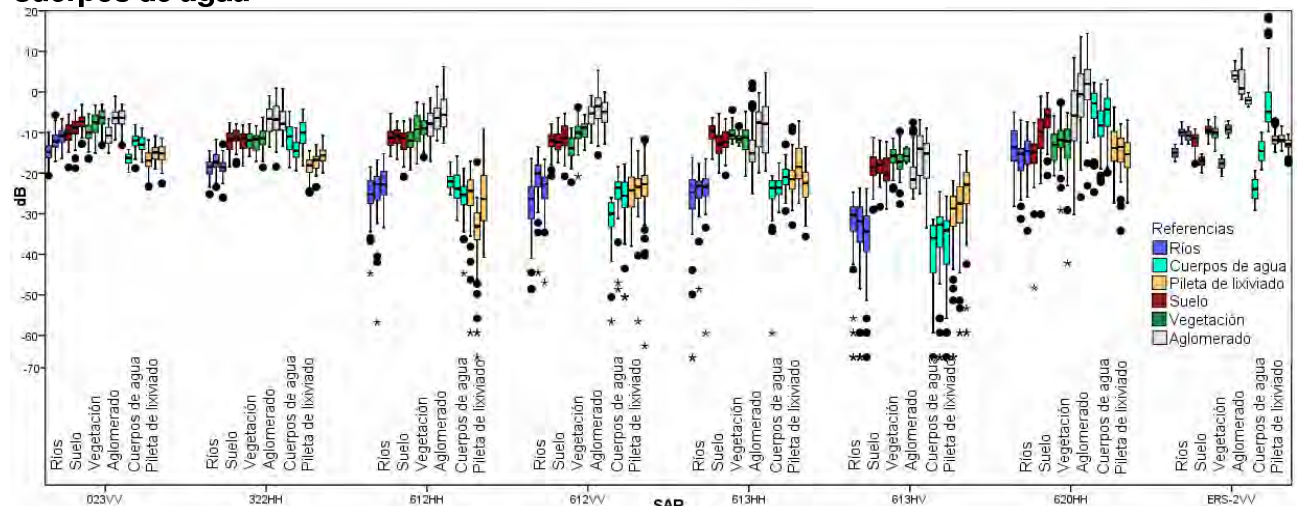


Figura 92. Cuerpos de agua: gráfico de caja y bigotes de las imágenes SAR utilizadas. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En la Figura 92 se observan las 4 cubiertas de referencias y los sitios contaminados relacionados con el agua: las pileta de lixiviados y las tosqueras con sedimento y/o algas en suspensión. Las muestras de los sitios contaminados con agua y de los ríos presentaron comportamientos similares, aunque los cuerpos de agua tomaron valores levemente superior en 322HH y 620HH. Por ello, se aplicó una máscara vectorial de ríos del área de estudio obteniendo así los sitios con

agua del resto de las cubiertas, aunque no pudo diferenciarse entre las piletas de lixiviados y las tosqueras en particular, en las escenas 612HH con superposición menor al 25% (-40 a -20 dB) y 612VV, 613HH y 613HV con superposición menor al 50%.

Los valores de las cubiertas fueron: aglomerado urbano (-35 a 10 dB), vegetación (-22 a -3 dB), suelo (-30 a 0 dB), ríos (-50 a -2 dB), pileta de lixiviados (-60 a -5 dB) y cuerpos de agua (-65 a 20 dB). El rango de trabajo fue de -65 a 20 dB.

Chatarreras

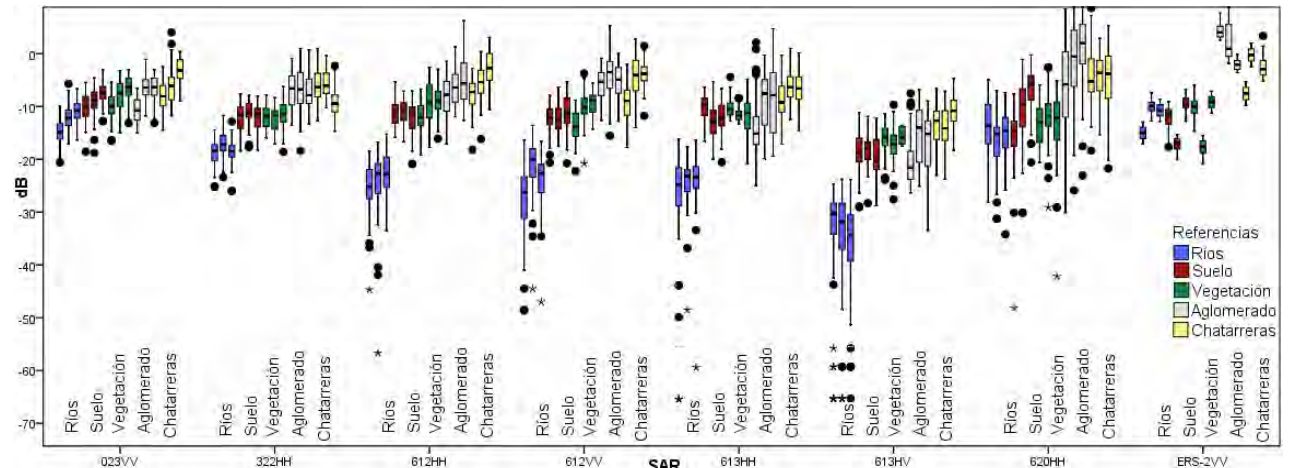


Figura 93. Chatarreras: gráfico de caja y bigotes de las imágenes SAR utilizadas. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En la Figura 93 se observa que las chatarreras (-25 a 2 dB) presentaron valores levemente superiores al suelo (-30 a 0 dB), la vegetación (-22 a -3 dB) e inferior al aglomerado urbano (-35 a 10 dB). Mientras que en las escenas 612HH, 612VV, 613HH y 613HV presentaron separación mayor al 50% con los ríos (-65 a -15 dB). Este sitio contaminado no pudo ser separado del resto de las cubiertas.

Basurales

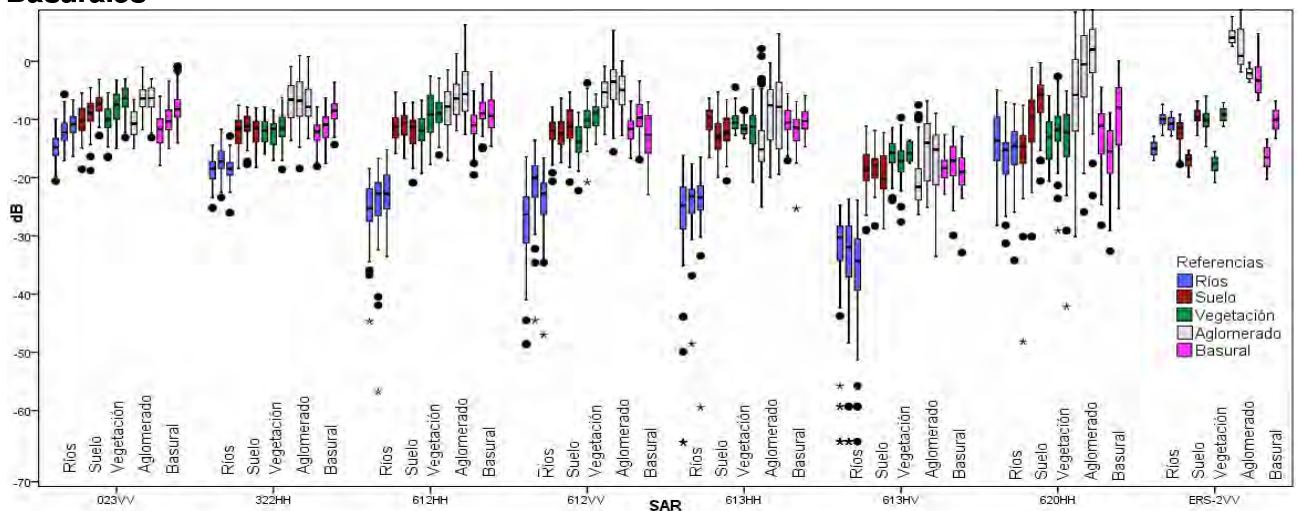


Figura 94. Basurales: gráfico de caja y bigotes de las imágenes SAR utilizadas. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En la Figura 94 se observa que las muestras de basurales (-35 a 5 dB) presentaron separación sólo con los ríos en las imágenes 612HH, 613HH y 613HV (-65 a -15 dB). Y un comportamiento similar con el suelo (-30 a 0 dB), la vegetación (-22 a -3 dB) y el aglomerado urbano (-35 a 10 dB). Asimismo, las muestras presentaron asimetría y poca dispersión. Este sitio contaminado no pudo ser separado del resto de las cubiertas.

Ex basurales

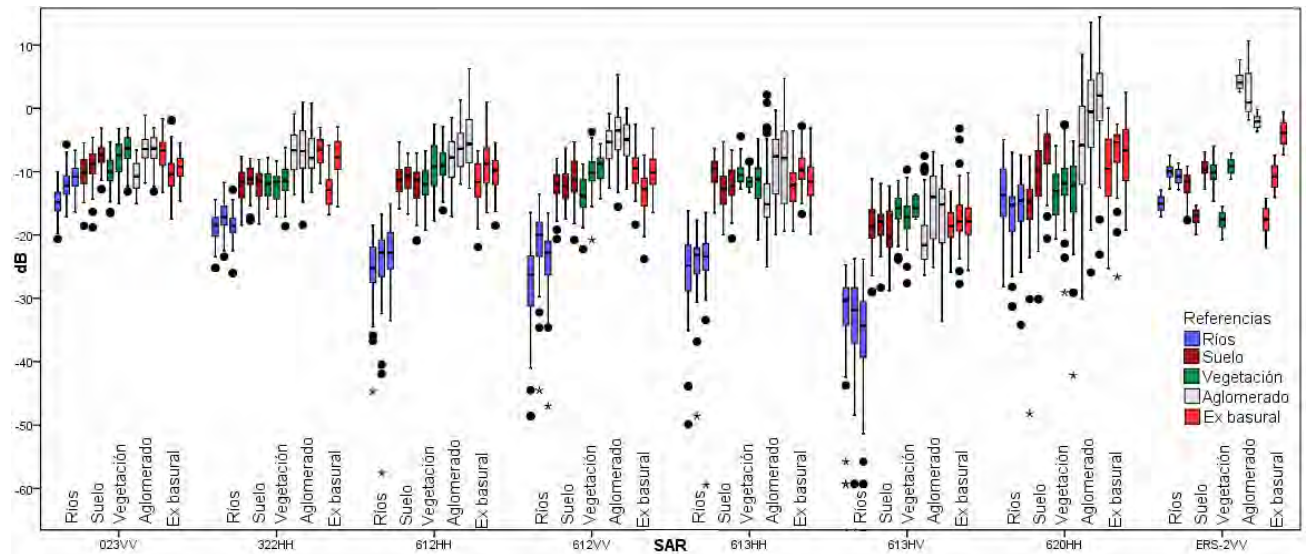


Figura 95. Ex basurales: gráfico de caja y bigotes de las imágenes SAR utilizadas. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En la Figura 95 se observa que los ex basurales (-30 a 0 dB) presentaron superposición menor del 25% con los ríos en las escenas 612HH, 612VV, 613HH y 613HV. Y un comportamiento similar con el suelo (-30 a 0 dB) y la vegetación (-22 a -3 dB) e inferior al aglomerado urbano (-35 a 10 dB). Este sitio contaminado no puede ser separado del resto de las cubiertas.

Rellenos sanitarios

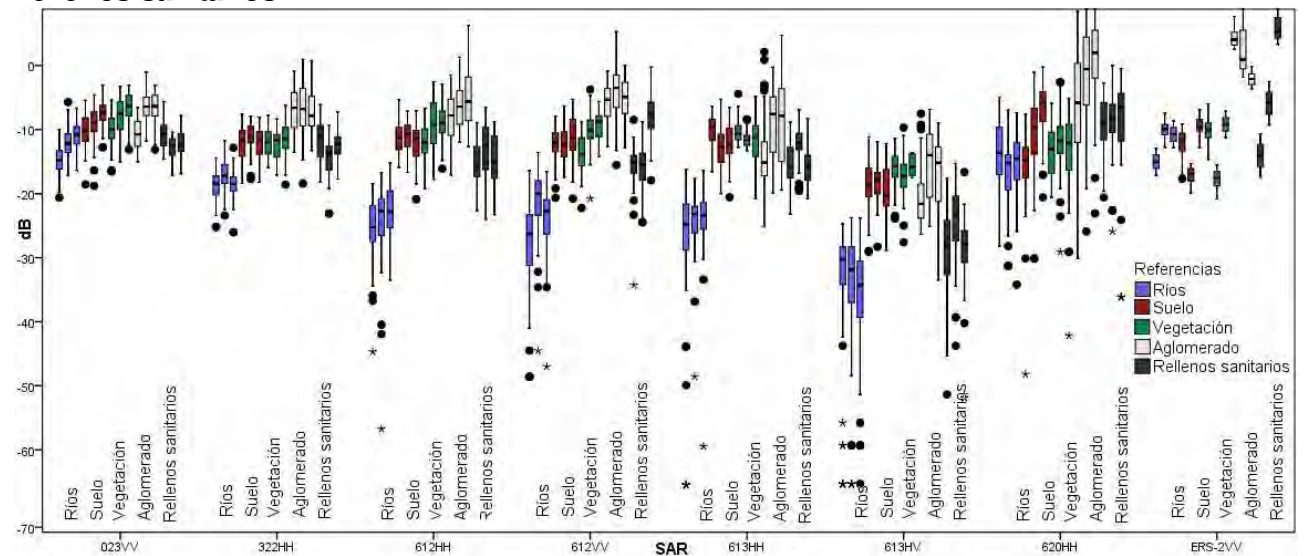


Figura 96. Rellenos sanitarios: gráfico de caja y bigotes de las imágenes SAR utilizadas. Las líneas horizontales representan el límite superior, Q3 en la parte superior de la caja (75% de los datos) mientras que la línea interior es la mediana y la inferior de la caja es Q1 (25% de los datos), y la inferior del gráfico es el límite inferior.

En este caso se tomaron muestras del relleno activo Norte III (-50 a 5 dB), las cuales presentaron asimetría, poca dispersión y valores inferiores al aglomerado urbano (-35 a 10 dB), similares al suelo (-30 a 0 dB) y la vegetación (-22 a -3 dB) y levemente superior al río (-50 a -2 dB). Este sitio contaminado no puede ser separado del resto de las cubiertas.

V.3.3. Elementos de interpretación SAR

Variación en el tono

En la Figura 97 se observan diferentes coberturas y su comportamiento en imágenes SAR y óptica, destacándose con recuadro rojo el montículo de basura triturada de color gris.

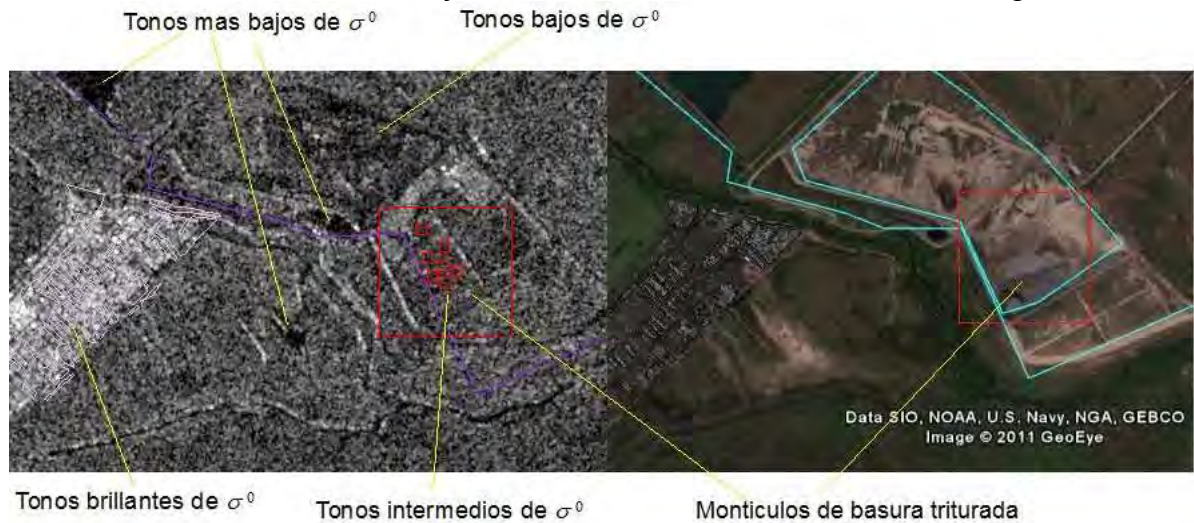


Figura 97. Relleno sanitario, chatarrera y tosquera. Imagen CSKS 322HH a la izquierda y óptica a la derecha del 24 de marzo 2010 del Google Earth.

Los tonos más bajos de σ^0 correspondieron a las tosqueras con agua, que al incidir la energía sobre estas áreas quietas y lisas se produce la reflexión especular por la cual la energía reflejada se aleja en dirección contraria al sensor y por ello en la imagen la superficie se ve oscura.

En tonos bajos se observaron los suelos desnudos y los montículos de basura triturada a cielo abierto mientras que con tonos intermedios de σ^0 se destacaron los montículos de basura tapados con tierra y el suelo con vegetación. Estas superficies son irregulares por lo cual se produce la reflexión difusa, es decir, la energía se dispersa en muchas direcciones y sólo una parte de esta regresa al sensor por lo cual no es un tono bajo ni tampoco brillante.

También se observaron tonos brillantes en las chatarreras, que son objetos geométricos que modifican el ángulo de reflexión de la energía incidente lo que puede intensificar la energía que regresa al sensor y por ende aparecer más brillante en la imagen.

En el caso de chatarreras en áreas altamente urbanizadas, los tonos de este sitio contaminado y los techos de chapa de diferentes construcciones fueron similares (Figura 98).

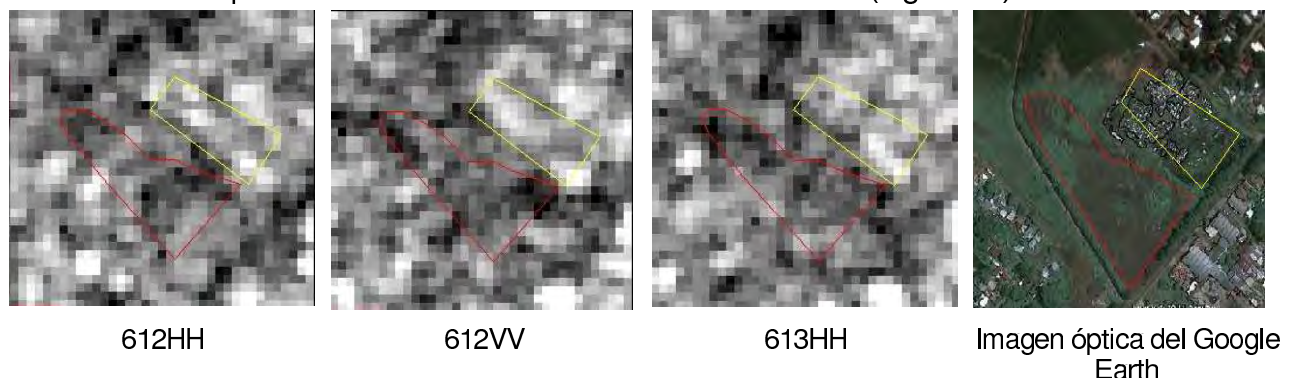


Figura 98. Chatarrera (polígono con borde amarillo) y un ex basural (polígono con borde rojo).

Regresando al caso de los cuerpos de agua, en la Figura 99 se observaron estos sitios en diferentes imágenes SAR siempre en tonos bajos, los tonos brillantes se correspondieron a los techos de las viviendas aledañas a las tosqueras y al área urbana que se comportaron igual que las chatarreras, al producir respuestas de gran intensidad por efecto de los mecanismos de “corner reflector” y los tonos intermedios correspondieron a las áreas verdes.

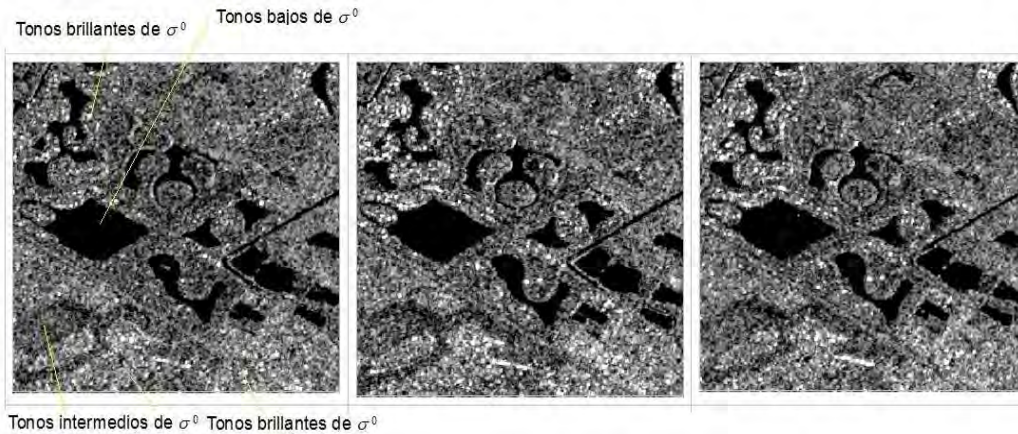


Figura 99. Tosqueras en área urbana. Imágenes SAR.

V.4. Resultados SAR

Las imágenes SAR utilizadas en este trabajo fueron CSKS en banda X (612 en HH y VV, 613 HH y VV, 620HH, 322HH y 023VV) y ERS-2VV en banda C. La polarización HH de 612 fue de utilidad para detectar los sitios contaminados y potencialmente contaminados con agua, en el rango de -40 a -20 dB con superposición menor al 25% con las cubiertas de suelo, vegetación y aglomerado urbano. Asimismo, en las escenas 612VV, 613HH y 613HV la superposición fue del 25 al 50%.

Los sitios detectados presentaron baja separabilidad con los ríos, por lo cual se utilizó una máscara vectorial, identificándose estos cursos por ser rectilíneos a diferencia de las tosqueras, las lagunas y las piletas con formas cuadradas, rectangulares y otras formas geométricas y se excluyeron los píxeles unitario, de esta manera se obtuvieron los siguientes resultados (Mapa 14, Tabla 23):

Sitios contaminados: cuerpos de agua		
De referencia para la escena 612HH	Superficie coincidente	Sitios potencialmente contaminados (ha)
70 ha	63 ha, 90%	302

Tabla 23. Resultados obtenidos con imagen CSKS.

En el resto de las imágenes CSKS, la discriminación de los cuerpos de agua con vegetación en suspensión con banda X fue baja, por un lado debido al retorno de energía por parte de la vegetación que se asimiló a la vegetación del suelo y por otro a la poca capacidad de penetración de esta banda (García y Miguelsanz, 2009).

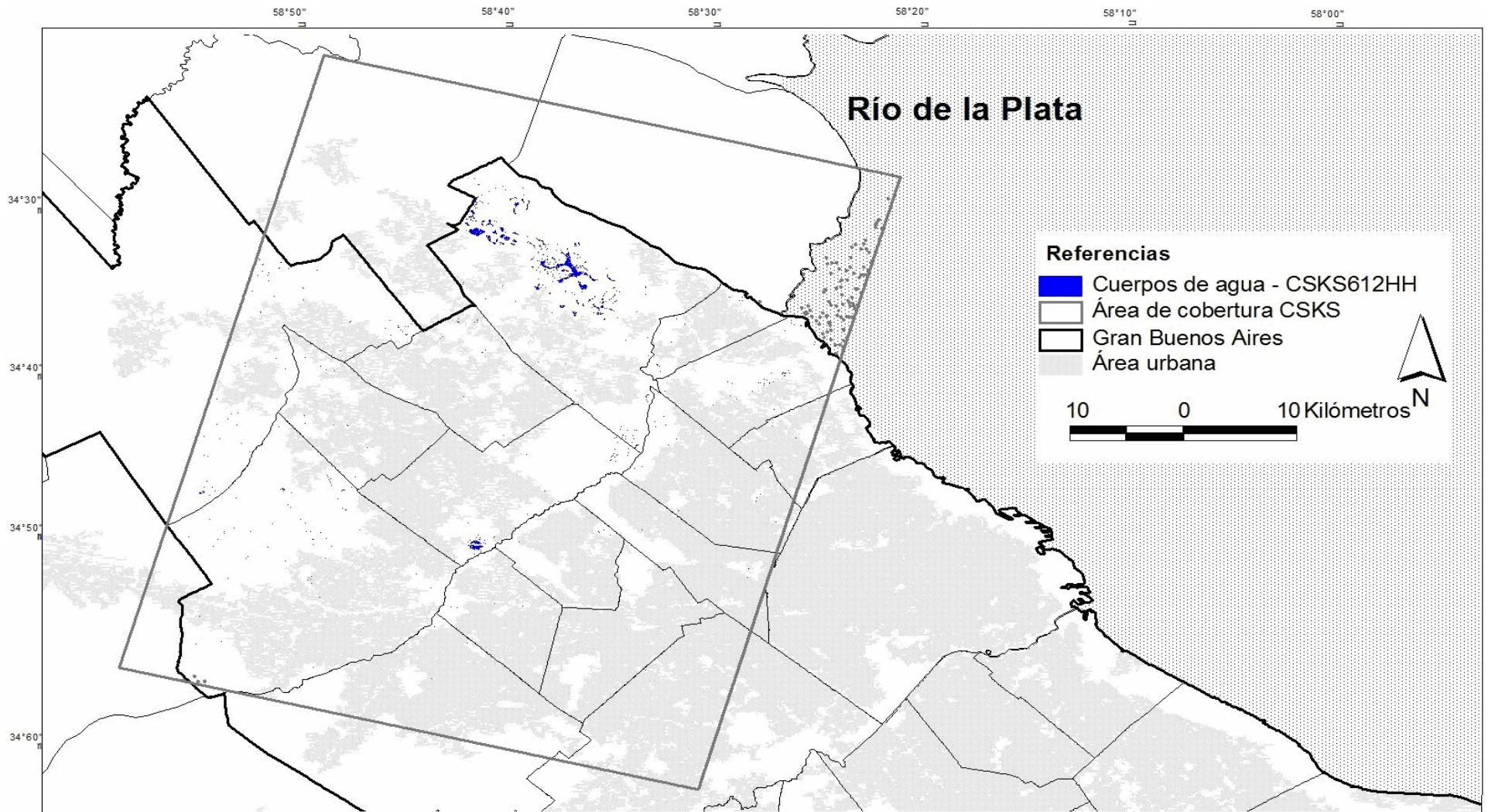
Las polarizaciones más adecuadas fueron las transmitidas en H y recibidas en H o V, en banda X a diferencia de C donde la separación fue nula. El ángulo de incidencia de 40° de CSKS fue más adecuado que 23° de ERS-2, por lo cual un ángulo mayor permitió mejor discriminación entre cubiertas.

Mientras que el tamaño del píxel más adecuado fue de 20 m x 20 m, que se ajustó mejor al área urbana del GBA que los otros tamaños empleados de 1, 5 y 12 m de CSKS y ERS-2. Por lo cual a menor resolución menor detalle y mejor discriminación.

Las chatarrerías (-25 a 2 dB), basurales (-35 a 5 dB), ex basurales (-30 a 0 dB) y relleno sanitario (-50 a 5 dB) no pudieron separarse por análisis estadístico de las cubiertas de aglomerado urbano (-35 a 10 dB), vegetación (-22 a -3 dB), suelo (-30 a 0 dB) y ríos (-50 a -2 dB).

El rango de trabajo de los sitios de disposición de residuos (-50 a 5 dB) fue similar con los relevados por Ottavianelli (2007) en los rellenos sanitarios de Inglaterra, tanto los montículos de basura a cielo abierto con alto contenido de materia orgánica, plásticos y metales como los cubiertos con tierra. Las mediciones se realizaron con un sensor fijo en banda C con polarizaciones HH, HV y VV.

En el caso de la interpretación visual, las chatarrerías presentaron tonos brillantes similares al aglomerado urbano con techos de chapas. Mientras que los sitios de disposición de residuos presentaron tonos bajos en los montículos de basura tritura a cielo abierto e intermedios los montículos tapados con tierra, diferenciándose del trabajo de Yonezawa (2009), donde los montículos de tierra presentaron valores altos de σ^0 con imágenes PALSAR en banda L con polarización HH en Japón, al igual que este trabajo no fue posible su diferenciación con el resto de las coberturas.



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 14

Detección de Sitios potencialmente
contaminados con imágenes
COSMO-SkyMed

Fuente: procesamiento de imágenes CSKS
2009 y 2010

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

Capítulo VI. Detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados

En esta sección se presenta una evaluación de la eficiencia de los métodos de extracción obtenidos en el capítulo anterior y los potenciales sitios (Tabla 24 y Mapa 15), en base a las áreas comunes de los métodos con eficiencia superior al 50%. Los cuales deberán ser confirmados con relevamiento de campo.

Sitios	Contaminados		Potencialmente contaminados		
	Cantidad	Superficie (ha)	Cantidad de métodos con eficiencia superior al 50%	Cantidad	Superficie (ha)
Basural	122	93	3	47	63
Ex-Basural	40	102	3	34	97
Chatarrera	17	19	4	11	8
Cuerpo de agua	107	488	11	83	349
Relleno Sanitario	6	1.992	10	4	255
Total	292	2.694	-	179	772

Tabla 24. Sitios contaminados y potencialmente contaminados.

Sitios de disposición de residuos Basurales

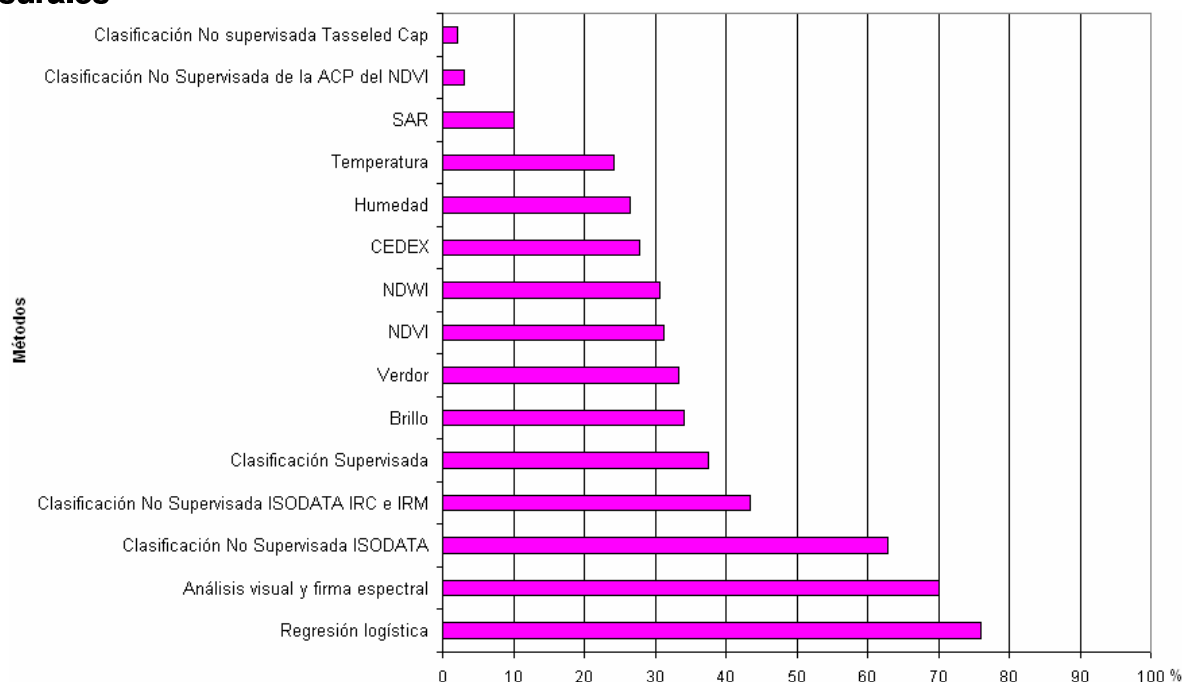


Figura 100. Basurales: eficiencia de los métodos de extracción empleados con imágenes ópticas, térmicas y SAR, en base a los 513 sitios contaminados.

La Regresión logística binaria (76%), análisis visual - firma espectral (70%) y Clasificación No Supervisada ISODATA (63%) fueron los 3 métodos seleccionados para determinar los potenciales sitios. De esta forma se obtuvieron **47 potenciales basurales que ocupan 63 ha mientras** que por recopilación bibliográfica y relevamiento de campo se obtuvieron **122 basurales equivalentes a 93 ha.**

Ex basurales

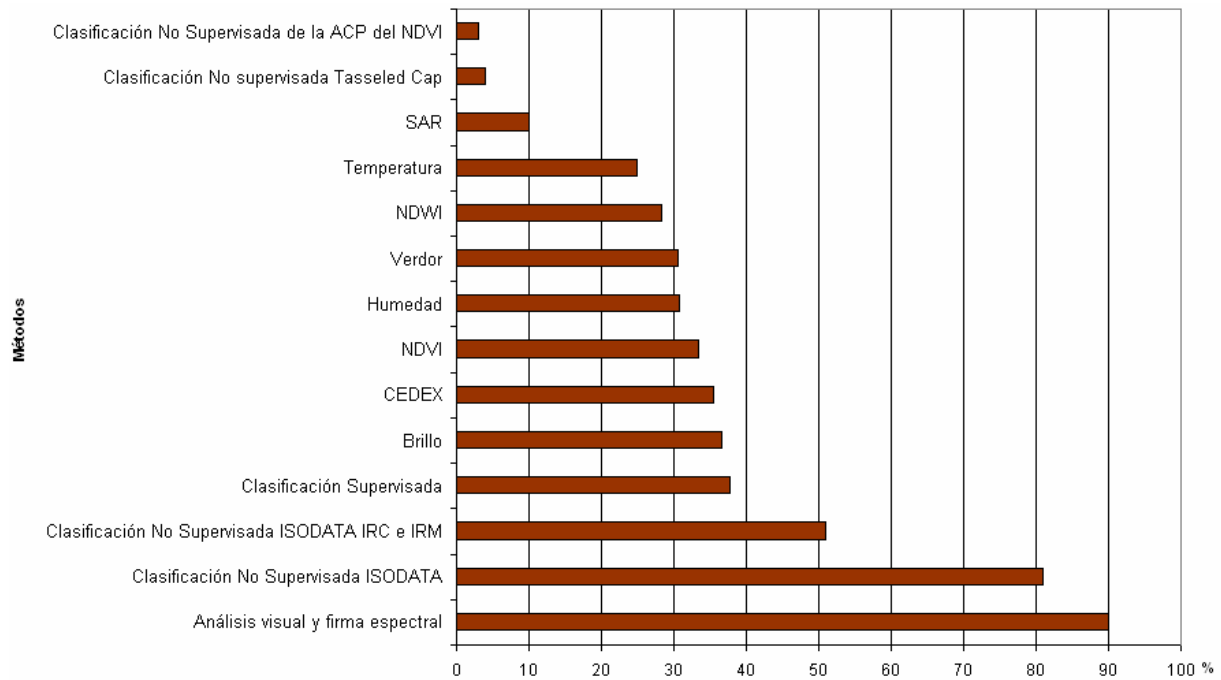


Figura 101. Ex basurales: eficiencia de los métodos de extracción empleados con imágenes ópticas, térmicas y SAR, en base a los 513 sitios contaminados.

En el caso de los potenciales ex basurales se utilizaron 3 métodos entre ellos el análisis visual - firma espectral (90%), clasificación No Supervisada ISODATA (81%) y clasificación No Supervisada ISODATA IRC e IRM (51%). De esta forma se obtuvieron **34 potenciales sitios que ocupan 97 ha mientras** que por recopilación bibliográfica y relevamiento de campo se obtuvieron **40 basurales equivalentes a 102 ha.**

Rellenos sanitarios

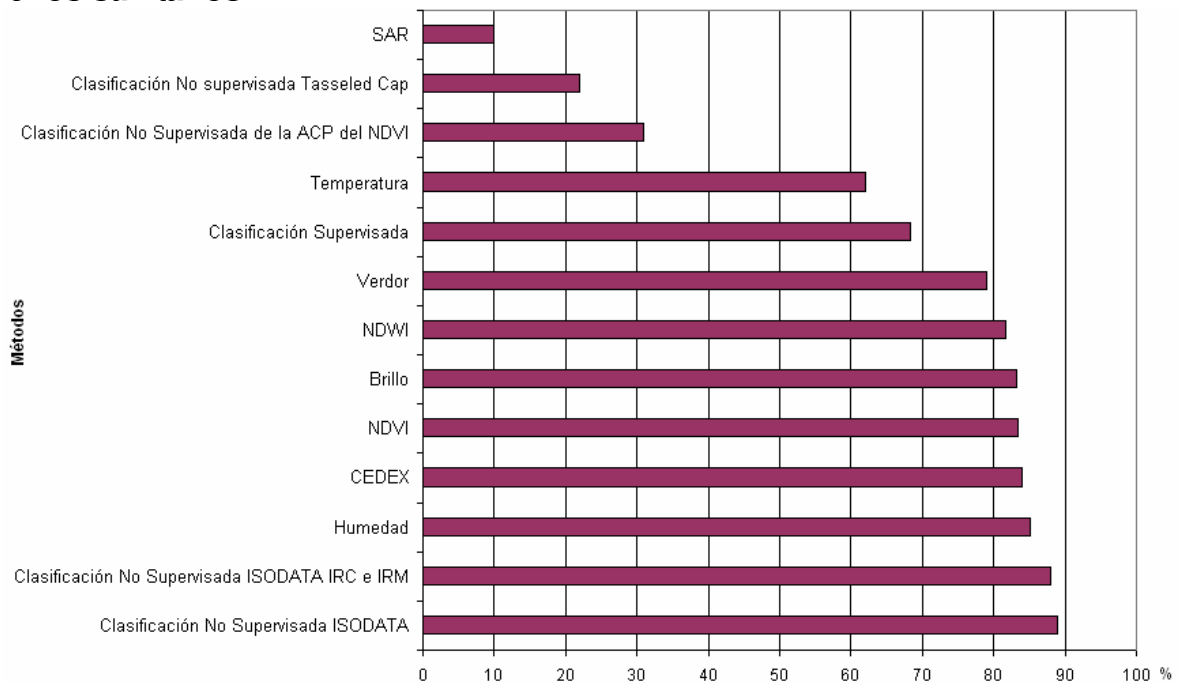


Figura 102. Rellenos sanitarios: eficiencia de los métodos de extracción empleados con imágenes ópticas, térmicas y SAR, en base a los 513 sitios contaminados.

Por recopilación bibliográfica y relevamiento de campo se obtuvieron **6 rellenos sanitarios (activos e inactivos) que ocupan 1.992 ha.** Mediante la intersección de los 10 métodos con eficiencia superior al 50% se determinaron **4 potenciales áreas con una superficie de 225 ha,**

estos métodos fueron: la clasificación No Supervisada ISODATA (89%), la clasificación No Supervisada ISODATA IRC e IRM (88%), Humedad (85%), los índices CEDEX (84%) y NDVI (83%), Brillo (83%), NDWI (82%), Verdor (79%), la Clasificación Supervisada (68%) y Temperatura (62%).

En resumen, los métodos más eficientes para los sitios de disposición de residuos fueron:

La Regresión logística binaria para determinar patrones de localización de los basurales, en base a un conjunto de sitios de referencia y variables predictoras como el Brillo, Temperatura media (°C), el tamaño característico y la cercanía a menos de 100 m de otros sitios contaminados. Para ello se evaluaron 35 variables entre ellas la densidad de población, producción de residuos, distancia a villas, asentamientos o barrios cerrados.

El análisis visual y la firma espectral. En base a los sitios de referencia activos se generaron 3 tipos de firmas espectrales: sitios de disposición de residuos, cuerpos de agua y chatarrerías; de utilidad para contrastarlo con los potenciales sitios. Mientras que los patrones visuales encontrados fueron:

- Camiones y tractores dentro de los predios.
- Gran cantidad de caminos de tierra internos, con buena conexión a la trama urbana con pavimento. En el caso de los rellenos la conexión fue con las principales autopistas del GBA.
- Cercanía con los cursos de agua o industrias o grandes galpones.
- Montículos de basura triturada o no a cielo abierto y de tierra.
- Vegetación y suelo desnudo en el predio.
- Impronta en forma de árbol en los grandes basurales y en los rellenos, un tronco (ingreso principal), numerosas ramas (caminos secundarios de tierra) y copas (distintos montículos de basura a cielo abierto o de tierra).

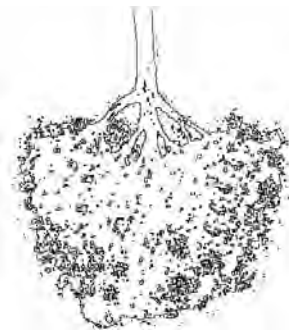


Figura 103. Impronta de grandes basurales (izquierda) y rellenos sanitarios (derecha).

- Otros sitios contaminados dentro de los predios de los rellenos como las piletas de lixiviados y chatarrerías.
- Tamaños característicos según el sitio.

Otra herramienta fue la clasificación No supervisada, que permitió agrupar los píxeles según sus propiedades espectrales en diferentes clases. En el caso de los basurales y ex basurales se utilizaron 3 clases y 5 clases para los rellenos, esto indicó heterogeneidad en la composición de los montículos de basura.

En el caso de los rellenos también se emplearon métodos con valores de eficiencia alta como Humedad, CEDEX, NDVI, Brillo, NDWI, Verdor, Clasificación Supervisada y Temperatura.

Con respecto a los métodos de NDVI y temperatura se esperaban valores altos de eficiencia para los 3 sitios según la bibliografía consultada, debido a que los lixiviados generados por los residuos afectan a la vegetación y presentan temperaturas elevadas, lo cual permite diferenciar los sitios de las áreas vecinas. En el caso de los basurales y ex basurales la eficiencia fue menor al 36% y en el caso del relleno sanitario fue superior al 62%.

Estos sitios se diferencian en:

- el tamaño de los predios: 0,2 a 2,5 ha basurales, 0,2 a 1,7 ha ex basurales y 19,4 a 269,6 ha rellenos sanitarios) y
- los suelos presentan impermeabilización para evitar la percolación de los lixiviados en el

caso de los rellenos mientras que los otros sitios carecen de ello. Por lo cual, el NDVI y la temperatura sólo fueron de utilidad para los grandes predios de los rellenos.

En el caso de la temperatura se encontraron otras cubiertas con similares temperaturas como el aglomerado urbano de media y alta densidad, infraestructura vial (avenidas, rutas y autopistas), grandes concentraciones de industrias (DockSud y el puerto), aeropuertos, grandes techados de shoppings y cines (como Unicenter, Solei Factori), las terminales de los ferrocarriles (Retiro, Constitución, Once), Universidades y clubes. Por todo ello se utilizaron máscaras para excluir estas cubiertas.

En el caso de las imágenes SAR, los sitios de disposición de residuos presentaron valores de retrodispersión similares al trabajo de Ottavianelli (2007) de los rellenos sanitarios de Inglaterra, tanto los montículos de basura a cielo abierto con alto contenido de materia orgánica, plásticos y metales como los cubiertos con tierra. Aunque las chatarreras, aglomerado urbano y vegetación presentaron valores similares por lo cual no fue posible su separación en el GBA.

Los valores de referencia de firma espectral, temperatura, NDVI y SAR consideradas para esta tesis fueron de bibliografía extranjera de áreas periurbanas o rurales de Japón, Estados Unidos, Italia y Canadá, debido a que no se encontraron datos publicados para nuestro país.

Chatarreras

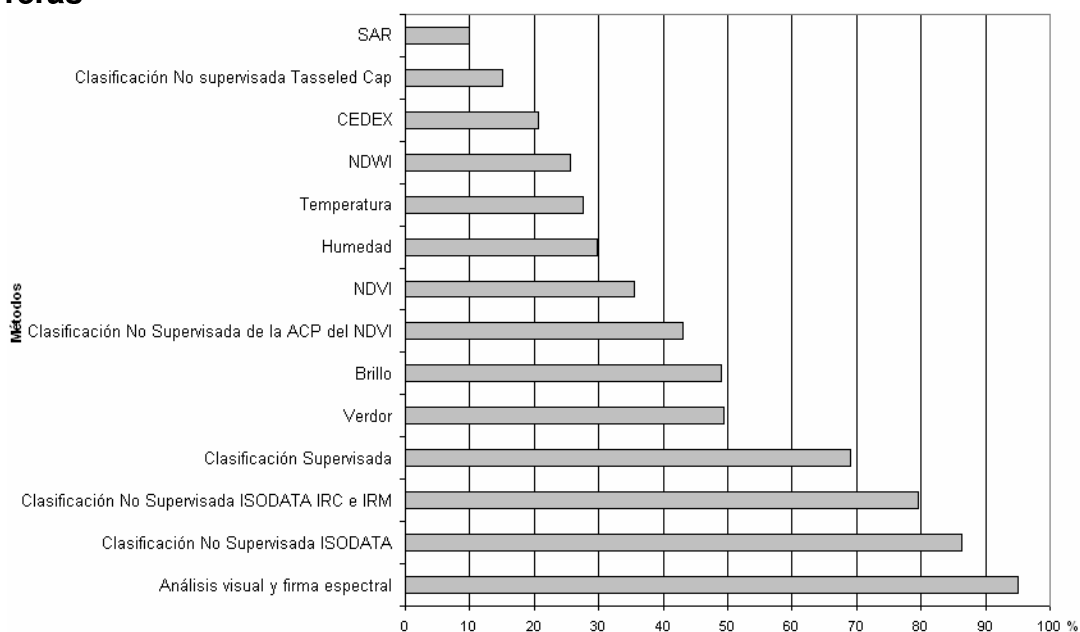


Figura 104. Chatarreras: eficiencia de los métodos de extracción empleados con imágenes ópticas, térmicas y SAR, en base a los 513 sitios contaminados.

Para determinar las potenciales chatarreras se utilizaron los siguientes 4 métodos: el análisis visual y firma espectral (97%), la clasificación No Supervisada ISODATA (86%), la clasificación No Supervisada ISODATA IRC e IRM (80%) y la clasificación Supervisada (69%). De esta forma se obtuvieron **11 potenciales chatarreras con una superficie de 8 ha y 17 chatarreras que ocupan 19 ha** mediante la recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

En el caso del análisis visual las chatarreras presentaron un patrón relacionado con el orden de los vehículos, que se encontraron apilados y estacionados en grupos sin un orden general, pegados sin distancias mínimas entre ellos, contrario a los vehículos en una playa de estacionamiento.

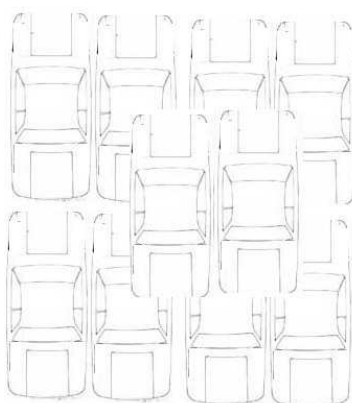


Figura 105. Impronta de las chatarreras.

Mientras que el uso de imágenes SAR presentó baja eficiencia, al no poder separar estos sitios con los techos de chapa característicos de áreas urbanas.

Cuerpos de agua

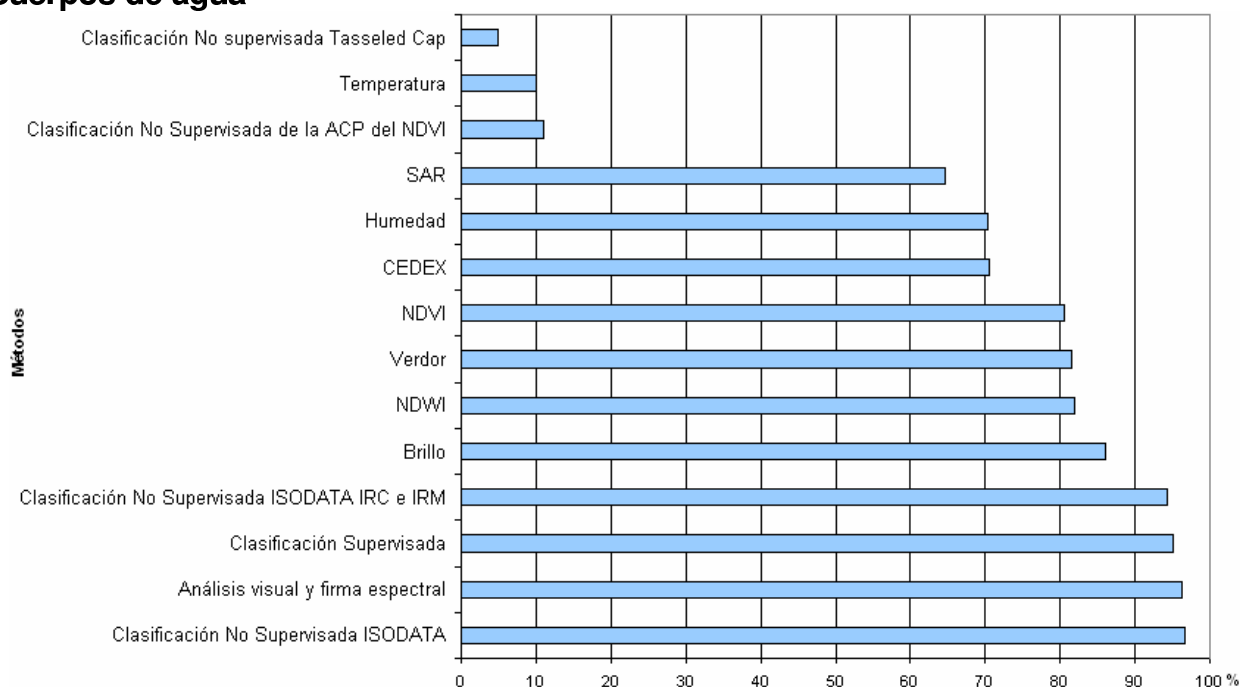


Figura 106. Cuerpos de agua: eficiencia de los métodos de extracción empleados con imágenes ópticas, térmicas y SAR, en base a los 513 sitios contaminados.

Por recopilación bibliográfica y relevamiento de campo se encontraron 107 **cuerpos de agua con una superficie de 488 ha**, mientras que los **potenciales sitios fueron 83 con una superficie de 349 ha**, mediante los siguientes 11 métodos: Clasificación Supervisada (97%), la clasificación No Supervisada ISODATA (97%), el análisis visual - firma espectral (96%), la clasificación No Supervisada ISODATA IRC e IRM (94%), Brillo (86%), NDWI (82%), Verdor (82%), NDVI (81%), CEDEX (71%), Humedad (70%) y SAR (65%) correspondiente a las imágenes CosmoSkyMed con modo de adquisición Stripmap-Ping Pong y ángulo de 40° (escena CSKS612HH).

Los potenciales cuerpos de agua se clasificaron en los siguientes grupos:

- Piletas de lixiviados: presentaron las temperaturas más elevadas de los cuerpos de agua, cercanos o dentro de los rellenos sanitarios y la forma rectangular o en forma de L.
- Lagunas artificiales con sedimentos: forma antrópica (circular, trébol) y ubicadas dentro de barrios cerrados y/o canchas de golf.
- Tosqueras con sedimentos y/o algas: forma rectangular o cuadrada y gran parte de ellas se ubicaron en las cercanías de villas, asentamientos o en áreas periurbanas.

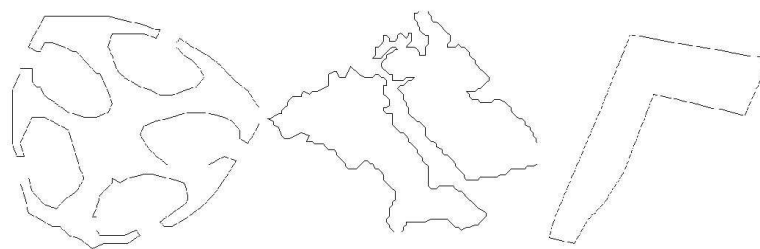


Figura 107. Impronta de los cuerpos de agua: laguna artificial (izquierda), tosquera (centro) y pileta de lixiviado (derecha).

Imágenes

Las características de las 45 imágenes procesada en esta tesis se presentan en la Tabla 25, con 45 ópticas y térmicas (41 Landsat 5 y 4 ASTER) y 8 SAR (7 CosmoSkyMed en banda X y 1 ERS en banda C) provistas por la CONAE, el INPE, la USGS. En el caso del análisis visual se utilizaron como apoyo imágenes ópticas Digital Globe de programa Google Earth.

Sistema Sensor /	Bandas - tamaño del píxel	Nivel del usuario para el pre y procesamiento	Costo y disponibilidad
Landsat 5	Visible (30 m x 30 m) y térmica (120 m x 120m)	Nivel intermedio	Gratis con o sin convenio, cada 16 días
ASTER	Térmica (90 m x 90 m)	Nivel intermedio	Gratis por convenio, cada 16 días
Digital Globe – Google Earth	Visible (1m x 1m a 5 m x 5 m)	Nivel básico	Gratis, sin dato
CosmoSkyMed	SAR en banda X (1 m x 1m, 5 m x 5 m, 20 m x 20 m)	Nivel avanzado	Con costo*, cada 7 horas
ERS2	SAR en banda C (12,5 m x 12,5 m)	Nivel avanzado	Con costo*, cada 35 días

* Para el desarrollo de esta tesis las imágenes fueron sin costo.

Tabla 25. Resumen de las imágenes satelitales utilizadas en esta tesis.

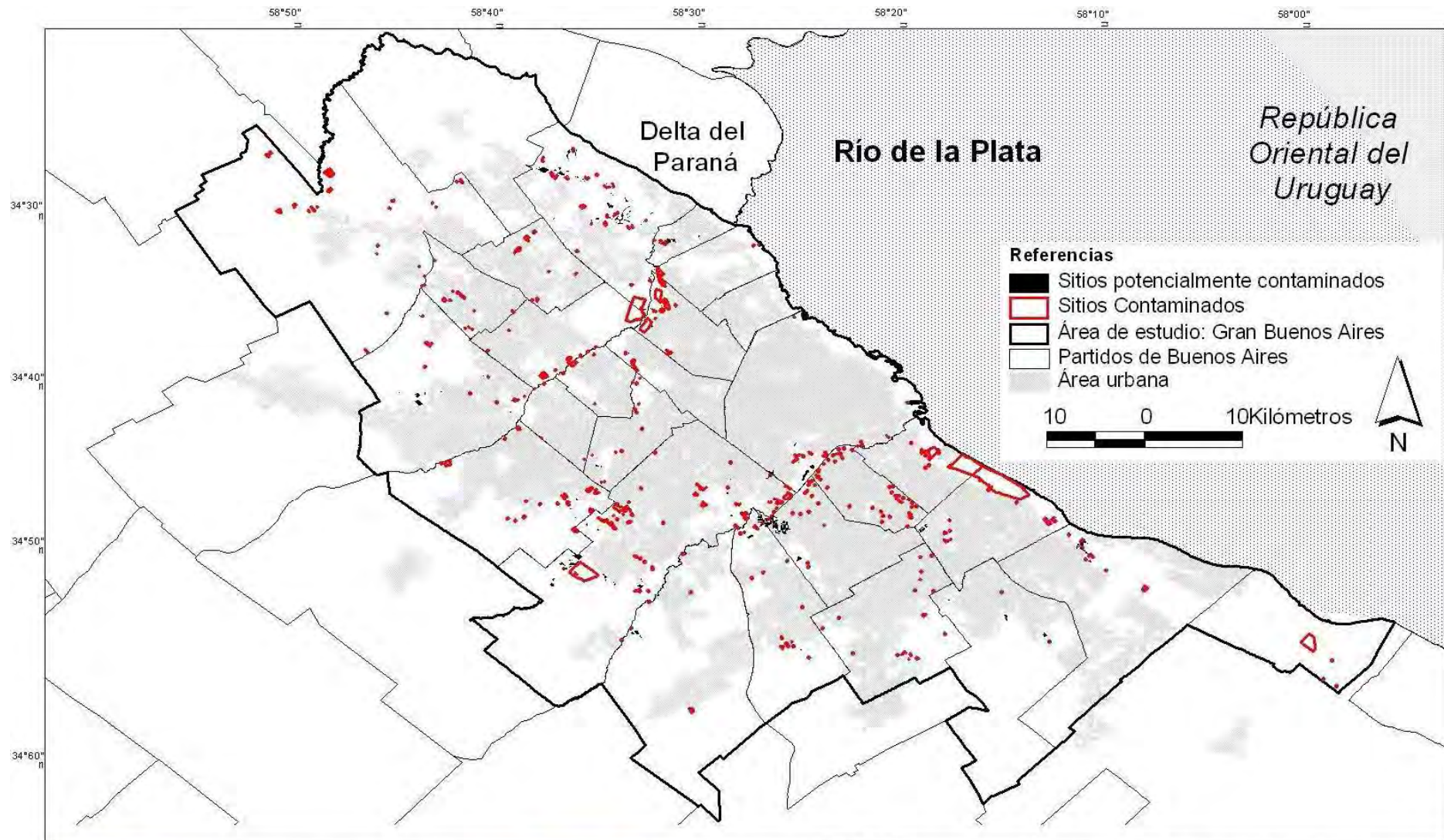
En el caso de las imágenes ópticas su mayor debilidad es la dependencia de las condiciones climáticas por lo cual se seleccionaron aquellas sin nubosidad o humo.

En el caso de Landsat, la principal ventaja fue la disponibilidad desde la década del 70, de utilidad para los análisis multitemporales, aunque Landsat 5 no se encuentra disponible desde Diciembre de 2011 por lo cual se puede utilizar Landsat 7 pero con un problema de bandedo en la imagen. El pre procesamiento de estas imágenes es conocido pudiéndose procesar con diferentes programas informáticos.

Con respecto a las imágenes de alta resolución como las utilizadas en el programa Google Earth, fueron utilizadas como apoyo visual y de utilidad para pequeños o micro sitios contaminados. Dispone una herramienta de imágenes históricas desde el año 2000 aunque la última fecha disponible no siempre concuerda con el año actual. En este caso las imágenes no necesitan de ningún preprocesamiento.

En el caso de las imágenes térmicas, su principal debilidad fue la baja resolución espacial que no permitió detectar pequeños sitios contaminados. Asimismo, es necesario un preprocesamiento particular.

En el caso de las imágenes SAR, aunque son independientes de las condiciones climáticas y presenta alta resolución espacial, sus debilidades son el precio y el pre y procesamiento, el cual debe ser realizado por un usuario avanzado. En este trabajo, el pre y procesamiento de estas imágenes insumió mucho tiempo debido a que su calibración es poco conocida y no se disponía de valores de referencia para verificarla (Ver Capítulo V).



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Marlo Gulich"



Universidad Nacional
de Córdoba

Mapa 15

Sitios Contaminados y
Potencialmente Contaminados

Fuente: en base a los métodos con
eficiencia mayor al 50% en detección.

Tesis de maestría AEARTE 2009:
Detección de basurales, exbasurales, rellenos
sanitarios, cuerpos de agua y chatarreras en el
Gran Buenos Aires mediante Teledetección y SIG

Lic. Mariela Lorena Miño, 2011

Capítulo VII. Resultados y conclusiones

El presente trabajo demuestra la capacidad de los SIG y la Teledetección para detectar, monitorear e inventariar sitios contaminados y potencialmente contaminados en el GBA, el área urbana más grande de la Argentina formada por 24 partidos y la Ciudad de Buenos Aires. Asimismo, la potencialidad de ambas herramientas para cuantificar el daño ambiental (Ley General del Ambiente N° 25.675).

Estos sitios son de interés debido a que impactan en la salud de la población y el ambiente. Actualmente representan los principales problemas ambientales de la región (PNUD, 2010) y en el caso de los sitios de disposición de residuos, la situación podría agravarse de no encontrarse un nuevo lugar para disponer legalmente de los residuos, debido a que los rellenos del GBA están colapsados y en etapa de cierre.

La problemática ambiental abordada en esta tesis es compleja y propia de las áreas urbanas, presenta un desafío a los gobiernos por lo cual requiere una visión interdisciplinaria como la que se presenta en esta investigación, pudiendo ser una actividad operativa eficiente con bajo costo económico para los gobiernos y organismos de control ambiental.

Las metodologías utilizadas pueden ser de utilidad para diagnosticar el estado sanitario de otras áreas de nuestro país, así como también la vigilancia de los sitios contaminados saneados del GBA.

Se presenta el estado de situación a julio de 2011 identificando una cantidad importante de sitios no identificados previamente por otros trabajos. Para ello se realizó un análisis y evaluación exhaustiva de metodologías aplicadas en otros países, en base a imágenes ópticas, térmicas y SAR obteniendo así información de reflectancia, temperatura, NDVI, NDWI, CEDEX, Brillo, Humedad, Verdor, clasificadores y valores típicos en SAR no publicadas/conocidas hasta el momento sobre estos sitios en el GBA y la Argentina. Por todo ello, esta investigación contribuye a un mejor conocimiento de estos sitios con el uso de imágenes satelitales.

En el caso de las imágenes SAR en banda X se detalla el método de calibración, poco conocido hasta la fecha de escritura de esta tesis.

Los productos obtenidos fueron la detección, monitoreo e inventario, aporte al Programa de Sitios Contaminados (PROSICO) de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

En los anexos de este trabajo se presentan los antecedentes históricos así como también las causas y efectos de los sitios contaminados en el GBA.

Resultados específicos

a. Recopilación de sitios contaminados en el GBA

Se recopilaron 490 sitios por búsqueda bibliográfica y 23 sitios por relevamiento de campo.

En el caso de los sitios de disposición de residuos se utilizó información de AABA, ACUMAR, los diagnósticos ambientales de la UNGS, DPOUyT, del Atlas de la Basura del CIM-CEAMSE, entre otros. En el caso del Atlas, fue el único con uso integrado de SIG y Teledetección donde se utilizó una imagen óptica Landsat 5 de diciembre 2001, muestras de 139 basurales a cielo abierto y rellenos sanitarios relevados al 2004.

Mientras que para la identificación de chatarrerías y tosqueras se consultaron recortes periodísticos e informes de la Defensoría del Pueblo de la Nación y CABA.

Sin embargo, esta información se encontraba desactualizada y en diferentes formatos (listados, mapas) por lo cual se debió realizar un trabajo previo intenso y luego su actualización mediante análisis visual con Landsat 5 y Digital Globe del Google Earth.

b. Estudiar el estado del arte de la detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados mediante herramientas de teledetección y SIG.

En base a la bibliografía recopilada no se encontraron métodos que detecten o estimen con alto porcentaje de acierto los sitios contaminados excepto para los cuerpos de agua. Gran parte de estos

trabajos se correspondían con sitios contaminados en áreas periurbanas, rurales o industriales de otros países, a excepción del Atlas de la Basura,

En el caso de imágenes térmicas y SAR, no se encontró su aplicación en publicaciones en nuestro país por lo cual se comparó con datos de otras partes del mundo.

Los métodos estudiados fueron el análisis visual considerando la forma, el tamaño y el contexto; la regresión logística binaria para la extracción de patrones de localización, la firma espectral para conocer su comportamiento espectral, los clasificadores que extraen clases según sus valores espectrales, el análisis multitemporal de vegetación y temperatura que permite determinar patrones estacionales, los valores típicos de reflectancia, retrodispersión Brillo – Humedad – Verdor o índices de agua como el CEDEX y NDWI para caracterizar los sitios o Análisis de Componentes Principales para detectar cambios en las series multitemporales.

c. Evaluar y aplicar las metodologías recopiladas, y en base a las que mejores se ajusten a las características socio -ambientales del GBA proponer una metodología para la detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados

Como se mencionó anteriormente, los antecedentes bibliográficos se correspondían con sitios de áreas poco urbanizadas, que a diferencia de los sitios del GBA presentaron valores similares con el pavimento, los techos de chapa y los ríos, por lo cual se aplicaron máscaras de aglomerado urbano, ríos y tamaño característicos de cada sitio (Capítulo IV). Luego, se aplicaron los métodos de extracción y se evaluaron la eficiencia con respecto a los sitios contaminados de referencia, en base a los métodos con eficiencia superior al 50% se determinaron las áreas en común obteniendo los sitios potencialmente contaminados (Tabla 26 y Mapa 15).

Sitios	Contaminados		Potencialmente contaminados		
	Cantidad	Superficie (ha)	Cantidad de métodos con eficiencia superior al 50%	Cantidad	Superficie (ha)
Basural	122	93	3	47	63
Ex-Basural	40	102	3	34	97
Chatarrera	17	19	4	11	8
Cuerpo de agua	107	488	11	83	349
Relleno Sanitario	6	1.992	10	4	255
Total	292	2.694		179	772

Tabla 26. Sitios contaminados y potencialmente contaminados.

Los métodos con mayor eficiencia fueron el análisis visual – firma espectral y los clasificadores supervisados y no supervisados para todos los sitios contaminados.

En el caso de los basurales también se empleó la Regresión logística binaria mientras que para los rellenos y cuerpos de agua se emplearon Humedad – Brillo – Verdor, índices de agua y Temperatura.

d. Analizar los mecanismos de interacción entre las microondas y los sitios para distintos modos de polarización, ángulos y bandas de las imágenes SAR.

Las imágenes SAR utilizadas en este trabajo fueron COSMO-SkyMed (CSKS) en banda X con modos de adquisición Stripmap-Ping Pong, Stripmap-Himage y Stripmap y ERS-2VV en banda C.

La polarización HH del modo Stripmap-Ping Pong fue de utilidad para detectar los sitios contaminados y potencialmente contaminados con agua, presentando superposición menor al 25% con las cubiertas de suelo, vegetación y aglomerado urbano. Y baja separabilidad con los ríos de la zona, por lo cual se utilizó una máscara vectorial, identificándose estos cursos por ser rectilíneos a diferencia de las tosqueras, las lagunas y las piletas con formas cuadradas, rectangulares y otras formas geométricas y se excluyeron los píxeles unitario. En el resto de las imágenes CSKS, la discriminación de los cuerpos de agua con vegetación en suspensión con banda X fue baja, por un lado debido al retorno de energía por parte de la vegetación que se asimiló a la vegetación del suelo y por otro a la poca capacidad de penetración de esta banda (García y Miguelsanz, 2009).

Las polarizaciones más adecuadas fueron las transmitidas en H y recibidas en H o V, en banda X a diferencia de C donde la separación fue nula. El ángulo de incidencia de 40° de CSKS fue más adecuado que 23° de ERS-2, por lo cual un ángulo mayor permitió mejor discriminación entre cubiertas.

Mientras que el tamaño del píxel más adecuado fue de 20 m x 20 m, que se ajustó mejor al área

urbana del GBA que los otros tamaños empleados de 1, 5 y 12 m de CSKS y ERS-2. Por lo cual a menor resolución menor detalle y mejor discriminación.

El rango de trabajo de los sitios de disposición de residuos fue similar con los relevados por Ottavianelli (2007) en los rellenos sanitarios de Inglaterra, tanto los montículos de basura a cielo abierto con alto contenido de materia orgánica, plásticos y metales como los tapados con tierra. Aunque en el GBA estos sitios y las chatarrera presentaron superposición con las cubiertas de aglomerado urbano, suelo y vegetación presentando eficiencias del 10% en la detección.

e. Contribuir con los organismos y secretarías afines a un mejor conocimiento de estos sitios, mediante el aporte de una base de datos geoespacial y mapas de afectación

En base a la información recopilada y estimada se generó un inventario que incluye:

- los sitios contaminados obtenidos por relevamiento de campo y bibliográfica, los cuales fueron actualizados en cuanto al tamaño y estado (activo o inactivo).
- los sitios potencialmente contaminados en base a los métodos con eficiencia mayor al 50%, que deberán ser validados con trabajo de campo.
- las áreas donde existieron basurales y chatarrerías y actualmente hay complejos habitacionales, con lo cual este estudio aporta los predios que deberán evaluarse ante cualquier futuro proyecto habitacional, considerando la posibilidad de acumulación de gases y contaminación del suelo por la descomposición de la basura.

Asimismo, se incluyen los mapas, las firmas espectrales y las series multitemporales de NDVI y temperatura donde se observan los patrones de estacionalidad durante el período 2001-2011.

Los sitios obtenidos por recopilación bibliográfica y trabajo de campo en esta tesis también fueron de utilidad para conocer la evolución de los basurales durante el período 1995-2011 (Figura 108), de esta manera se obtuvo un decrecimiento del 0,5% en la superficie de los basurales en comparación con datos de Di Pace y Crojetovich (1998).

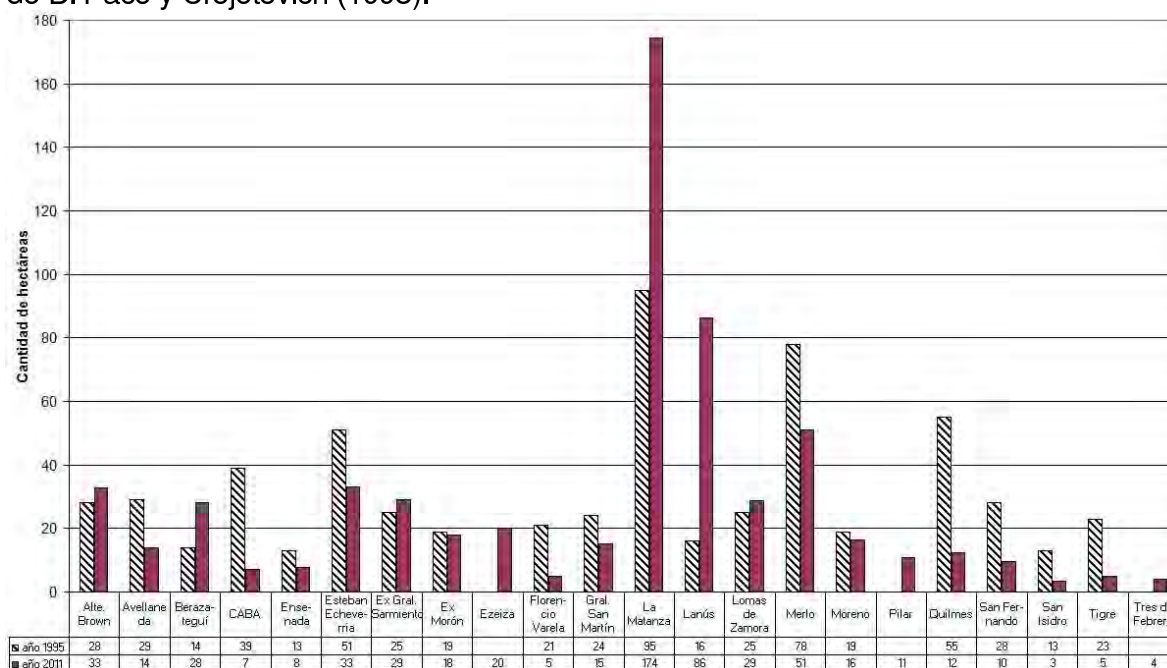


Figura 108. Comparación entre superficie de basurales durante el período 1995 en base a Di Pace y Crojetovich (1998) y el 2011 en base a recopilación bibliográfica y relevamiento de campo.

Siendo Lanús (439%), Berazateguí (100%) y La Matanza (83%) los tres partidos con mayor crecimiento en superficie de basurales y Quilmes (-77%), Tigre (-78%) y la CABA (-82%) los tres que disminuyeron su superficie del año 1995 al 2011.

f. Analizar el uso de Teledetección y SIG como instrumento útil en los marcos institucionales

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se considera que el uso de teledetección y SIG con imágenes ópticas y térmicas representan herramientas de gestión adecuadas para la detección de sitios contaminados y potencialmente contaminados y para la cuantificación del daño ambiental,

cuya aplicación puede complementar los objetivos del PROSICO:

“... producir una herramienta de gestión con capacidad para identificar, sistematizar, calificar y cuantificar procesos de degradación por contaminación y definir las estrategias de prevención, control y recuperación de sitios contaminados, desarrollando, paralelamente, el soporte regulatorio necesario, concebido como una construcción conjunta y consensuada entre todas las Provincias, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Nación, en acuerdo con el COFEMA, (...). Entre los resultados que se espera obtener de la implementación del PROSICO, son destacables los relativos a la obtención de un diagnóstico de situación nacional expresado a través de un inventario de sitios contaminados, la definición de prioridades de intervención para la recuperación ambiental, la creación de instrumentos metodológicos, tecnológicos y jurídicos para la gestión, el fortalecimiento institucional y la capacitación de recursos humanos. (...) En este sentido, es imprescindible contar con una herramienta que permita enmarcar las acciones destinadas a la remediación y al saneamiento de aquellos sitios caracterizados como contaminados que, por un criterio de prioridad previamente establecido, sean identificados como tales. En la actualidad, si bien existe alguna información dispersa, se desconoce la entera magnitud de la problemática.

En resumen, el uso integrado de SIG y Teledetección en esta investigación mostró la utilidad para la detección, monitoreo e inventario además de brindar una perspectiva holística.

El uso de SIG es empleado por varios organismos entre ellos ACUMAR o la Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial de la Subsecretaría de Gobierno del Ministerio de Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Mientras que el uso integrado de ambas herramientas es aplicado para el monitoreo en la Dirección de Bosques Nativos en el marco de la Ley Nacional 26.331 de Presupuesto mínimos de protección ambiental de los bosques nativos.

g. Describir las limitaciones y potencialidades del desarrollo de esta tesis.

Con respecto a la detección:

- Se recopilaron sitios contaminados en base a bibliografía y relevamiento de campo así como también valores de referencia de vegetación, brillo, humedad, índices de agua, temperatura y SAR de otros países. Estos datos fueron de suma utilidad para generar datos no conocidos / publicados para el GBA que pueden utilizarse para otras áreas urbanas o para la detección y vigilancia, en particular la generación de una biblioteca de firmas espectrales. De no haberlos tenido hubiese sido imposible el desarrollo de esta investigación.
- Los métodos de extracción seleccionados son métodos básicos en teledetección como la firma espectral, el análisis visual, los clasificadores supervisados y no supervisados. Esto presenta una potencialidad dado que no requiere equipo o programa informático sofisticado para su procesamiento.
- Se utilizaron máscaras de aglomerado urbano, ríos y también se consideraron los tamaños de los potenciales sitios contaminados. Debido a que los sitios presentaron comportamientos similares a las cubiertas nombradas anteriormente, por lo cual se pudo haber sub estimado los potenciales sitios.
- Esta investigación responde a una necesidad real siendo un aporte para un organismo ambiental. La limitación de este trabajo es la verificación de los sitios potencialmente contaminados en campo.

Con respecto a las imágenes utilizadas:

- Las imágenes SAR presentan una ventaja sobre las ópticas y térmicas que reside en la independencia de las condiciones climáticas, pero presentan un alto costo monetario, y en esta tesis se sumó el largo tiempo del preprocesamiento y la baja eficiencia en la detección.
- En el caso de la banda térmica fue de utilidad para la regresión logística y la serie multitemporal pero la limitación fue la baja resolución espacial que no permitió detectar pequeños sitios contaminados.
- Con respecto a las imágenes ópticas Landsat, las principales ventajas son su preprocesamiento conocido, son gratuitas y la disponibilidad histórica desde 1972 con Landsat 1 hasta hoy con Landsat 7. En esta tesis se utilizó Landsat 5 que dejó de funcionar en noviembre de 2011, que puede sustituirse por Landsat 7 aunque presenta un problema de bandeo y en el 2013 estará disponible Landsat 8 con características similares. En el caso de las imágenes de Google Earth utilizadas para el análisis visual, presentan varias ventajas: gratuitas, están georreferenciadas y

hay imágenes históricas desde el año 2000, pero sólo se dispone la combinación de color verdadero y las fechas disponibles no siempre son las óptimas.

Con respecto a los programas informáticos utilizados:

- En esta tesis se utilizaron programas informáticos con licencia (SPSS, ENVI, Excel, Arc View) y libres (NEST, R, OpenOffice, Google Earth), hubiese sido importante utilizar estos últimos dado que cubrían todas las necesidades pero al momento de realizar la tesis se tenía poco manejo de ellos.

Recomendación de acción: creación de un Observatorio de Sitios contaminados

- En base a los materiales y herramientas utilizadas en esta tesis se podría armar un Observatorio de Sitios contaminados, con el uso de imágenes de distribución gratuita ópticas como Landsat 7 (similares a Landsat 5) y Digital Globe del programa Google Earth, utilizando los métodos de análisis visual, firma espectral y clasificaciones supervisadas y no supervisadas e índices de agua para los cuerpos de agua. Asimismo, para el análisis estadísticos de las muestras de las imágenes Landsat 7 se pueden utilizar programas libres como R, para la elaboración y publicación de los datos el Google Earth, para la edición de textos y tablas OpenOffice y preprocesamiento de imágenes Landsat 7 con los programas TMVFR y Ledaps diseñados por la Agencia Espaciales Europea y U.S. Geological Survey respectivamente.
- Otras herramientas que no se utilizaron en esta tesis pero podrían ser de interés son: el programa GVSIG para la elaboración de mapas y análisis espaciales. En el caso de las imágenes satelitales gratuitas se podría utilizar la banda pancromática CBERS-2B de 2,7 m x 2,7m, en el caso de Buenos Aires hay escenas disponibles desde el 2007 hasta el 2010.
- En el caso de contar con recursos económicos recomendaría la adquisición de imágenes actuales de alta resolución como SPOT, QuickBird o Digital Globe.
- En cuanto a los métodos de extracción se podrían explorar métodos automáticos para la detección por forma, tamaño y asociación.

Bibliografía

- Aguayo Canela M., 2007. Cómo hacer una regresión logística paso a paso (I y II): análisis multivariante. Fundación Andaluza Beturia para la investigación en Salud. FABIS Núm 0702012 y 0702013.
- Alsina G. y Miño M. L. (Editores), 2009 Diagnóstico ambiental del Partido de San Miguel. Año 2006. Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica, UNGS. En prensa.
- Alsina G. y Miño M. L. (Editores), 2009. Diagnóstico ambiental del Partido de José C. Paz. Año 2005. Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica, UNGS. En prensa.
- Alsina G. y Miño M. L., (Editores), 2009. Diagnóstico ambiental del Partido de Morón. Año 2007. Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica, UNGS. En prensa. Disponible en www.ungs.edu.ar
- Alsina G., Borello J. A. y Miño M. L. (Editores), 2007. Diagnóstico ambiental del Partido de Malvinas Argentinas. Año 2004. Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica, UNGS. ISBN: 987-630-006-7. Disponible en www.ungs.edu.ar
- Alsina G., Borello J. A. y Miño M. L. (Editores), 2007. Diagnóstico ambiental del Partido del Pilar. Año 2002. Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica N° 12, UNGS. ISBN: 987-630-007-5.
- Alsina G., Borello J. A. y Miño M. L. (Editores), 2007. Diagnóstico preliminar ambiental del Partido de Ituzaingó. Año 2003. Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica N° 11, UNGS. ISBN: 987-630-008-3.
- Alsina G., Borello J. A. y Zalts A. (coordinadores), 2006. Diagnóstico preliminar ambiental del Partido de Hurlingham. Año 2000. Miño M. L. y Rivarola y Benítez M. (asistentes en la edición final del libro). Primera edición. Los Polvorines: Colección Investigación Serie Informes de Investigación N° 26, UNGS. ISBN: 987-9300-74-9.
- Alsina G., Borello J. A. y Zalts A. (coordinadores), 2007. Diagnóstico preliminar ambiental del Partido de San Miguel. Año 2001. Miño M. L. (Coordinadora de la edición final). Primera edición. Los Polvorines: Colección Publicación Electrónica N° 9, UNGS. ISBN: 978-987-9300-98-X.
- Alsina G., Miño M. L. y Molina L. (Editores), 2010. Diagnóstico ambiental del Partido de San Fernando. Año 2008. Colección Publicación Electrónica, UNGS. En prensa.
- Altobelli A., Bressan E., Grisi J. e Napolitano R., 2005. Analisi delle modificazioni del territorio circostante le discariche di 1a categoria nella provincia di Udine. Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Trieste, Italia. XV Congresso della Società Italiana di Ecologia Torino 2005. 15 th Meeting of the Italian Society of Ecology.
- Arango Gutiérrez M., Branch Bedoya J., Botero Fernández V., 2005. Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: Landsat ETM+.
- Aristov M., 2008. Dumps and landfill monitoring using high-resolution satellite images. In Carsten Jurgens (Ed.): Remote sensing New Challenges of High resolution, Bochum 2008.
- Bagheri S. y Hordon R., 1988. Hazardous Waste Site Identification Using Photography: A Pilot Study in Burlington New Jersey, USA. Environmental Management Vol. 12, No. 1, pp. 119-125.
- Baodong MA, WU Lixina and LIU Shanjuna, 2008. Remote Sensing detection for subsidence-resulted water body and solid-waste dump in coal mine: Yanzhou being a case. Institute for Geoinformatics & Digital Mine Research, Northeastern University, and Institute for GIS/RS/GPS & Subsidence Research, China University of Mining & Technology, China. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B6b. Beijing 2008.
- Barnaba E., Philipson W, Ingram W. y Pim J., 1991. The use of aerial photographs in country inventories of waste – disposal sites. Photogrametric Engineering and Remote Sensing Vol. 57.
- Barón López F., 2004. Apuntes de Bioestadística: Tercer Ciclo en Ciencias de la Salud y Medicina. Departamento de Matemática Aplicada de la Universidad de Málaga, España.
- Barsky A., Da Representação N., Cicarelli I., Galeano E., Genes S., Iñiguez C., Ledesma C., Ortiz R., Quiroz S., Reynaga G., Ruiz V., Steinbach F., Talavera R., Tenor A. y Zanzi J. L., 2007. Capítulo III: uso inadecuados de grandes espacios vacantes y escasez de espacios verdes públicos. En Alsina et al., 2007.
- Bischoff S., 2003. Capítulo 6: Sudestada. El Cambio Climático en el Río de la Plata. Proyecto: assessments of Impacts and adaptations to climate change.
- Borello J. A. y Catenazzi A. (coordinadores), 2001. Diagnóstico preliminar ambiental de José C. Paz, año 1998. Informe de Investigación N° 12. ICO – UNGS.

- Botella-Rocamora P., Martínez-Beneito M, López-Quilez A, 2006. An autoregressive approach to spatio-temporal disease mapping. *Stat.*
- Bozzano H. y Pintos P., 1995. Medio físico y conflictos ambientales. El Conurbano Bonaerense. Relevamiento y análisis. Comisión Nacional Área Metropolitana de Buenos Aires, Ministerio del Interior, Buenos Aires.
- Brivio P., Doria I. and Zilioli E., 1993. Aspects of Spatial Autocorrelation of Landsat TM Data for the Inventory of Waste-Disposal Sites in Rural Environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 59, No. 9, pp. 1377-1382. En Ottavianelli (2007).
- Bustamante J., Díaz-Delgado R. y Aragonés D., 2005. Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñada mediante teledetección. *Revista de Teledetección*, Vol. 2005-24, 107-111.
- Byrne G., 1979. Remotely sensed land cover temperature and soil water status a brief review. *Remote Sensing* Vol. 8.
- Calello T., 2000. Breve caracterización histórica de la Región Metropolitana de Buenos Aires. Instituto del Conurbano. UNGS.
- Cappannini D. y Domínguez O., 1961. Los principales ambientes geodafológicos de la Provincia de Buenos Aires. INTA, Revista IDIA N°163.
- Carbone N., Blodgett C., Doster B. and Lea R., 2005. Contamination Characterization Through Airborne Hyperspectral Imagery Pilot Project Final Report. Missouri Department of Natural Resources and U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Office Of Solid Waste And Emergency Response and University of Missouri Columbia.
- Cassano D., 1998. Manual de gestión de residuos sólidos urbanos. Cuestiones institucionales y normativas, colección extensión n° 2, ICO – UNGS.
- Castro R., 1999. Sistema para el Seguimiento y análisis de tierras mediante teledetección. Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y La Alimentación
- CCRS, 2008. Tutoría del Centro Canadiense de Percepción Remota. Ministerio de Recursos Naturales de Canadá. Programa GlobeSAR. Disponible en línea en: www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/gsarcd/intro_e.html
- CEAL, 1982. Centro Editor de América Latina. Atlas Físico de la República Argentina.
- CEAMSE, 2009. Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado. Glosario disponible en ceamse.gov.ar/liquidos-lixiviados
- Chander G., Markham B. and Barsi J., 2007. Revised Landsat 5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. Manuscript (GRSL-00031-2007) submitted to IEEE GRSL (expected to be published in July 2007 issue).
- Chen C. F. y Chang C. Y., 2006. Monitoring of Illegal Dumping Using Spatial Data Mining and Remote Sensing. Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Jhongli City, Taiwan. En 27th ACRS2006, Ulaanbaatar, Mongolia, 2006.
- Chuvieco E., 2007. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Tercera edición. Editorial Ariel, España.
- Ciccolella P., 1999. Grandes inversiones y dinámicas metropolitanas. Buenos Aires: ¿ciudad global o ciudad dual?. Seminario: El nuevo milenio y lo urbano, Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- CIM UBA, 2002. Centro de Información Metropolitana de la Universidad de Buenos Aires. Convergencia de los impactos ambientales del uso de la tierra en la salud humana. Primer Informe 2002. Partido de Pilar, Provincia de Buenos Aires.
- Conesa García C., 2004. Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección: aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección, Murcia del 20-23 de septiembre, 2004.
- Congalton, R. G., 1988. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54(5), 593-600.
- Cravino C., 1998. Los asentamientos del Gran Buenos Aires. Reivindicaciones y contradicciones. En VVAA, Antropología Social y Política. Hegemonía y poder: el mundo en movimiento, Buenos Aires, EUDEBA.
- Defensoría del Pueblo de la Ciudad de Buenos Aires (actuación n° 5153/06 del 12 de enero de 2007 y actuaciones n° 5937/05 del 7 de junio de 2007).
- Defensoría del Pueblo de la Nación, 2007. Informe especial Cuenca del Río Reconquista primera parte. Marzo 2007.

- Di Pace M. J. y Crojetovich A., 1998. La sustentabilidad ecológica en la gestión de residuos urbanos. Caso de estudio: Área Metropolitana de Buenos Aires, ICO-UNGS.
- Di Pace M. y Reese E. (coordinadores), 1999. Diagnóstico preliminar ambiental del Municipio de Malvinas Argentinas, año 1997. Colección Publicación: Manual de gestión N° 2. ICO – UNGS.
- DPOUyT, 2007. Lineamientos Estratégicos para la Región Metropolitana de Buenos Aires. Subsecretaría de Urbanismo y Vivienda. Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial.
- Duda R. y Hart P., 1973. Pattern classification and scene analysis. New York: John Wiley and Sons, 1973. 189 p.
- Dukat F., Ferrati R. y Canziani G., 2005. Clasificación de lagos someros pampeanos mediante imágenes Landsat TM. *Biología Acuática* n 22, 2005:95-101. ISSN 0326-1638. Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable, Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
- Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 1996. Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Level-1 Data Processing (Ver. 3.0). Level-1 Data Working Group ASTER Science Team, Japan.
- e-geos, 2010a. COSMO-SkyMed The first radar constellation for operational applications and services. Communication 10-2010.
- e-geos, 2010b. Calibración de Cosmo-SkyMed. Obtenido de www.e-geos.it/products/cosmo.html
- ENGIRSU, 2005. Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Ministerio de Salud y Ambiente y Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Environmental Protection Agency -EPA-, 1999. Using Historical Aerial Photographs and Maps to Document Waste Disposal Site Activities. US Environmental Protection Agency.
- FARN, 2008. Acceso a la Justicia, la causa Mendoza por Andrés Napoli. Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Buenos Aires.
- Federico Sabaté A., 1997. Ciclo de vida material de los residuos urbanos domiciliarios, Informe de investigación N° 5, ICO-UNGS.
- Federico Sabaté A., 1999. El circuito de los residuos sólidos urbanos, Situación en la Región Metropolitana de Buenos Aires, ICO-UNGS.
- Fernández L., Martucci L., Gómez G., Hornus E., Hoyos J., Lastra L., Llanos M., Maidana P., Mannocchi C., Márquez D., Martínez J., Mendoza A., Mendoza L., Migueles A., Miguens A., Mijares J., Mondella N., Moudelle L., Núñez N., Ogasawara G., Ogdi M., Ojeda M., Olmos G., Orellano C., Páez L., Piaggio S., Ponce J., Quintero C., Rodríguez C., Rossi C., Sosa G., Tejedor F., Triulzi M. y Windholz S., 2009. Capítulo I: la calidad del agua para consumo humano. En Alsina y Miño (Editores), 2009.
- Ferrero S., Palacio M. y Campanella O., 2002. Análisis de componentes principales en teledetección. Consideraciones estadísticas para optimizar su interpretación. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Río Cuarto. *Revista de Teledetección*. 2002. 17: 43-54. N.º 17 Junio 2002.
- Ferrer-Vidal V. y Solé-Sugrañes U., 1995. Caracterización de emisiones térmicas en áreas suburbanas mediante imágenes Thematic Mapper. Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, Barceña España. *Revista de Teledetección*, 1995, Vol 5, diciembre 1995.
- Fior F., Rosselli R., Silvestri S., Biotto G., Furlan E., Gobbo I., Omri M., Valenti S., Rampazzo S., Nicoletti V., Buzzino C., Beltrame P., dal Tin M., Bellomo A. and Beghi S., 2005. The use of Remote Sensing and GIS to map illegal dumps: a project sponsored by the Veneto Region. Regione del Veneto, Direzione Tutela dell' Ambiente and Magistrato alle Acque, Venezia, Italy. *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3 7 October 2005.*
- Frulla L., Milovich J., Karszenbaum H. y Kandus P., 1998. Metodologías de Preprocesamiento y Procesamiento Utilizadas en el Tratamiento Cuantitativo de Datos SAR Para el Estudio de Ambientes en el Bajo Delta del Río Paraná, Argentina. *Proceedings of the Globesar2 Mid-Term Symposium*. Cartagena, Colombia. 8 pp.
- García M. A. y Miguelsanz P., 2009. Discriminación de láminas de agua con imágenes TERRASAR X en La Albufera de Valencia. TRAGSATEC, Madrid. *Teledetección: agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009. pp 117-120. Editores: Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos.
- Garolfo D. y Wobber F., 1974. Solid waste and remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* Vol. 40.
- Geo Argentina, 2004. Perspectivas del Medio Ambiente de la Argentina. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe y la Secretaria de

- Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República Argentina.
- Goodchild M. and Kemp K., 1990. NCGIA Core Curriculum. National Center for Geographic Information and Analysis. University of California Santa Barbara.
- Grings F., 2008. Extracción de información ambiental a partir de imágenes de radar utilizando modelos de interacción onda-blanco. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires.
- Herrero A. C., 2006. Análisis del riesgo poblacional en relación al recurso hídrico en una cuenca periurbana, RMBA. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires.
- Herrero A. C., Reboratti L., Fernández I., Abramovich A. L. y Santiago F., 2001. Informe preliminar sobre el Partido de San Miguel. ICO- UNGS.
- INDEC, 2010. Resultados provisionales del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos - Ministerio de Economía, Buenos Aires. En www.censo2010.indec.gov.ar
- Ishihara N., Ochi S. y Yasuoka Y., 2002. Monitoring of Illegal Dumping Using Satellite Images. Institute of Industrial Science, University of Tokyo y National Institute for Environmental Studies.
- Italian Space Agency, 2009. COSMO-SkyMed SAR Products Handbook. COSMO-SkyMed Mission. Rev.2, 09/06/09.
- Katz M., 2008. Fotos del Relleno Sanitario Norte III del CEAMSE. Greenpeace Argentina, octubre 2008. En images.greenpeace.org.ar
- Koutoudjian A., 2005. Residuos sólidos urbanos en la Región Metropolitana de Buenos Aires. En: Lineamientos Estratégicos para la Región Metropolitana de Buenos Aires. Mimeo. 2005.
- Kroeck R. y Shelton G., 1984. Overhead remote sensing for assessment of hazardous waste sites. Office of Research and Development, US EPA, Las Vegas, Nevada.
- Landis, J.R. and Koch G. G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. Vol. 33, pp. 159 -174.
- Laur H., Bally P., Meadows P., Sanchez J., Schaettler B., Lopinto E. y Esteban E., 2004. Derivation of the backscattering coefficient so in ESA ERS SAR PRI products. Document No: ES-TN-RS-PM-HL09 17 05 November 2004, Issue 2, Rev. 5d.
- López Garrido J., Vidal F. M. y Pereira J., 1980. Basura Urbana: recogida, eliminación y reciclaje. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España.
- Meconi G., Murgida A., Natenzon C. y Gonzalez S., 2005. Participación ciudadana, planes ambientales y desarrollo local. Ejemplo de una comunidad bonaerense. PIRNA, Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Miño M., 2007. Identificación y evaluación del riesgo hídrico poblacional frente a la problemática de las inundaciones en el Partido Del Pilar, Provincia de Buenos Aires. Tesina de Licenciatura en Ecología Urbana, UNGS.
- Miraglia M., Alsina G., Álvarez M., Bottazzi T. y Coletti I., 200X. Capítulo VI: la gestión de los residuos patogénicos. En Alsina y Miño (Editores), 2009.
- Moral Peláez I., 2006. Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística En. Introducción a la estadística en ciencias de la salud. España.
- Moral Peláez I., 2006. Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. En: Guillén Serra A, Crespo Montero R. Métodos estadísticos para enfermería nefrológica. Madrid: SEDEN; 2006.
- Morello J. y Rodríguez F., 2001. Funciones educativas de las manchas de naturaleza en las ciudades y sus bordes: el caso de Buenos Aires. Aves Argentinas.
- Morello J., 2000. Funciones del sistema periurbano: el caso de Buenos Aires. Universidad Nacional de Mar del Plata. Ediciones CIAM-GADU.
- Omri M., 2007. Le discariche nel Veneto. Applicazione del telerilevamento e del GIS al censimento dei siti potenzialmente inquinati nella pianura veneta. Progetto di monitoraggio del territorio attraverso metodologie di telerilevamento. Regione del Veneto, Direzione Tutela dell'Ambiente and Magistrato alle Acque, Venezia, Italia.
- Organización Panamericana de la Salud, 2005. Evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales. Informe analítico de argentina comité argentino para la evaluación 2002 / febrero 2004. Oficina Regional de la Organización Mundial de la salud.
- Ottavianelli G., 2007. PhD Tesis: Synthetic Aperture Radar Remote Sensing for Landfill Monitoring. Cranfield University, School of Engineering Space Research Centre.
- Ottavianelli G., Hobbs S. E., Smith R. and Bruno D., 2005. Assessment of Hyperspectral and SAR Remote Sensing for Solid Waste Landfill Management. Space Research Centre – Integrated Waste Management Centre, Cranfield University, Inland. 22 March 2005, ESA/ESRIN, 3rd CHRIS/PROBA Workshop.

- Ottavianelli G., Hobbs S., Smith R., Morrison K. y Bruno D., 2006. SAR Interferometric Products and Hyperspectral Data for Monitoring Solid Waste Landfill Operations. In: Fourth ESA CHRIS Proba workshop. Frascati, Italy, 19-21 September 2006. European Space Agency, Paris.
- Pandiscia G., Braghieri R. y Baratti G., 1999. Monitoreo ambiental mediante telerilevamento satelital de las cavas y de las vertederos del territorio de la Provincia de Pavia DAL 1990 al 1999. Setor Ambiente della Provincia di Pavia e Telespazio Spa Centro Spaziale di Matera, Italia.
- Peña N., 2006. Ayuda en línea boxplot. Universidad Simón Bolívar.
- Pereyra E. y Tchilinguirian P., 2003. Problemas ambientales en el Área Metropolitana Bonaerense, Argentina: aspectos geológicos. En Las aguas bajan turbias en la región metropolitana del Gran Buenos Aires. UNGS.
- Pinilla C., 1995. Elementos de teledetección. Ra-Ma ediciones, Madrid España.
- Pérez P. y Gamallo G., 1994. Basura privada, servicio público; los residuos en dos ciudades argentinas, Buenos Aires, Centro Editor de América Latina.
- PNUD, 2010. El riesgo de desastres en la planificación del territorio: primer avance. Programa nacional de prevención y reducción del riesgo de desastres y desarrollo territorial (PNUD-ARG 05/020). Programa Naciones Unidas para el Desarrollo. ISBN 978-987-1560-19-6.
- Richards J., 1993. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, 3rd edn Springer.
- Rodríguez A. y Saborío M., 2008. Lo Rural es Diverso: Evidencia para el Caso de Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.
- Salvia M. M., 2010. Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: análisis de series de tiempo y eventos extremos. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires.
- SAyDS, 2007. PROSICO: Programa para la Gestión Ambiental de Sitios Contaminados. Manual metodológico. Dirección Nacional de Control Ambiental, Dirección de Prevención y Recomposición Ambiental. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Julio de 2007.
- SAyDS, 2011. Resultados del Seminario de Gestión de Residuos. Coordinación de Prensa y Difusión, 17 de enero de 2011. Obtenido de la página Web: www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=2950
- Scioli N. y Thomas F., 2007. Los basurales a cielo abierto en la provincia de Buenos Aires.
- Shaker A. y Yan W.Y., 2010. Trail road landfill site monitoring using multi-temporal Landsat satellite data. Department of Civil Engineering Ryerson University, Toronto, Canada. En Canadian Geomatics Conference 2010 and ISPRS COM I Symposium. Calgary, Canada, June 15-18, 2010.
- Silvestri et al., 2005, 2011.
- Silvestri S. and Omri M., 2007. A method for the Remote Sensing identification of uncontrolled landfills: the case of the Veneto plain, Italy. Regione del Veneto, Direzione Tutela dell'Ambiente and Magistrato alle Acque, Venezia, Italy.
- Silvestri S., Biotto G., Furlan E., Valenti S. y Gobbo L., 2011. Application of multi-criteria statistical analyses to compute the probability of illegal dumps occurrence in the veneto plain (Italy). Regione del Veneto, Direzione Tutela dell'Ambiente and Magistrato alle Acque, Venezia, Italy.
- Silvestri S., Omri M. and Rosselli R., 2005. The use of Remote Sensing to map illegal dumps in the Veneto Plain. Regione del Veneto, Direzione Tutela dell'Ambiente and Magistrato alle Acque, Venezia Italy and Université Paris, ParisFrance. Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3-7 October 2005.
- Sistema de Información de Biodiversidad (SIB), 2005. Protocolo para el procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires, Argentina.
- Smith R. B., 2004. Introducción a la percepción remota del ambiente (PRA) CON TNTmips. TNTview, www.microimages.com. Traducido por ©MicroImages Inc., 29 Octubre 2004.
- Stumpf R., 1992. Remote sensing of water clarity and suspended sediments in coastal waters. Proceedings of the First Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and coastal Environments, Louisiana, USA.
- Suárez F., 1998. Que los recojan y arrojen fuera de la ciudad. Historias de la gestión de los residuos sólidos (las basuras) en Buenos Aires. Colección Investigación – Documento de trabajo N° 8. ICO - UNGS.
- Suárez F., 1999. Capítulo V: Residuos. En Di Pace y Reese, 1999.
- Suárez F., 2001. Presencia de residuos sólidos en la vía pública. En Borello y Catenazzi (2001).
- Suárez F., Iulita A. y Rodríguez M., 2009. Gestión de residuos, circuito ilegal. En Atlas Ambiental de Buenos Aires Atlas Ambiental de Buenos Aires.
- Subsecretaría de Medio Ambiente (SMA). 1981. Evaluación ambiental de los recursos hídricos del

Sistema Metropolitano Bonaerense. Ministerio de Salud Pública y Medio Ambiente, Buenos Aires.
Ulaby F., Moore R. y Fung A., 1982. Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Vol II-Radar Remote Sensing and Surface scattering and Emission Theory. Artech House, Norwood. Usa.
Yonezawa C., 2009. Possibility of Monitoring of Waste Disposal Site Using Satellite Imagery. School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, Japan. JIFS, 6:23-28.
Zamorano J., Ocello N., Irgazabal de Nistal A. y Cittadino A., 2008. Atlas de la Basura AMBA 2008. Convenio CIM-CEAMSE. Centro de Información Metropolitana. Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos Aires.

Páginas Web

- Aeroterra: www.aeroterra.com/d-argentnagraal.htm
- Atlas Ambiental de Buenos Aires (AABA): www.atlasdebuenosaires.gov.ar
- Autoridad de Cuenca Matanza y Riachuelo (ACUMAR): www.acumar.gov.ar
- Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE): ceamse.gov.ar
- Defensor del Pueblo de la Nación: www.defensor.gov.ar
- Defensoría de la Ciudad de Buenos Aires: www.defensoria.org.ar
- Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial (DPOUyT) de la Provincia de Buenos Aires: www.mosp.gba.gov.ar
- Infohabitat: www.infohabitat.com.ar
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): climayagua.inta.gob.ar, www.inta.gov.ar/consulta_historica_castelar-INTA.htm
- Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible de la provincia de Buenos Aires (OPDS): www.opds.gba.gov.ar
- U.S. Geological Survey (USGS) datos de hidrológica, cuencas y ríos, disponible en extract.cr.usgs.gov/
- Vecinos del Arroyo Darragueira: arroyodarragueira.blogspot.com.ar
- Tutiempo Network, S.L. : www.tutiempo.net

Diarios

- El Día, del 15 de diciembre de 1999. El 70% del suelo de La Plata está degradado.
- Página 12, del 20 de mayo de 2009. Clausura para un cementerio de autos.
- Clarin.com, del 18 de julio de 2009. Denuncia por contaminación en los cementerios de autos.
- La Nación, del 11 de julio de 2011. Desocuparán 40 cementerios de autos.
- www.perspectivasur.com, 14/09/2008
- www.tosqueras.com.ar, 20/10/2010
- tuverde.com, 07/06/2009;
- www.pagina12.com.ar, 20/05/2009

Anexos

Anexo 1. Historia de los sitios contaminados en el GBA

Los sitios contaminados han condicionado gran parte del proceso de urbanización del GBA, que a partir del siglo XIX se desarrollo a lo largo de las vías del ferrocarril, desde el puerto de la Ciudad de Buenos Aires hacia la periferia mayormente hacia el norte y oeste de la Ciudad. Y fue favorecido por la epidemia de fiebre amarilla en 1871 y la de cólera en 1867, por la cual las familias más adineradas huyeron hacia el norte del periurbano (actualmente los partidos de San Isidro, Vicente López y los barrios de Belgrano y Núñez). Como efecto la Ciudad fue provista de infraestructura (agua, cloacas y hospitales) que subsiste al día de hoy.

En esta etapa, los médicos “higienistas” relacionaron las epidemias con las condiciones sanitarias de la población, en particular los basurales como focos infecciosos de enfermedades. Por esto se relocalizaron las actividades insalubres como saladeril, la faena y la disposición final de residuos en los vaciaderos hacia el sur de la Ciudad (Suárez, 1998). Previo a las epidemias, los residuos eran arrojados en los cursos de agua o huecos en el área urbana.

A finales del siglo XIX los residuos eran trasladados en tren hacia el vaciadero Municipal cercano al Riachuelo (hoy Parque Almirante Brown), donde se realizaban actividad de recuperación por los “cirujas” y quema. Este último procedimiento se incrementó durante el siglo XX en el periurbano mientras que en la Ciudad se incineraba en las plantas del municipio (ubicadas en el Bajo Flores,

Nueva Pompeya y Chacarita) o en los incineradores internos de los edificios.

La falta de una gestión adecuada y el crecimiento poblacional del siglo XX generaron aumento de residuos, actividad de cirujeo y contaminación atmosférica por emanación de gases y hollín. Mientras tanto se acentuó la extensión del tejido urbano hacia la periferia, favorecido por la extensión de las vías del ferrocarril entre los años 1880-1914 para responder al modelo económico agro exportador. Y luego guiada por la política de sustitución de importaciones a través de la cual se desarrolló el sector industrial nacional fundamentalmente para la satisfacción de un nuevo mercado interno (Calello, 2000).

El crecimiento urbano fue en forma radial hacia la periferia, principalmente por los flujos migratorios en las áreas que rodeaban a la ciudad en asentamientos precarios, villas miseria³⁵ y las áreas rurales favorecidas por los loteos populares³⁶ a bajo precio y con infraestructura sanitaria deficiente (red de agua, cloacas, electricidad, etc.), servicios urbanos y transporte. Dicho crecimiento fue disminuyendo a finales de la década del '70 por la reducción de las migraciones, la cancelación de los subsidios para el desarrollo de viviendas y transportes por parte del Estado, la prohibición de la subdivisión de tierras en áreas sin infraestructura (Decreto Ley N° 8.912/79) y la desindustrialización del Área Metropolitana de Buenos Aires (Herrero et al., 2001).

Con respecto al tratamiento de los residuos, en el GBA "... donde no se aplicaba el método de incineración, comenzaron a formarse extensos basurales siguiendo la expansión urbana, el incremento de la localización industrial y el crecimiento de la población. Muchos se localizaron en tierras anegadizas de las cuencas de los ríos Matanza, Luján y Reconquista, junto a industrias y villas miserias. Otros surgieron aprovechando las cavas de ladrillos y tosqueras abandonadas" (Suárez et al., 2009).

Debido a los grandes problemas con los residuos y las epidemias que afectaron a la Ciudad, en 1978 se implementó el método de relleno sanitario como disposición final de residuos, actualmente en vigencia. Bajo Ley provincial n° 9.111 impulsada por el gobierno militar se creó el CEAMSE, compuesta por una Sociedad del Estado entre la provincia y la Ciudad, que tiene a su cargo la disposición final de los residuos de los municipios del GBA y en ese entonces Capital Federal (hoy Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

Actualmente el CEAMSE tiene dos rellenos activos (Norte y González Catán) y dos inactivos (Villa Domingo y Bancalari). Los primeros se encuentran localizados en áreas inundable entre 5 m y 10 m sobre el nivel del mar de los valles de los ríos Reconquista y Matanza respectivamente. Esta proximidad con los cursos fluviales hace que los lixiviados se incorporen también rápidamente a las aguas superficiales (Pereyra y Tchilinguirian, 2003).

En el año 1991 ante una nueva epidemia de cólera se pusieron en evidencia las insuficiencias del sistema de recolección de residuos, representadas en este período por la existencia de numerosos y extensos basurales a cielo abierto. Por lo cual el CEAMSE creó la Policía Ecológica e inició una fuerte campaña de saneamiento de basurales clandestinos, que sólo servían para limpiar lo que se volvería a cargar de residuos en el mismo sitio o en otro cercano (Suárez, 1998).

En esta década el crecimiento del ejido urbano deja de ser sobre las vías férreas debido a que se desactivaron varios trayectos para transportar pasajeros y comenzó sobre las extensiones de autopistas y rutas, con un nuevo gobierno que priorizó la privatización las mismas (con ensanche, construcción y mejoramiento de estos accesos) que beneficiaron a las clases con altos ingresos, que se alejaron de la Ciudad hacia la periferia, proceso que se repitió en el año 2002. Ese fue el caso de la construcción y ampliación de los accesos Norte y Oeste; la Autopista Buenos Aires - La Plata y la rehabilitación del Tren de la Costa, que favoreció el desarrollo de los partidos de Pilar, Escobar, Tigre, Moreno, General Rodríguez, Luján, Cañuelas, Ezeiza y Berazategui (Cicoella, 1999). Esto generó cambio en el uso del suelo, de áreas rurales o agropecuarias a urbanizaciones cerradas y emprendimientos de servicios y comercios; y con ello la extracción del suelo para la construcción de los caminos, terraplenes y rellenos de áreas inundables.

En el caso de los basurales durante el período 1993-1997 mayoritariamente se ubicaban en las márgenes del Río Reconquista, del Río Matanza-Riachuelo y del Río de la Plata; abarcando una

³⁵ Las villas miserias y asentamientos se caracterizan por ocupar terrenos públicos o privados que generalmente no tienen servicios básicos, son terrenos pocos aptos, las viviendas están construidas de materiales precarios, posee una alta densidad poblacional, buena localización en relación a los centros de producción y consumo (Cravino, 1998).

³⁶ El loteo popular fue el fraccionamiento de tierras destinadas para viviendas de los sectores de bajos ingresos.

superficie del 0.16% de las 388.500 hectáreas. Esta ocupación del suelo metropolitano no era homogénea sino que afectaba a San Fernando con el 1.22% y Avellaneda con 0.53%. Estos eran los partidos con mayor proporción del suelo transformado por basurales, mientras que La Plata sólo tenía el 0.01% y Berisso el 0.04% (Di Pace y Crojetovich, 1998). Al año 1995 existían entre 80 y 120 basurales clandestinos, cubriendo unas 500 ha localizados principalmente en los nuevos bordes del AMBA (Federico Sabaté, 1997).

La disposición de la basura en los rellenos sanitarios del CEAMSE del conjunto de los partidos del GBA tuvo una marcada estacionalidad en el periodo de 1993 a 1997 estudiado por Di Pace y Crojetovich (1998). En los meses de enero y febrero la disposición fue menor a raíz de la reducción de la producción de residuos relacionada con las vacaciones de los habitantes, con la reducción de la alimentación durante el verano y con una disminución de las actividades productivas en el periodo. La disposición aumentó con la reactivación del consumo y la producción en marzo, y en diciembre con las fiestas de fin de año. La serie histórica reflejó una caída económica en enero de 1997 cuando llegó a su punto más bajo desde febrero de 1993, aumentando en marzo-abril.

Al 2005 el 44% (15.000 toneladas diarias) del total de basura que se generó en el país fueron dispuestos en forma inadecuada, en basurales a cielo abierto o sitios que no cuentan con los controles mínimos requeridos para una adecuada preservación de la salud humana y del medio ambiente, cifras que remarcan la gravedad de la situación existente (ENGIRSU, 2005).

En este mismo año en el GBA se habían detectado 100 basurales clandestinos, que sumados a la CABA ocupaban una superficie cercana a las 500 hectáreas (Koutoudjian, 2005)

En el 2007 en el GBA se llegó a una situación crítica con la disposición final de los residuos, donde el CEAMSE identificó la existencia de 105 basurales ilegales con residuos de origen domiciliario e industrial en una superficie aproximada de 238 hectáreas o 2.380.000 m² (Scioli y Thomas, 2007).

Un año después se registraron sólo una centena en la Cuenca Matanza-Riachuelo, con actividad de cirujeo (70%), de residuos peligrosos (50%), con un total de 331 mil toneladas de residuos dispersos (FARN, 2008).

Todo esto generó la creación de diferentes programas de erradicación y control de los basurales, como el saneamiento y cierre de basurales a cielo abierto por parte del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la provincia de Buenos Aires (OPDS), la Autoridad de Cuenca Matanza y Riachuelo (ACUMAR), y a nivel nacional el PROSICO y la ENGIRSU de la SAyDS.

En el caso de las chatarreras, en la CABA existen numerosos depósitos que actualmente están para su clausura por pedido de la Defensoría del Pueblo de la Ciudad de Buenos Aires. Por ser posibles reservorios para la proliferación de larvas de mosquitos, en particular la especie *Aedes Aegypti* (vector del virus del dengue), y por contaminación por plomo provenientes de las baterías de los automóviles. En este último caso, se ha probado la contaminación y/o intoxicación por plomo en sangre de niños que habitan en asentamientos vecinos a los depósitos (actuación n° 5153/06 del 12 de enero de 2007 y actuaciones n° 5937/05 del 7 de junio de 2007 de la Defensoría del Pueblo de la Ciudad de Buenos Aires).

Anexo 2 - Causas y efectos

En la Figura 112 se presenta un esquema de árbol³⁷ de causas y efectos socio ambientales de los sitios contaminados o potencialmente contaminantes en el GBA. En la parte superior del árbol se describen las causas directas o indirectas que favorecen la generación de los sitios, como las actividades antrópicas legales o ilegales que lo generan (extracción de suelo, disposición de residuos y depósitos permanentes de vehículos en desuso), en el centro el o los problemas ambientales³⁸ y en la parte inferior sus efectos sobre la salud de la población y el ambiente.

³⁷El árbol de un esquema conceptual que permite representar de manera simplificada, las principales causas y efectos de las problemáticas ambientales, sociales o económicas.

³⁸Problema ambiental: son los desajustes de la relación entre la sociedad y el medio físico que ésta habita (transformado o no), que generan directa o indirectamente consecuencias negativas sobre la salud de la población presente y/o futura y sus actividades sociales; pueden impactar negativamente sobre los componentes de la flora y la fauna, y alterar las condiciones estéticas y sanitarias del ambiente (Di Pace y Reese, 1999).

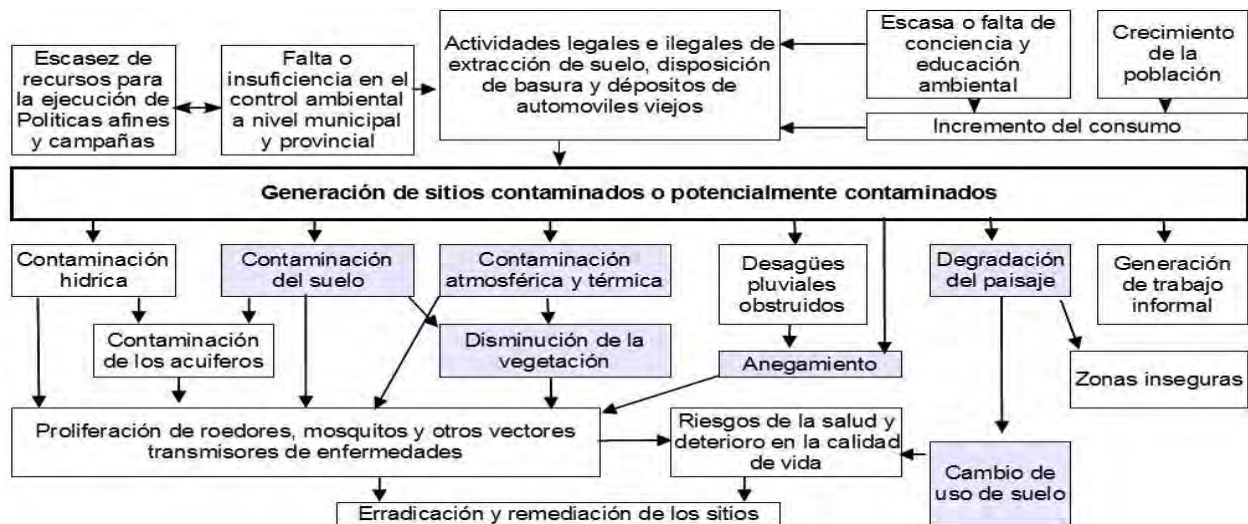


Figura 109. Árbol de causa y efectos. Elaboración propia.

Otras de las causas es la escasez o falta de recursos económicos para la ejecución de políticas, campañas de educación - concientización ambiental y control ambiental. En el caso de los basurales, según Suárez et al. (2009) la dinámica de aparición responde a dos motivos: el ahorro del costo de transporte que alienta a la disposición clandestina tanto por parte de distintos agentes del circuito formal como por los generadores (industrias, comercios, urbanizaciones cerradas, empresas recolectoras o algunas administraciones locales); y la falta y/o deficiencia en la recolección en algunos barrios del GBA que impulsan a los vecinos a deshacerse de esta manera de sus residuos. En cuanto a los principales problemas ambientales en la GBA la PNUD (2010) destaca:

- La contaminación hídrica por volcados clandestinos a la red pluvial, efluentes industriales y lixiviados de basurales a cielo abierto.
- La contaminación por relleno sanitario (más convivencia con población y actividades informales como el cirujeo).
- La contaminación del suelo por mineralización, impermeabilización, tratamiento de residuos.
- La degradación del suelo (decapitación y abandono de tierras de labranza).

Las tres primeras involucran a los residuos depositados en los basurales, ex basurales o rellenos sanitarios, cuyos lixiviados son volcados directa o indirectamente al recurso hídrico (agua superficial y subterránea), aumentando la carga orgánica y disminuyendo el oxígeno disuelto en el agua, necesario para la vida acuática o para consumo humano.

En el caso de las tosqueras o canteras de tosca, suelen excavar a gran profundidad ocasionando el anegamiento con aguas subterráneas luego de su abandono, lo que genera riesgo ambiental por el eventual ingreso de contaminantes al recurso hídrico subterráneo, ya que suele utilizárselas como basurales clandestinos ocasionales que desconocen la existencia de paredes verticales de varios metros de profundidad (Meconi et al., 2005).

Otro de los recursos afectados es el suelo, donde la contaminación o degradación impide (Morello y Rodríguez, 2001):

- La formación de suelos incluyendo la capacidad de descomposición de materia orgánica de los organismos del suelo.
- La capacidad de retención de agua, parte de la cual percola y alimenta el acuífero. El agua que no es retenida potencia las inundaciones.
- La capacidad de detoxificación, que implica la aptitud para transformar un compuesto tóxico en otro inofensivo, y la capacidad de la vegetación sobreyacente y del suelo de fijar nitrógeno y participar activamente en el ciclo de macronutrientes del fósforo y nitrógeno.

Otro efecto ambiental es la contaminación atmosférica, debido a la fermentación de la basura que genera gases invernaderos (como el dióxido de carbono y metano), mientras que la quema es una práctica habitual donde se producen éstos y otros gases (dioxinas, furanos y otros tóxicos) dependiendo de la toxicidad de la basura (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Esto genera un aumento de la temperatura sobre el entorno inmediato del sitio contaminado, que afecta a la vegetación debido a que disminuye la transpiración vegetal, la actividad fotosintética

generando estrés en la fisiología de las plantas (Byrne, 1979 en Ferrer-Vidal y Solé-Sugrañes). A esto se suma los gases de la quema de basura, intencional o no, que afecta las vías respiratorias y la visibilidad en los caminos adyacentes a basurales.

En cuanto a los riesgos en la salud, Cassano (1998) clasifica los riesgos en directos e indirectos. Los primeros, son ocasionados por el contacto directo de las personas con los residuos, que contienen excrementos humanos y de animales, vidrios y otros elementos peligrosos. Es el caso de la manipulación de recipientes inadecuados para el almacenamiento de desechos (bolsas de polietileno), al que están expuestos los recolectores formales e informales (cirujas) por carecer del equipo de seguridad apropiado como guantes, botas, casco y ropa. En el caso de los recolectores formales la más alta tasas de lesiones son en manos y pies, así como lastimaduras en la espalda, hernias, heridas, enfermedades respiratorias y en la piel. Mientras que la incidencia en los cirujas son los parásitos intestinales, debido a que se alimentan de restos “comestibles” de basura.

Las patologías broncopulmonares, los broncoespasmos, el asma, las enfermedades de la piel y los problemas intestinales son los trastornos mas frecuentes provocados por el contacto con los desechos (Defensoría del Pueblo de la Nación, 2007).

El segundo tipo de riesgo son los indirectos, la basura constituye el hábitat propicio para la reproducción de los vectores transmisores de enfermedades. Según Suárez et al. (2009) el nivel de peligrosidad está asociado al tipo y cantidad de residuos dispuestos, a la capacidad de biodegradación de los recursos ecológicos del ambiente -agua, aire, suelo- y al grado de vulnerabilidad social de la población por precariedad habitacional, manipulación de residuos en condiciones insalubres, etc.

Los animales que se alimentan en los basurales constituyen también factores peligrosos para la transmisión de enfermedades. Algunos ejemplos de vectores transmisores de organismos patógenos causantes de enfermedades son (Cassano, 1998):

- (e) Moscas (fiebre Tifoidea, Salmonelosis, disentería, diarrea infantil, gastroenteritis, infecciones intestinales).
- (f) Cucarachas (disentería, diarrea – lepra, intoxicación alimentaria).
- (g) Mosquitos (malaria, fiebre amarilla, dengue, encefalitis vírica, peste Bubónica Tifus Murino, Leptospirosis -enfermedad de Weil-).
- (h) Ratas (fiebre Harverhill, Rickettsiosis, Vesiculosa, Disenterías, rabia).

Según la SAyDS (2011) los basurales ilegales a cielo abierto son considerados la causa principal de más de doscientas enfermedades, tanto por contacto directo como indirecto.

En el caso de las chatarreras o “cementorios de vehículos automotor” también representan reservorios de los vectores transmisores descriptos en el párrafo anterior, y en los suelos puede infiltrarse el plomo proveniente de las baterías de los automóviles en desuso afectando en forma directa a los acuíferos (Defensoría del Pueblo de la Ciudad de Buenos Aires, 2007).

También las tosqueras generan riesgos de accidentes mortales a bañistas ocasionales que desconocen la existencia de paredes verticales de varios metros de profundidad (Meconi et al., 2005). Otro efecto es el cambio de uso de suelo con modificación de área natural, como el caso del mega emprendimiento urbano NorDelta en Tigre se produjo la iteración del paisaje natural sobre la Cuenca del Río Luján (DPOUyT, 2007). O la generación de nuevos relieves con amplitudes microtopográficas de hasta 20 m en áreas donde naturalmente no superaban 1 m con la construcción de celdas de deposición de basura de 4,8 m y más de altura en un paisaje inicialmente chato o las excavaciones de tosqueras (Morello, 2000).

Todos estos sitios contaminados además de generar un entorno de degradación ambiental modifican las condiciones sociales de la población que interactúa cotidianamente con esos sitios.

Suárez et al. (2009) indica que las propias condiciones de clandestinidad de los basurales crean un espacio urbano favorable para el desarrollo de actividades ilegales (robos, transacciones ilegales, etc.) donde la violación de la norma parte de la propia administración pública por acción u omisión. Producen en la ciudad una especie de “zona liberada” para el desarrollo de actividades ilegales o delictivas, es frecuente que en las crónicas policiales el hallazgo de cadáveres, autos robados tienen como escenario urbano los basurales clandestinos.

La localización de los basurales en el GBA es generalmente en terrenos fiscales, áreas degradadas y depreciadas por usos anteriores, como el caso de cavas o áreas inundables cercanas a cursos de aguas, cuyas crecientes se encargan de arrastrar los residuos aguas abajo (ENGIRSU, 2005). Es importante destacar que la primera amenaza natural del GBA son las inundaciones por lluvias,

sudestada o desborde, lo que puede potenciar los efectos de estos sitios contaminados. Otra ubicación es en los bordes de las vías de ferrocarril o rutas y en campos extensos donde anteriormente se realizaban prácticas agropecuarias, que al avanzar la trama urbana se incorporaron a la ciudad como receptores de residuos; los basurales también están asociados a barrios marginales que forman a partir de población de muy escasos recursos que vive con los residuos y de los residuos, recuperando material o bien brindando un servicio de recolección paralelo a vecinos donde la recolección oficial es deficitaria, y en las inmediaciones de estos basurales se observa la presencia de chatarrerías (Suárez et al., 2009). La trama social relacionada con la actividad del cirujeo reapareció a mediados de la década del 90, como consecuencia del aumento de los basurales (Suárez, 1998).

En cuanto a las medidas de recuperación o saneamiento de terrenos (que no abordan las prácticas ilegales de disposición y las deficiencias en el servicio de recolección) tienen un efecto de corto plazo ya que los motivos mencionados reintroducen constantemente el fenómeno de los basurales a cielo abierto (Suárez et al., 2009). En el caso de las tosqueras hay propuesta de creación de reservas naturales y/o educativas, como el sitio conocido como "La Tosquera" perteneciente a la guarnición militar de Campo de Mayo en el partido de Tigre (Proyecto de Ley, Honorable Cámara de Diputados de la Nación) en el GBA.

Anexo 3- Listado de imágenes Landsat 5

Fecha	Catálogo	Fecha	Catálogo	Fecha	Catálogo	Fecha	Catálogo
29/01/2001	CONAE	26/03/2004	CONAE	27/01/2006	CONAE	16/11/2008	CONAE
05/05/2001	CONAE	27/04/2004	INPE	12/02/2006	CONAE	04/02/2009	INPE
09/08/2001	CONAE	16/07/2004	INPE	17/04/2006	INPE	02/10/2009	INPE
10/09/2001	INPE	20/10/2004	INPE	22/07/2006	INPE	18/10/2009	CONAE
01/02/2002	INPE	23/12/2004	INPE	26/10/2006	INPE	03/11/2009	INPE
05/03/2002	CONAE	26/05/2005	CONAE	15/12/2006	CONAE	22/01/2010	INPE
27/07/2002	CONAE	19/07/2005	CONAE	14/01/2007	INPE	05/10/2010	CONAE
31/08/2003	INPE	08/11/2005	CONAE	06/05/2007	INPE	08/12/2010	INPE
03/11/2003	INPE	24/11/2005	USGS	23/06/2007	CONAE	26/02/2011	INPE
05/12/2003	CONAE	15/12/2005	CONAE	31/10/2008	INPE	14/03/2011	INPE
						21/08/2011	INPE

Anexo 4 - Reporte de separabilidad

	Suelo desnudo	Suelo con vegetación	Suelo	Aglomerado de media densidad	Cuerpos de agua	Relleno sanitario Norte III	Ex basurales	Relleno sanitario Villa Dominico	Basural	Vegetación	Pileta de lixiviados	Río de la Plata	Aglomerado de alta densidad	Total
Sin clasificar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelo desnudo	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56
Suelo con vegetación	0	56	0	0	0	0	3	0	9	0	0	0	0	68
Suelo	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
Aglomerado de media densidad	0	0	0	81	0	0	2	0	30	0	0	0	0	113
Cuerpos de agua	0	0	0	0	47	0	3	0	0	0	7	0	0	57
Relleno sanitario Norte III	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	51
Ex basurales	0	0	0	0	0	2	48	9	0	0	0	0	0	59
Relleno sanitario Villa Dominico	0	0	0	0	3	1	7	46	3	0	34	0	0	94
Basural	0	0	0	0	0	10	10	0	30	0	0	0	0	50
Vegetación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	64
Pileta de lixiviados	0	0	0	0	11	0	0	18	0	0	28	0	0	57
Río de la Plata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0	56
Aglomerado de alta densidad	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	63	68
Total	56	56	64	81	64	64	72	76	72	64	69	56	63	857

Tabla 27. Matriz de confusión, en base a una clasificación supervisada de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Clases	Errores (píxeles)			
	Comisión		Omisión	
Suelo desnudo	0	0 de 56	0	0 de 56
Suelo con vegetación	18	12 de 68	0	0 de 56
Suelo	0	0 de 64	0	0 de 64
Aglomerado de media densidad	28	32 de 113	0	0 de 81
Cuerpos de agua	18	10 de 57	27	17 de 64
Relleno sanitario Norte III	0	0 de 51	20	13 de 64
Ex basurales	19	11 de 59	33	24 de 72
Relleno sanitario Villa Dominico	51	48 de 94	39	30 de 76
Basural	40	20 de 50	58	42 de 72
Vegetación	0	0 de 64	0	0 de 64
Pileta de lixiviados	51	29 de 57	59	41 de 69
Río de la Plata	0	0 de 56	0	0 de 56
Aglomerado de alta densidad	7	5 de 68	0	0 de 63

Tabla 28. Errores de omisión y comisión, en base a una clasificación supervisada de la imagen Landsat 5 del 26 de febrero de 2011.

Overall Accuracy = (690/857) 80.5134%

Kappa Coefficient = 0.7886

Input File: I5tm2011-26febcalyT6calrecorteygeo

ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

suelo1 [Sea Green] 186 points:

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)

Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)

PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)

Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)

Basural1 [Red] 128 points: (1.9 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points: (1.9 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 2.0)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.9 1.9)

RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 2.0)

AguaconAlga [White] 64 points: (1.9 2.0)

LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 2.0)

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points:

suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points: (1.9 2.0)

Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)

PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (1.9 2.0)

Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)

Basural1 [Red] 128 points: (1.9 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points: (1.9 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 2.0)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.9 2.0)

RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 2.0)

AguaconAlga [White] 64 points: (1.9 2.0)

LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points:

suelo1 [Sea Green] 186 points: (2.0 2.0)

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)

Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)

PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)

Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)

Basural1 [Red] 128 points: (2.0 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points: (2.0 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (2.0 2.0)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (2.0 2.0)

RSNorteIII [Cyan] 181 points: (2.0 2.0)

AguaconAlga [White] 64 points: (2.0 2.0)

LagunaArtificial [White] 298 points: (2.0 2.0)

Río [Green2] 175 points:

suelo1 [Sea Green] 186 points: (2.0 2.0)

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (2.0 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)

PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)

Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)

Basural1 [Red] 128 points: (2.0 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points: (2.0 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (2.0 2.0)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (2.0 2.0)

RSNorteIII [Cyan] 181 points: (2.0 2.0)

AguaconAlga [White] 64 points: (2.0 2.0)

LagunaArtificial [White] 298 points: (2.0 2.0)

PiletaLixiviado [Maroon] 179 points:

suelo1 [Sea Green] 186 points: (2.0 2.0)

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)

Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)

Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)

Basural1 [Red] 128 points: (2.0 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points: (2.0 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.8 2.0)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (2.0 2.0)

RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 2.0)

AguaconAlga [White] 64 points: (1.8 1.9)

LagunaArtificial [White] 298 points: (1.8 1.9)

Vegetación [Coral] 188 points:

suelo1 [Sea Green] 186 points: (2.0 2.0)

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (2.0 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)

Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)

PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)

Basural1 [Red] 128 points: (1.9 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points: (1.9 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 2.0)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (2.0 2.0)

RSNorteIII [Cyan] 181 points: (2.0 2.0)

AguaconAlga [White] 64 points: (2.0 2.0)

LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 2.0)

Basural1 [Red] 128 points:

suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 2.0)

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)

RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)

Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)
 Vegetación [Coral] 188 points: (1.9 2.0)
 Basural2 [Green1] 72 points: (1.8 1.9)
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 1.9)
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.8 1.94)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 1.9)
 AguaconAlga [White] 64 points: (1.9 2.0)
 LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 2.0)

Basural2 [Green1] 72 points:
 suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 2.0)
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)
 RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)
 Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)
 Vegetación [Coral] 188 points: (1.9 2.0)
 Basural1 [Red] 128 points: (1.8 1.9)
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 2.0)
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.7 1.8)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 2.0)
 AguaconAlga [White] 64 points: (1.9 2.0)
 LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points:
 suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 2.0)
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)
 RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)
 Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (1.8 2.0)
 Vegetación [Coral] 188 points: (1.9 2.0)
 Basural1 [Red] 128 points: (1.9 1.9)
 Basural2 [Green1] 72 points: (1.9 2.0)
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.9 1.9)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.8 1.9)
 AguaconAlga [White] 64 points: (1.9 1.9)
 LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 1.9)

ExBasural2 [Cyan1] 70 points:
 suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 1.9)
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)
 RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)
 Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (2.0 2.0)
 Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)
 Basural1 [Red] 128 points: (1.8 1.9)
 Basural2 [Green1] 72 points: (1.7 1.8)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 1.9)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 1.9)
 AguaconAlga [White] 64 points: (1.9 2.0)
 LagunaArtificial [White] 298 points: (1.9 2.0)

RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.8 1.9)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.92 0)
 LagunaArtificial [White] 298 points: (1.8 1.9)

AguaconAlga [White] 64 points:
 suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 2.0)
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.9 2.0)
 RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)
 Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (1.8 1.9)
 Vegetación [Coral] 188 points: (2.0 2.0)
 Basural1 [Red] 128 points: (1.9 2.0)
 Basural2 [Green1] 72 points: (1.9 2.0)
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 1.9)
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.9 2.0)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 2.0)
 LagunaArtificial [White] 298 points: (1.8 1.9)

AguaconAlga [White] 64 points:
 suelo1 [Sea Green] 186 points: (1.9 2.0)
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points: (1.92 0)
 RepRoggero [Red1] 112 points: (2.0 2.0)
 Río [Green2] 175 points: (2.0 2.0)
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points: (1.8 1.9)
 Vegetación [Coral] 188 points: (1.9 2.0)
 Basural1 [Red] 128 points: (1.9 2.0)
 Basural2 [Green1] 72 points: (1.9 2.0)
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points: (1.9 1.9)
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points: (1.9 2.0)
 RSNorteIII [Cyan] 181 points: (1.9 2.0)
 AguaconAlga [White] 64 points: (1.8 1.9)

Pair Separation (least to most);

Basural2 [Green1] 72 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 1.7
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points and RSNorteIII [Cyan] 181 points - 1.8
 Basural1 [Red] 128 points and Basural2 [Green1] 72 points - 1.8
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 1.8
 Basural1 [Red] 128 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 1.8
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.8
 AguaconAlga [White] 64 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.8
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.8
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 1.9
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and Basural1 [Red] 128 points - 1.9
 Basural1 [Red] 128 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 1.9
 RSVillaDominico [Yellow2] 122 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 Basural2 [Green1] 72 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 1.9
 Basural1 [Red] 128 points and RSNorteIII [Cyan] 181 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 1.9
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points and RSNorteIII [Cyan] 181 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 Basural1 [Red] 128 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and RSNorteIII [Cyan] 181 points - 1.9

AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and PiletaLixiviado [Maroon] 179 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and Basural1 [Red] 128 points - 1.9
 Basural2 [Green1] 72 points and RSNortellIII [Cyan] 181 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and RepRoggero [Red1] 112 points - 1.9
 Basural1 [Red] 128 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and RSNortellIII [Cyan] 181 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and Basural2 [Green1] 72 points - 1.9
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and RSNortellIII [Cyan] 181 points - 1.9
 Vegetación [Coral] 188 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 Basural2 [Green1] 72 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 RSNortellIII [Cyan] 181 points and AguaconAlga [White] 64 points - 1.9
 Basural2 [Green1] 72 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 Vegetación [Coral] 188 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 1.9
 Vegetación [Coral] 188 points and Basural2 [Green1] 72 points - 1.99999862
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 1.9
 ExBasural2 [Cyan1] 70 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and Basural2 [Green1] 72 points - 1.9
 Vegetación [Coral] 188 points and Basural1 [Red] 128 points - 1.9
 RSNortellIII [Cyan] 181 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 1.9
 suelo1 [Sea Green] 186 points and AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points - 1.9
 Vegetación [Coral] 188 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 2.0
 Vegetación [Coral] 188 points and AguaconAlga [White] 64 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 2.0
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and Basural1 [Red] 128 points - 2.0
 Vegetación [Coral] 188 points and RSNortellIII [Cyan] 181 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and AguaconAlga [White] 64 points - 2.0
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and Vegetación [Coral] 188 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and RSNortellIII [Cyan] 181 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and Basural1 [Red] 128 points - 2.0
 suelo1 [Sea Green] 186 points and Vegetación [Coral] 188 points - 2.0
 AglomeradoUrbano [Sienna] 175 points and Río [Green2] 175 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and RSNortellIII [Cyan] 181 points - 2.0
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and Basural2 [Green1] 72 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and Basural2 [Green1] 72 points - 2.0
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 2.0
 suelo1 [Sea Green] 186 points and Río [Green2] 175 points - 2.0
 PiletaLixiviado [Maroon] 179 points and Vegetación [Coral] 188 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and Vegetación [Coral] 188 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and PiletaLixiviado [Maroon] 179 points - 2.0
 suelo1 [Sea Green] 186 points and RepRoggero [Red1] 112 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and AguaconAlga [White] 64 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and ExBasural2 [Cyan1] 70 points - 2.0
 RepRoggero [Red1] 112 points and Río [Green2] 175 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and LagunaArtificial [White] 298 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and PiletaLixiviado [Maroon] 179 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and Vegetación [Coral] 188 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and Basural1 [Red] 128 points - 2.0
 suelo1 [Sea Green] 186 points and PiletaLixiviado [Maroon] 179 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and Basural2 [Green1] 72 points - 2.0
 Río [Green2] 175 points and RSVillaDominico [Yellow2] 122 points - 2.0

Anexo 5 - Regresión logística binaria

a. Relaciones entre las variables independientes

Categorías

De la Tabla 31 se eligió una variable por cada uno de los siguientes grupos correlacionados:

- Industrias de 100 m, 300 m y 500 m.
- Barrios cerrados de 100 m y 300 m con Altitud menor a 10 m.
- Villas y asentamientos de 100 m y 300 m con Otros sitios contaminados de 100 m.
- Otros sitios contaminados de 100 m con FFCC de 100 m, altitud menor a 10 m y Avenidas y rutas de 100 m.
- Cursos de agua de 100 m y 300 m con FFCC de 100 m.
- FFCC de 100 m con Avenidas y rutas de 100 m y 300 m.
- Avenidas y rutas de 300 m con altitud menor a 100 m.

Las variables independientes seleccionadas fueron:

- Industrias a 500 m,
- Barrios cerrados a 300 m,
- Otros sitios contaminados de 100 m
- Cursos de agua a 300 m
- Avenidas y rutas de 300 m

Cuantitativas

Para facilitar el análisis se dividieron las variables en 4 grupos: sociales, índices, bandas y temperaturas. Se enlistaron los pares relacionados, se eligió una de las variables de cada par y se repitió el análisis hasta encontrar el conjunto de variables no relacionadas.

Sociales

Las variables Área (ha) y Densidad 2011 (hab/km²) no presentaron relación con el resto de las variables, mientras que Población 2011 (hab) - % Calles pavimentadas y Generación de basura (Tn) presentaron correlación, eligiéndose este último por presentar el valor de Pearson más bajo (Tabla 32).

Índices

Los pares relacionados fueron: Brillo – Humedad, Verdor – SAVI, Verdor – NSI, Verdor – NDVI, Humedad – SAVI, Humedad – NSI, SAVI – NSI, SAVI – NDVI, NSI- NDVI, NDVI – Brillo. Las variables no correlacionadas fueron Brillo y Verdor.

Bandas

Los pares relacionados fueron: B1-B2, B1-B3, B1-B7, B2-B3, B2-B7, B3-B7, B5-B7. Seleccionando una de las variables por par y repitiendo el análisis se obtuvo que las variables no correlacionadas fueron las bandas 4 y 7.

Temperaturas

Todas las bandas presentaron relación por la cual se eligió Temperatura media (C).

Finalmente, juntando los resultados anteriores se repitió el análisis (Tabla 33) obteniendo los siguientes pares relacionados: Area(ha) - Verdor, Area(ha) -Banda 4, Area(ha) - Banda 7, Densidad2011 (hab/km²) - Verdor, Densidad2011 (hab/km²) - Banda 4, Densidad2011 (hab/km²) - Banda 7, Brillo - Verdor, Brillo - Banda 7, Temperatura media (C) - Banda 4, Temperatura media (C) - Banda 7, Banda 4 - Banda 7.

Las variables numéricas sin relación fueron: Area(ha), Densidad2011 (hab/km²), Generación de basura (Tn), Brillo y Temperatura media (C).

b. Análisis bi-variantes entre la variable dependiente y las independientes

Categorías

De las 14 variables categóricas (Tabla 34) se excluyeron 3 por presentar independencia con la variable dependiente Sitio, obteniendo: Industrias a 300 m y 500 m, barrios cerrados a 100 m y 300 m, Villas y asentamientos a 100 y 300 m, cursos de agua a 100 m y 300 m, avenidas y rutas a 100 m y 300 m y altitud menor a 10 m.

Numéricas

Realizando la prueba de normalidad y la de igualdad de varianzas se obtuvieron que Brillo y Temperatura cumplieron con ambos requisitos mientras que Generación de basura (Tn) y Área(ha) con la de igualdad de varianzas. Estas dos últimas serán contempladas en la regresión logística dado que la normalidad no es un requisito excluyente pero si lo es la igualdad de varianzas por lo cual se excluyó Densidad2011 (hab/km²).

c. Regresión Logística

En base a Sitio (1= basural, 0= no_basural) y las 35 variables independientes se realizó la regresión logística binaria. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla de clasificación, en un paso inicial: el porcentaje de basurales clasificados en forma correcta fue de 50,8%, dicho valor no fue un buen valor de bondad de clasificación.

Variables de la ecuación, en un paso inicial: el valor de la prueba de Wald fue de 0,016 que indica que sólo un 1,6% de la variación de la variable dependiente es explicada por la constante en el modelo, su valor de significancia es mayor a 0,05 por lo cual incluirán a las variables independiente al modelo.

Variables que no están en la ecuación, en un paso inicial: las variables Área(ha), Brillo, Temperatura media (C) mostraron significancia menores a 0,05 por lo cual se asume que son de importancia para el modelo.

Pruebas ómnibus sobre los coeficientes del modelo: como la significación estadística fue menor a 0,05 se consideró que las variables independientes ingresadas mejoró el ajuste del modelo.

Resumen del modelo: en nuestro caso el valor de la R cuadrado de Cox y Snell fue de 0,477 que indica que sólo el 47,7% de la variación de la variable dependiente es explicada por las variables incluidas en el modelo.

Prueba de Hosmer y Lemeshow: el valor de significancia fue mayor 0,05 por lo cual se asume que el modelo logístico es un buen ajuste y los datos son aceptables.

Tabla de clasificación, en un segundo paso: el modelo tiene una especificidad (83,3%) y sensibilidad alta (83,9%), lo que permite clasificar bien a los basurales de los no_basurales. A nivel global los casos seleccionados fueron altos del 83,6%.

Variables en la ecuación, en un segundo paso: nuevamente se repitió la prueba de Wald obteniendo que las variables estadísticamente significativas para el modelo fueron Área(ha), Brillo y Temperatura media (C).

A fin de contrastar los resultados obtenidos se repitió el procedimiento con el método de inclusión por pasos hacia Adelante (forward), donde se fueron eliminando una a una las menos significativas. Las variables seleccionadas por ambos métodos coincidieron.

Antes de finalizar el análisis se ingresaron todas las variables estudiadas, incluidas aquellas que presentaron correlación y falta de normalidad, en una regresión logística con el método hacia Adelante, obteniendo que *Otros sitios contaminados* (100 m) también fue de importancia por lo cual se la incluyó.

En resumen, las variables incluidas en la ecuación logísticas fueron **Área(ha), Brillo, Temperatura media (C) y Otros sitios contaminados 100m.**

La primera presentó valores promedio de 1 ha para basurales y 3,5 ha para no_basurales, rango entre 0,02-2,3 ha y 2,0 a 6,2 ha además de muy buena separabilidad entre dichos grupos. Mientras que para el Brillo y la Temperatura la separabilidad entre los dos tipos de sitios fue baja, tomando rangos de 0,20 - 0,34 y 0,18 - 0,31 en reflectancia y 21 - 27°C y 20 - 25,5 °C respectivamente. En cuanto a la cercanía con otros sitios contaminados se encontró que el 30% de los basurales de referencia se encontraron a menos de 100 m a diferencia del 6% del no_basural.

En base a los coeficientes de la prueba de Wald se construyó la ecuación de regresión logística:

$$Y = 1 / \{1 + \exp(-15,376 - 0,53 * \text{Área(ha)} + 24,176 * \text{Brillo} + 0,468 * \text{Temperatura media(C)} + 2,337 * \text{Otros sitios contaminados(100 m)})\}$$

Los valores de $P(Y=\text{Basural})$ menores de 0,5 se clasificaron como Basural mientras que los mayores a dicho valor se correspondieron a No_basural.

Por ejemplo, para Sitio = 0 se consideró: Área(ha) = 1 ha, Brillo = 0,33, Temperatura media(C)=27°C y Otros sitios contaminados (100 m)=1 obteniendo $P(\text{Sitio}=0) = 1 / \{1 + \exp(-15,376 - 0,53 * 1 + 24,176 * 0,33 + 0,468 * 27 + 2,337 * 1)\} = 0,001$ que se clasificó como Basural.

Para Sitio=1 se consideró: Área(ha) = 5 ha, Brillo = 0,18, Temperatura media(C)=20°C y Otros sitios contaminados (100 m)=0 obteniendo $P(\text{Sitio}=1) = 1 / \{1 + \exp(-15,376 - 0,53 * 5 + 24,176 * 0,18 + 0,468 * 20 + 2,337 * 0)\} = 0,987$ que se clasificó como No_basural.

Finalmente, se validó el método tomando el 20% de las muestras con la ecuación anterior y se calculó el valor de Chi-Cuadrado cuyo valor de significancia fue de 0,37 lo que indicó que la validación y la estimación no estaban correlacionadas.

			Industrias			Barrios cerrados		Villas y asentamientos		otros sitios contaminados (100 m)	Cursos de agua		FFCC	Avenidas y rutas		Altitud menor a
			100 m	300 m	500 m	100 m	300 m	100 m	300 m		100 m	300 m	100 m	100 m	300 m	10 m
Industrias	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	7,383a	2,484a	0,741a	0,943a	0,490a	0,001a	0,215a	1,443a	0,115a	0,019a	2,070a	0,697a	0,095a
		Sig. (bilateral)		0,01	0,12	0,39	0,33	0,48	0,97	0,64	0,23	0,73	0,89	0,15	0,40	0,76
	300 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	33,868a	1,159a	1,475a	1,287a	3,325a	0,887a	2,748a	0,321a	3,266a	0,538a	2,760a	0,144a	
		Sig. (bilateral)		0,00	0,28	0,22	0,26	0,07	0,35	0,10	0,57	0,07	0,46	0,10	0,70	
	500 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	0,118a	0,404a	0,002a	0,066a	0,839a	2,178a	0,399a	0,895a	0,282a	1,474a	0,008a		
		Sig. (bilateral)		0,73	0,52	0,96	0,80	0,36	0,14	0,53	0,34	0,60	0,22	0,93		
Barrios cerrados	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	47,944a	0,077a	0,118a	0,913a	1,654a	2,777a	0,467a	2,247a	2,247a	5,271a			
		Sig. (bilateral)		0,00	0,78	0,73	0,34	0,20	0,10	0,49	0,13	0,13	0,02			
	300 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	0,000a	0,404a	1,068a	2,104a	0,854a	0,594a	1,068a	2,859a	5,271a				
		Sig. (bilateral)		0,98	0,52	0,30	0,15	0,36	0,44	0,30	0,09	0,02				
Villas y asentamientos	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	30,624a	12,310a	3,640a	4,673a	9,300a	0,001a	0,588a	0,004a					
		Sig. (bilateral)		0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,98	0,44	0,95					
	300 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	4,019a	2,178a	3,056a	13,642a	1,608a	0,258a	0,403a						
		Sig. (bilateral)		0,05	0,14	0,08	0,00	0,20	0,61	0,53						
Otros sitios contaminados	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	6,143a	8,284a	5,483a	4,863a	3,465a	2,074a							
		Sig. (bilateral)		0,01	0,00	0,02	0,03	0,06	0,15							
Cursos de agua	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	36,334a	4,983a	2,914a	1,666a	0,042a								
		Sig. (bilateral)		0,00	0,03	0,09	0,20	0,84								
	300 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	2,082a	4,710a	4,251a	0,011a									
		Sig. (bilateral)		0,15	0,03	0,04	0,92									
FFCC	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	1,393a	0,004a	0,002a										
		Sig. (bilateral)		0,24	0,95	0,97										
Avenidas y rutas	100 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	22,782a	0,011a											
		Sig. (bilateral)		0,00	0,92											
	300 m	Chi Cuadrado de Pearson	1	12,935a												
		Sig. (bilateral)		0,00												
Altitud menor a	10 m	Chi Cuadrado de Pearson	1													
		Sig. (bilateral)														

Tabla 29. Prueba de Chi-Cuadrado de las variables categóricas.

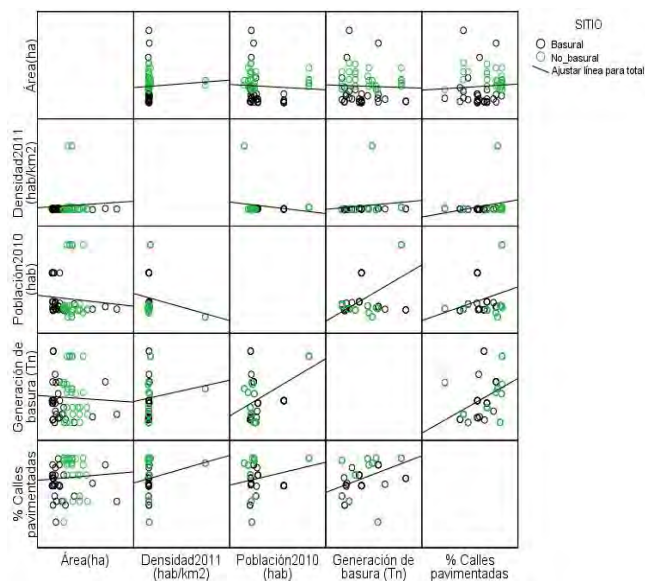


Figura 110. Diagrama de dispersión múltiple de puntos para el grupo Sociales.

Correlaciones		Área (ha)	Población 2011 (hab)	Generación de basura (Tn)	% Calles pavimentadas	Densidad 2011 (hab/km2)
Área (ha)	Correlación de Pearson		-0,071	-0,043	0,067	0,065
	Sig. (bilateral)	1	0,586	0,741	0,609	0,617
Población 2011 (hab)	Correlación de Pearson			0,530	0,259	-0,165
	Sig. (bilateral)		1	0,000	0,044	0,205
Generación de basura (Tn)	Correlación de Pearson				0,417	0,129
	Sig. (bilateral)			1	0,001	0,322
% Calles pavimentadas	Correlación de Pearson					0,200
	Sig. (bilateral)				1	0,115
Densidad 2011 (hab/km2)	Correlación de Pearson					
	Sig. (bilateral)					1
Total		62	62	62	62	62

Tabla 30. Coeficiente de Pearson para las variables sociales. Las celdas con negrita y sombreadas con color gris corresponden a las variables seleccionadas para la regresión logística



Figura 111. Diagrama de dispersión múltiple de puntos para el grupo Índices

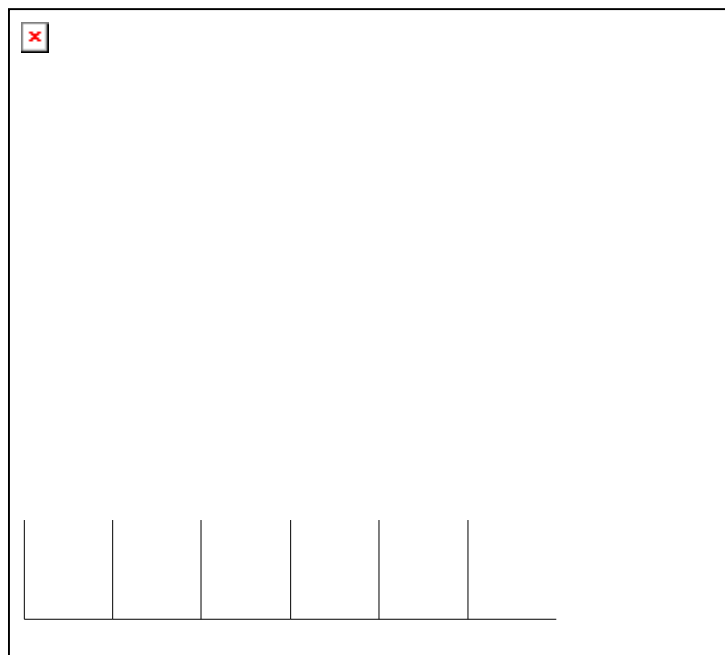


Figura 112. Diagrama de dispersión múltiple de puntos para el grupo Bandas.

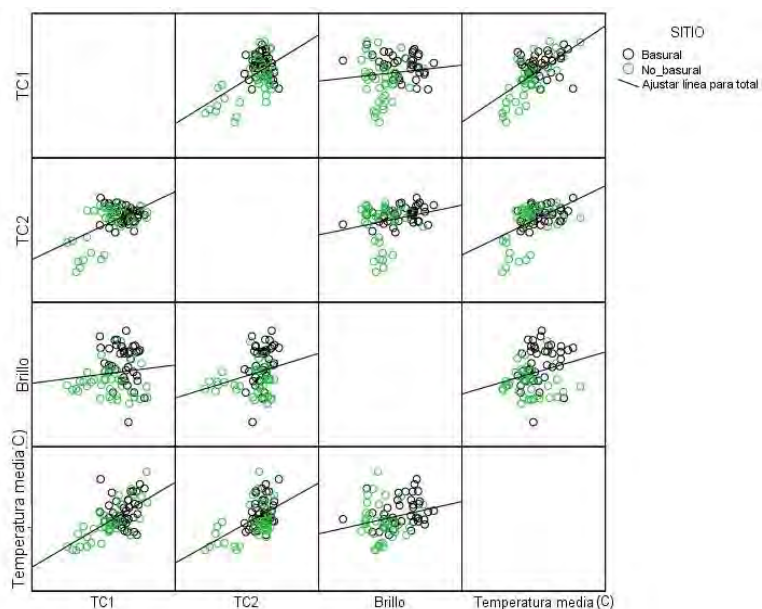


Figura 113. Diagrama de dispersión múltiple de puntos para el grupo Temperaturas.

Correlaciones		Temperatura media (C)	TC1	TC2	TC3
Temperatura media (C)	Correlación de Pearson		0,590	0,525	0,313
	Sig. (bilateral)	1	0,000	0,000	0,014
TC1	Correlación de Pearson			0,555	0,694
	Sig. (bilateral)	1		0,000	0,000
TC2	Correlación de Pearson				0,381
	Sig. (bilateral)			1	0,002
TC3	Correlación de Pearson				
	Sig. (bilateral)				1

Tabla 31. Coeficiente de Pearson para las variables temperatura.

Correlaciones		Área (ha)	Densidad2011 (hab/km2)	Generación de basura (Tn)	Brillo	Verdor	Temperatura media (C)	Banda 4	Banda 7
Área(ha)	Correlación de Pearson	1	0,065	-0,043	-0,120	0,307	0,001	0,285	-0,261
	Sig. (bilateral)		0,617	0,741	0,356	0,016	0,994	0,026	0,042
Densidad2011 (hab/km2)	Correlación de Pearson	1	0,129	-0,097	0,235	0,115	0,230	-0,202	
	Sig. (bilateral)		0,322	0,456	0,068	0,378	0,075	0,119	
Generación de basura (Tn)	Correlación de Pearson	1	-0,150	0,086	-0,136	0,068	-0,199		
	Sig. (bilateral)		0,249	0,510	0,296	0,604	0,124		
Brillo	Correlación de Pearson	1	-0,275	0,200	0,047	0,864			
	Sig. (bilateral)		0,032	0,060	0,721	0,000			
Verdor	Correlación de Pearson	1	-0,320	0,945	-0,701				
	Sig. (bilateral)		0,012	0,000	0,000				
Temperatura media (C)	Correlación de Pearson	1	-0,261	0,353					
	Sig. (bilateral)		0,042	0,005					
Banda 4	Correlación de Pearson	1	-0,446						
	Sig. (bilateral)		0,000						
Banda 7	Correlación de Pearson	1							

Tabla 31. Coeficiente de Pearson para las variables numéricas. Las celdas con negrita y sombreadas con color gris corresponden a las variables seleccionadas para la regresión logística.

Tabla de contingencia		Cercanía a													
		Industrias (100 m)		industrias (300 m)		industrias (500 m)		barrios cerrados (100 m)		barrios cerrados (300 m)		villas y asentamientos (100 m)		villas y asentamientos (300 m)	
		No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
SITIO	Basural (31 poligonos)	21	10	23	8	21	10	29	2	29	2	22	9	18	13
	No_basural (31 poligonos)	31	0	25	6	20	11	28	3	27	4	27	4	23	8
Total		52	10	48	14	41	21	57	5	56	6	49	13	41	21
Chi-cuadrado de Pearson		10,910 ^a		0,144 ^a		0,208 ^a		1,001 ^a		1,856 ^a		1,828 ^a		1,394 ^a	
p-valor		0,001		0,704		0,648		0,317		0,173		0,176		0,238	
Total de poligonos		62		62		62		62		62		62		62	

Tabla de contingencia		Cercanía a													
		otros sitios contaminados (100 m)		cursos de agua (100 m)		cursos de agua (300 m)		cursos a FCC (100 m)		avenidas y rutas (100 m)		avenidas y rutas (300 m)		Altitud menor a 10 m	
		No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si
SITIO	Basural (31 polígonos)	22	9	19	12	15	16	24	7	26	5	19	12	15	16
	No_basural (31 polígonos)	29	2	25	6	22	9	31	0	25	6	21	10	16	15
Total		51	11	44	18	37	25	55	7	51	11	40	22	31	31
Chi-cuadrado de Pearson		4,546 ^a		2,273 ^a		2,809 ^a		6,876 ^a		,403 ^a		,131 ^a		,016 ^a	
p-valor		0,033		0,132		0,094		0,009		0,525		0,717		0,525	

Tabla 32. Análisis bi-variantes entre la variable dependiente y las independientes Categóricas.

Pruebas de normalidad	Sitio	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.	F	Sig.
Área(ha)	Basural	0,31	0,00	0,60	0,00	3,7	0,06
	No basural	0,17	0,02	0,91	0,01		
Densidad2011 (hab/km2)	Basural	0,18	0,02	0,95	0,21	14,8	0,00
	No basural	0,50	0,00	0,38	0,00		
Generación de basura (Tn)	Basural	0,23	0,00	0,87	0,00	2,0	0,16
	No basural	0,17	0,02	0,88	0,00		
Brillo	Basural	0,18	0,01	0,92	0,02	3,4	0,07
	No basural	0,15	0,08	0,94	0,06		
Temperatura media (C)	Basural	0,11	0,20	0,96	0,32	0,0	0,85
	No basural	0,16	0,05	0,95	0,15		

Tabla 33. Variables en la ecuación en el primer paso de la regresión logística binaria con el método Introdudir.

	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
Constante	0,033	0,256	0,016	1,000	0,898	1,033

Tabla 34. Prueba de clasificación en el primer paso de la regresión logística binaria con el método Introdudir.

Observado	SITIO	Pronosticado					
		Casos seleccionados			Casos no seleccionados		
		SITIO		Porcentaje correcto	SITIO		Porcentaje correcto
		Basural	No_basural		Basural	No_basural	
SITIO	Basural	0	31	,0	0	0	.
	No_basural	0	31	100,0	0	0	.
Porcentaje global				50,8			.

Tabla 35. Variables en la ecuación en el primer paso de la regresión logística binaria con el método Introdudir.

Variables	Puntuación	Sig.
Área(ha)	10,011	0,002
Brillo	14,540	0,000
Temperatura media (C)	6,715	0,010
Industrias (500 m)	,208	0,648
barrios cerrados (300 m)	1,856	0,173
Cursos de agua (300 m)	2,809	0,094
Avenidas y rutas (300 m)	,131	0,717
Generación de basura (Tn)	1,622	0,203

Tabla 36. Variables que no están en la ecuación en el primer paso de la regresión logística binaria con el método Introdudir.

	Chi cuadrado	Sig.
Paso	39,531	0,000
Bloque	39,531	0,000
Modelo	39,531	0,000

Tabla 37. Pruebas ómnibus sobre los coeficientes del modelo en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Introducir.

R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
0,477	0,636

Tabla 38. Resumen del modelo en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Introducir.

Chi cuadrado	Sig.
4,846	0,774

Tabla 39. Prueba de Hosmer y Lemeshow en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Introducir.

Observado		Casos seleccionados ^b			Casos no seleccionados ^c		
		SITIO		Porcentaje correcto	SITIO		Porcentaje correcto
		Basural	No_basural		Basural	No_basural	
SITIO	Basural	26	5	83,3	0	0	.
	No_basural	6	26	83,9	0	0	.
Porcentaje global				83,6			.

Tabla 40. Tabla de clasificación en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Introducir.

Variable	B	Wald	Sig.
Área(ha)	0,604	8,733	0,003
Brillo	-2,469E+01	8,460	0,004
Temperatura media (C)	-7,078E-01	5,517	0,019
Industrias (500 m)	-1,442E+00	2,295	0,130
barrios cerrados (300 m)	-2,572E+00	1,500	0,221
Cursos de agua (300 m)	1,473	2,499	0,114
Avenidas y rutas (300 m)	0,932	1,047	0,306
Generación de basura (Tn)	1,144	0,951	0,330
Constante	21,573	7,969	0,005

Tabla 41. Variables en la ecuación en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Introducir.

	Variable	B	Wald	Sig.
Paso 1 ^a	Brillo	-23,998	12,061	0,001
	Constante	5,604	11,826	0,001
Paso 2 ^a	Área(ha)	0,433	7,158	0,007
	Brillo	-24,698	10,457	0,001
	Constante	4,603	6,783	0,009
Paso 3 ^a	Área(ha)	0,457	8,072	0,004
	Brillo	-22,944	8,698	0,003
	Temperatura media (C)	-0,428	3,977	0,046
	Constante	14,077	7,315	0,007

Tabla 42. Variables en la ecuación en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Adelante.

Variable	B	Wald	Sig.
Área(ha)	0,53	8,71	0,003
Brillo	-24,176	8,561	0,003
Temperatura media (C)	-0,468	4,196	0,041
Otros sitios contaminados (100 m)	-2,337	4,172	0,041
Constante	15,376	7,569	0,006

Tabla 43. Variables en la ecuación en el segundo paso de la regresión logística binaria con el método Introducir.