



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Mario Gulich"



Título de Tesis:

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE UN ÍNDICE DE INCIDENCIA
ANTRÓPICA EN LA CUENCA LA MATANZA RIACHUELO,
PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

Por Karina Paola QUAÍNI

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 CORDOBA

Octubre, 2011

©IG - CONAE/UNC 2011
© FaMAF - UNC 2011

Director:

Ing Gustavo Villa Uría

Director Ejecutivo

Autoridad de Cuenca La Matanza Riachuelo (ACUMAR)
CABA, Buenos Aires, Argentina.

Co-director:

Agr Gabriel Platzeck

Director del Instituto Gulich, CONAE
Falda del Cañete, Córdoba, Argentina.

Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	2
<u>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN, PROBLEMÁTICA, OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO</u>	5
Introducción	5
* Antecedentes	7
* Problemática	8
Objetivos	8
* Objetivo general	8
* Objetivos particulares	8
<u>ÁREA DE ESTUDIO</u>	10
Topografía y zonas inundables	10
Diseño del Cauce	11
Tributarios	11
Cuerpos de agua asociados	12
Delimitación de la cuenca	12
Partidos de la cuenca	14
Urbanización de la cuenca	15
<u>CAPÍTULO II. ÍNDICE DE INCIDENCIA ANTRÓPICA (IIA) EN LA CUENCA LA MATANZA-RIACHUELO</u>	17
Indicadores del índice	17
Metodología para obtención de las clases urbana y vegetada	20
Metodología para la identificación de cobertura urbana, vegetada y agua de imágenes Landsat	20
II-A Selección de escenas Landsat	21
II-B Pre-procesamiento	25
II-C Procesamiento: Clasificación de imágenes Landsat	28
II-D Post-clasificación: Cuantificación de coberturas en imágenes clasificadas	32
Resultados del preprocesamiento y procesamiento de imágenes Landsat	34
A. Resultados de la calibración	34
B. Resultados de la clasificación	34
C. Exactitud de la Clasificación	35
D. Comparación de clasificación hecha con MSS y TM:	37
E. Coberturas de las Clases	39
A. INDICADOR DEMOGRÁFICO	42
Población de la CMR en 2010	42
Breve historia de la CMR	42
Metodología: Población de la CMR	44
Datos de Censos Poblacionales de la CMR	44
Estimaciones de la población (N) en los partidos de la CMR	45
Cálculo de la población en el sector de la CMR	51
Cálculo del Indicador Demográfico (ID)	58
Resultados: Demografía de la Cuenca MR	61
A. Población actual	61
B. Proceso de poblamiento	65
C. Área edificada (urbana)	69
Área urbana 1976 - 2011	69

Estimación del área urbana antes de 1976.....	70
Indicador Demográfico (ID)	70
Conclusiones parciales: Demografía	72
B. INDICADOR DE VEGETACIÓN.....	73
Flora natural	74
Metodología para identificar la cobertura de vegetación.....	75
Resultados: vegetación de la CMR.....	78
Indicador de Vegetación (IV).....	80
Conclusiones parciales: Indicador de Vegetación.....	85
C. INDICADOR DE LA MODIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL CAUCE (IMDC).....	87
Línea de base del Diseño del cauce de la CMR	87
Metodología: Morfología del cauce de la CMR.....	88
Metodología de procesamiento del mapa para obtener el vector:.....	93
Resultados Diseño del Cauce	93
Antes del 1500.....	93
Fase 1500-1600	94
Fase 1600-1700	94
Fase 1700-1800	96
Fase 1800-1900	96
Indicador de Modificación del Diseño del Cauce (IMDC).....	101
Conclusiones parciales: Modificación del diseño del cauce.....	103
<u>CAPÍTULO III. SERIE TEMPORAL DEL ÍNDICE IIA DE LA CUENCA LA MATANZA-RIACHUELO.....</u>	<u>105</u>
Análisis Temporal del Índice IIA	105
Estado prístino ($IIA=0$)	107
Inicio de la transformación antrópica de la cuenca ($IIA > 0$).....	107
Tendencias futuras del índice IIA.....	109
Análisis Espacial de los Indicadores sobre el Índice IIA.....	111
Comparación entre sectores de la cuenca	111
Peso de los indicadores sobre el índice IIA	111
Importancia del IIA.....	112
Diagnóstico del grado de incidencia antrópica.....	112
Conclusiones parciales del índice IIA.....	114
<u>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</u>	<u>117</u>
Referencias bibliográficas	120
<u>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</u>	<u>122</u>
<u>GLOSARIO</u>	<u>123</u>
<u>APÉNDICE.....</u>	<u>124</u>

Resumen

La cuenca La Matanza-Riachuelo es un ecosistema históricamente afectado por la urbanización y algunos de sus sectores están muy alejados del estado natural. Se propone un Índice de Incidencia Antrópica evaluado tanto espacial como temporalmente, basado en tres indicadores (Demográfico, de Vegetación y del Diseño del cauce) que indirectamente reflejan el cambio del drenaje en la cuenca. La teledetección permitió evaluar espacial y temporalmente grandes áreas afectadas por la actividad antrópica. La cuenca baja es el sector de mayor incidencia antrópica, la alta la de menor y la media intermedia. La planificación del territorio es esencial para disminuir los niveles de incidencia antrópica.

PALABRAS CLAVES: Cuenca fluvial – historia - impacto antrópico – datos espaciales - imágenes satelitales – índice e indicadores ambientales – vegetación – área urbana – longitud cauce principal.

Abstract

La Matanza-Riachuelo basin has been historically affected by urbanization and certain sectors are far from its natural state. In this report is proposed an Anthropic Impact Index assessed both spatially and temporally, which are based on three indicators (Population, Vegetation and Modification of Channel Design indicators) which indirectly reflect the change in the drainage basin. Remote sensing techniques allows a temporal analysis of large areas affected by human activity. The downstream sector has suffered the greatest anthropogenic impact, the headwater the lower and intermediate impact in middle basin. Land use planning is essential to reduce the anthropogenic impact level.

KEY WORDS: River basin - history - anthropogenic impact – spatial data - satellite images - environmental indicators and indexes – vegetation – urban area- main channel length.

CAPÍTULO I. Introducción, problemática, objetivos y área de estudio

Introducción

En la actualidad, la perspectiva del manejo de cuencas no sólo se refiere al conocimiento, análisis y protección de los recursos hídricos; sino que también involucra la capacidad de los suelos, la vegetación, el relieve, el impacto de la población, la infraestructura civil para la producción sustentable de bienes y servicios. Cada vez es más frecuente y necesario correlacionar información del medio físico con información socio-económica, lo que permite no solamente realizar un diagnóstico completo de las condiciones naturales, sino también identificar las causas de su deterioro y elaborar pronósticos más reales sobre su evolución. De esta forma las cuencas se convierten en unidades lógicas para el planeamiento y la gestión de los recursos naturales.

La Cuenca La Matanza – Riachuelo (CMR) es sin duda uno de los sistemas hídricos de mayor interés para el país por el impacto ambiental que ha sufrido. Se encuentra ocupando parte de la Capital Federal (hoy CABA –Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y de 14 localidades de las de mayor densidad poblacional de la Argentina y por lo tanto es una cuenca que ha sufrido un gran impacto antrópico. Su curso es el más contaminado del país y ha sido calificado como uno de los treinta sitios más contaminados del mundo (WWF, 2011; INDEC, 2010; Maciel & Groisman, 2001).

Las intervenciones antrópicas en los ecosistemas fluviales son tan antiguas como el origen de la humanidad. Desde que el ser humano hizo su aparición en la tierra el recurso agua ha sido objeto de tenencia para su uso y disfrute. Tradicionalmente, se han utilizado los cursos fluviales y sus zonas de influencia para aprovechar los recursos que el ecosistema fluvial ofrecía. En los últimos siglos, la actividad humana ha propiciado cambios en los ecosistemas fluviales, en algunos casos irreversibles, quebrando la sostenibilidad del medio natural. El resultado es que algunos elementos vitales del ecosistema fluvial han sabido adaptarse y sobrevivir pero, por el camino, numerosas especies animales y vegetales han desaparecido, para siempre.

Casi todas las economías desarrolladas consumen recursos naturales de forma ambientalmente insostenible. La mayoría de los países en desarrollo con rápido crecimiento de la población enfrentan la urgente necesidad de mejorar los niveles de vida (Hinrichsen, 2000). En la CMR los cambios naturales se vieron acelerados por la transformación social que impuso el desarrollo de actividades antrópicas no planificadas en los últimos 200 años.

Actualmente la cuenca MR es una zona muy castigada a raíz de la no planificación en el ordenamiento del territorio, un alto nivel de áreas industrializadas y de grandes conglomerados urbanos y asentamientos precarios. Algunos de los partidos que abarca la cuenca son los más densamente poblados del país y con el agravante que poseen un elevado índice NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas), es decir con problemas a nivel vivienda, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo, lo que conllevó a que la cuenca presente en la actualidad un alto grado de deterioro del medio natural y la disminución de la calidad de vida de sus habitantes (Defensor del Pueblo de la Nación *et al*, 2003).

La degradación de la cuenca es el resultado de un proceso de desarrollo no planificado que trajo a su vez como consecuencia un crecimiento urbano incompatible

con su entorno inmediato, desde el establecimiento de las primeras poblaciones hasta la actualidad.

Las variables que han determinado la situación presente a través de la historia pueden agruparse en cuatro aspectos que se articulan entre sí (ACUMAR, 2006):

- Sociales: la ocupación desordenada del espacio físico, sin planificación, y en muchos casos en condiciones de desigualdad y marginalidad, ha llevado a la radicación de asentamientos en áreas inadecuadas con riesgo de inundación y con pocas posibilidades de intervención sanitaria.
- Económicas: las distintas coyunturas y escenarios internos y externos han determinado en muchos casos la imposibilidad de realizar a tiempo las inversiones necesarias en infraestructura, tanto del sector privado como estatal.
- Ambientales: en la toma de decisiones no se han tenido en cuenta las particularidades ambientales de la región, lo cual vulneró la relación ecológica en el sistema urbano entre el hombre y su entorno.
- Institucionales: la falta de articulación entre las jurisdicciones con competencias en el territorio y la inexistencia de un ámbito para la toma de decisiones a nivel de cuenca, impidió la planificación ordenada de acciones, generando la atomización de las acciones de fiscalización y control. Como consecuencia de esta situación, toda política de acciones correctivas se ha visto inhibida y cercenada (PISA, 2010).

El estado ambiental actual de la cuenca no se reduce solo a la contaminación de las aguas, sino que implica la degradación en un sentido amplio, lo que impacta de manera directa sobre más de 8 millones de personas que habitan en ella (total en los municipios de la cuenca) (ACUMAR, 2010; INDEC, 2010), lo cual evidencia la dimensión social que la problemática presenta.

Dentro de las consecuencias del crecimiento urbano progresivo está el reemplazo de ambientes naturales por coberturas como la agrícola y pavimentaciones que modifican la capacidad de absorción proveniente de las precipitaciones y por lo tanto, cambian las características del drenaje natural que presentaba originalmente la cuenca.

El reemplazo de cobertura vegetal natural por área pavimentada o por vegetación alóctona al ecosistema fluvial resulta en la degradación del ecosistema desde el punto de vista ecológico y de un cambio del drenaje natural desde el punto de vista hidrológico, porque la vegetación natural está adaptada a absorber grandes volúmenes de agua. Además, la rectificación del río también afectó el drenaje fluvial.

Para comprender el estado de la cuenca en la actualidad se requiere realizar un abordaje de algunas variables a través del tiempo, para comprender su estado actual, creyendo que es necesario estudiar la historia de la cuenca desde sus orígenes para comprender con mayor seguridad las épocas más recientes y vislumbrar lo que será su futuro.

La calidad ambiental urbana está definida con un conjunto complejo de factores humanos y ambientales interrelacionados (infraestructura, densidad poblacional, presencia de áreas verdes, calidad del aire y del agua, islas de calor, entre otros) que inciden favorable o desfavorablemente en la vida de los ciudadanos (Nichol & Wong, 2005). La expresión y distribución espacial y temporal de estos factores en las ciudades no es homogénea y demanda, para su adecuada gestión y planificación, información que refleje las diferencias temáticas en el espacio y en el tiempo. Disponer de esta información no siempre es posible en las condiciones de los países en desarrollo, dado los altos costos de adquisición por medio de métodos censales. Combinando los datos espaciales derivados de las imágenes satelitales y aquellos adquiridos adecuadamente mediante censos, se pueden construir sistemas de indicadores ambientales más eficientes a más bajo costo para la toma de decisiones (Santana Rodríguez et al, 2010).

Los enfoques actuales de gestión y conservación se basan en que los ecosistemas con mayor integridad o con mayor salud ecológica tienen una mayor capacidad de resistir a las perturbaciones (resiliencia). La importancia de la conservación de la

estructura y del funcionamiento de los ecosistemas se hace más patente cuando se reconoce su papel imprescindible para la provisión de servicios a la sociedad. Esto hace referencia al deseo de la integración entre el ambiente natural y urbano de forma sustentable, es decir, con un desarrollo económicamente productivo pero asegurando el mantenimiento de la integridad del ecosistema. A su vez, los organismos de gestión y control de los recursos naturales encaran cada vez más la planificación desde un aspecto cuantitativo, cualitativo y desde un enfoque sistémico (Bianucci et al, 2005)

Para la planificación se requiere de datos que caractericen la realidad del sistema de manera concisa y concreta y con un método de análisis que sea objetivo: es decir una herramienta que sea objetiva, representativa, sencilla y practicable, que permita reproducir y comparar situaciones y escenarios.

La teleobservación constituye una tecnología de vanguardia que permite evaluar, delimitar y monitorear el estado y condición de los recursos naturales en zonas inaccesibles e inexploradas, en el pasado y en el presente. Las imágenes obtenidas por los satélites permiten la obtención, medición y registro de información a distancia y ofrecen una cobertura global y periódica de la superficie terrestre con una visión panorámica y homogeneidad en la toma de datos, y el uso de las imágenes de radar permiten además obtener esta información cuando hay cobertura de nubes y con alta resolución espacial (Chuvieco, 2002). De esta forma, el procesamiento digital de las imágenes permite apoyar, de manera más ágil y fiable, los procesos de toma de decisiones en la planificación y gestión ambiental urbana (Wilson et al, 2003), mediante la generación de indicadores ambientales (Santana Rodríguez et al, 2010). Además, los avances indican una tendencia en aumento del papel protagonista de la teledetección como herramienta indispensable en este tipo de trabajos para la obtención de datos biofísicos del medio (Chuvieco, 2007).

La serie de satélites Landsat provee el registro más largo y continuo de observación basado en imágenes satelitales. De esta forma, Landsat representa un recurso invaluable para monitorear el cambio en un determinado lugar y es el primer recurso de observación de la Tierra de resolución media para la toma de decisiones (Cohen & Goward, 2004; Chander et al, 2009).

*** Antecedentes**

En la revisión de la literatura especializada se encuentran múltiples trabajos sobre el ambiente urbano empleando indicadores temáticos derivados de imágenes de sensores remotos. La mayoría de ellos orientados principalmente a: 1) la determinación y caracterización de clima e islas de calor urbano –UHI-, 2) clasificación de uso del suelo, 3) crecimiento urbano, 4) densidad poblacional y 5) evaluación de calidad y sostenibilidad ambientales (Santana Rodríguez et al, 2010).

Aunque en los últimos años se han desarrollado multitud de índices que utilizan diversas especies de animales acuáticos para determinar la calidad de las aguas continentales (Eyre & Rushton, 1989), son muy pocos los trabajos que han desarrollado índices específicos que permitan conocer el estado de conservación o grado de naturalidad de dichos ecosistemas acuáticos (Sánchez-Fernández et al, 2004).

La revisión bibliográfica evidencia el inicio de trabajos que integran distintos indicadores de aspectos ambientales derivados de las imágenes satelitales para crear índices sintéticos que expliquen la complejidad espacial de la calidad ambiental urbana (Santana Rodríguez et al, 2010).

Por otro lado, considerando la información censal, los estudios de calidad ambiental urbana son escasos; por ejemplo, Escobar (2006) propuso un modelo de indicadores sintéticos de calidad ambiental para grandes zonas urbanas, construido a partir de información colectada a nivel de distrito o barrio y los agrupó de acuerdo a condiciones ambientales similares de acuerdo al índice de calidad ambiental estimado realizado a partir de un análisis multivariado (Santana Rodríguez et al, 2010).

*** Problemática**

En el caso de la complejidad de la CMR y teniendo en cuenta las propuestas prospectivas de mejoramiento del sistema hídrico integrado se hace necesario encarar estudios histórico-descriptivos para entender el origen de la problemática y así decidir por propuestas que lleven a beneficios a largo plazo.

La Autoridad de Cuenca La Matanza-Riachuelo (ACUMAR) expresa la necesidad de disponer de un análisis espacio-temporal para contribuir a un conocimiento más profundo del sistema. Además, surge la importancia de generar una medida cuali-cuantitativa de la incidencia antrópica que ha sufrido el sistema natural por más de 200 años, y así ser capaz de predecir dicho comportamiento a futuro según el aumento de la presión urbana.

De la escasa disponibilidad de datos históricos surge la delimitación del estudio de la evolución temporal de variables que describen el cambio de coberturas del suelo y el cambio de la longitud del cauce principal de la cuenca, derivando en variables que indican el cambio del drenaje de la cuenca.

La falta de imágenes históricas de alta resolución espacial principalmente en periodos pasados hace necesario delimitar el estudio en base a imágenes de media resolución.

Objetivos

*** Objetivo general**

El presente trabajo tiene por objetivo general realizar un análisis espacio-temporal del impacto que el hombre ha tenido sobre la CMR y generar un índice de la incidencia antrópica que permita reflejar de forma sencilla la evolución de ciertos aspectos del drenaje.

Se pretende así identificar los sectores de la cuenca que a través de la historia han sido los más afectados por acciones antrópicas y lograr reconocer áreas donde priorizar los esfuerzos para reconstituir y preservar el sistema hídrico. Además, se pretende conocer las tendencias de la dinámica de transformación en un futuro.

*** Objetivos particulares**

Estudiar la distribución espacial del impacto que el hombre ha tenido sobre la CMR y reconocer áreas donde priorizar los esfuerzos para reconstituir y preservar el sistema hídrico.

Estudiar temporalmente la incidencia del hombre en la CMR, desde los primeros asentamientos hasta la actualidad (2011) e identificar los sectores de la cuenca que a través de la historia han sido los más afectados por acciones antrópicas.

Identificar los factores que afectaron con mayor intensidad las características naturales de drenaje del sistema CMR.

Definir y estudiar un índice que refleje las características de drenaje superficial de la cuenca y que en el análisis temporal revele el alejamiento de su condición de drenaje natural.

Reconocer las tendencias de la dinámica de transformación de la CMR en un futuro predecir el comportamiento de la CMR en base a las medidas que se implementen.

Para esto se propone desarrollar e implementar un método para estimar un Índice de Incidencia Antrópica (IIA) a nivel de los tres sectores de la cuenca (bajo, medio y alto) y también su dinámica en el tiempo, empleando tres indicadores socio-ambientales derivados de la combinación de datos de sensores remotos y censos in situ:

→ demografía

→ cobertura vegetal

→ diseño del cauce (en meandros - rectificado)

Los tres indicadores están relacionados al drenaje de la cuenca, ya que el primero contempla el área edificada y por lo tanto representa una medida de la impermeabilización del suelo, el indicador de vegetación está relacionado a una menor retención del agua por reemplazo de la vegetación autóctona por otra cobertura de menor retención de agua, y el tercer indicador, es una medida del aumento de la velocidad de flujo por acortamiento del cauce principal.

En base a la literatura consultada se consideran variables claves que afectaron la cuenca, principalmente relacionada a su drenaje, a lo largo del tiempo.

Para realizar esta tarea se utilizarán diversos datos espaciales como imágenes de media resolución (provenientes de la serie de satélites Landsat) y alta resolución (Ikonos), mapas antiguos e información censal.

Se pretende generar un índice de la incidencia antrópica que permita reflejar de forma sencilla la evolución de ciertos aspectos de drenaje de la cuenca destacando la transformación de origen antrópica a través del tiempo y así predecir su comportamiento en base a las medidas que se implementen.

Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo corresponde a la **cuenca La Matanza-Riachuelo**, llamado río **La Matanza** en la mayor parte de su recorrido, desde la cabecera hasta el límite con la CABA y con el nombre de **Riachuelo**, desde este punto hasta su desembocadura.

La cuenca La Matanza-Riachuelo (CMR) se ubica al Este de Argentina y al NE de la provincia de Buenos Aires (Figura 1).

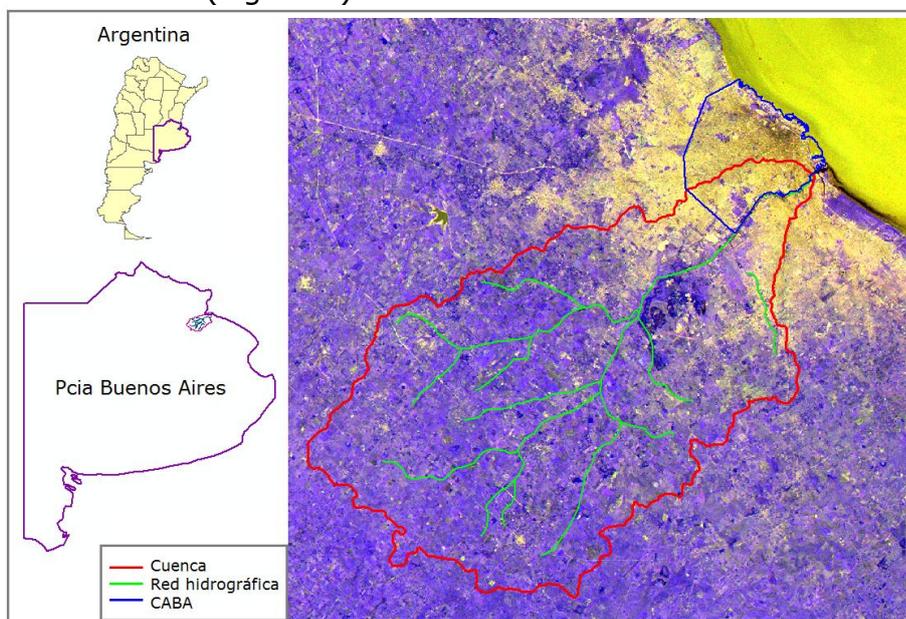


Figura 1 Ubicación de la cuenca Matanza Riachuelo

Está limitada por la cuenca de los ríos Reconquista, Salado y Samborombón y por la de los arroyos Maciel y Pereyra y con el Río de la Plata (Figura 2) (ACUMAR, 2006).

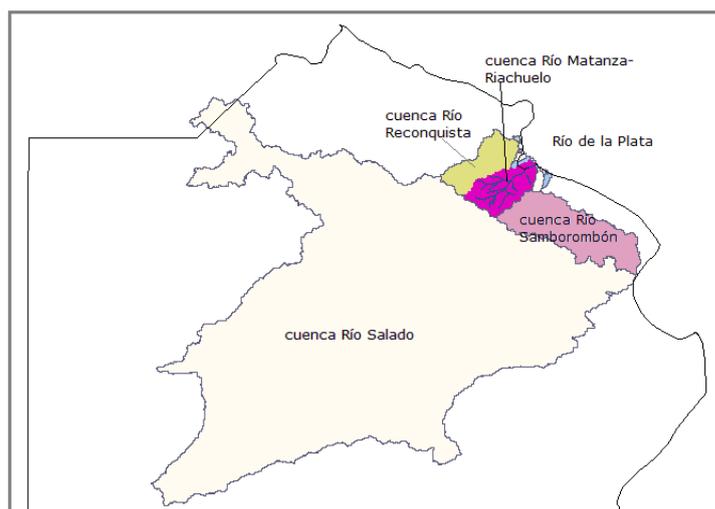


Figura 2 Cuencas aledañas a la cuenca en estudio.

Topografía y zonas inundables

La cuenca se desarrolla por debajo de los 35 msnm, en un paisaje de llanura, ligeramente ondulado y de reducida pendiente. Sus rasgos topográficos dominantes describen tres zonas definidas: llanura alta, llanura intermedia y llanura baja

La cota máxima y mínima son 38 msnm y 3 msnm, respectivamente, en el sistema de referencia del Instituto Geográfico Militar.

El MR es un río de llanura y como es característico de este tipo, se encuentra en una región llana, con cursos cortos, de escaso caudal permanente, con recorridos irregulares y amplios valles de inundación.

El valle se puede dividir en dos sectores: el fondo del valle y las barrancas que lo limitan a ambos lados (Figura 3). El fondo del valle ocupa un área baja, anegadiza con una cota que comienza a aproximadamente 5 msnm para ubicarse a nivel del mar en su cota más baja. Actualmente gran parte de ella ha sido urbanizada y rellenada con diferentes tipos de materiales. Debido a ello los rasgos originales del paisaje fluvial ya no se observan. Las barrancas son pendientes que las separan de los terrenos altos donde las cotas alcanzan valores de 20 a 25 msnm.

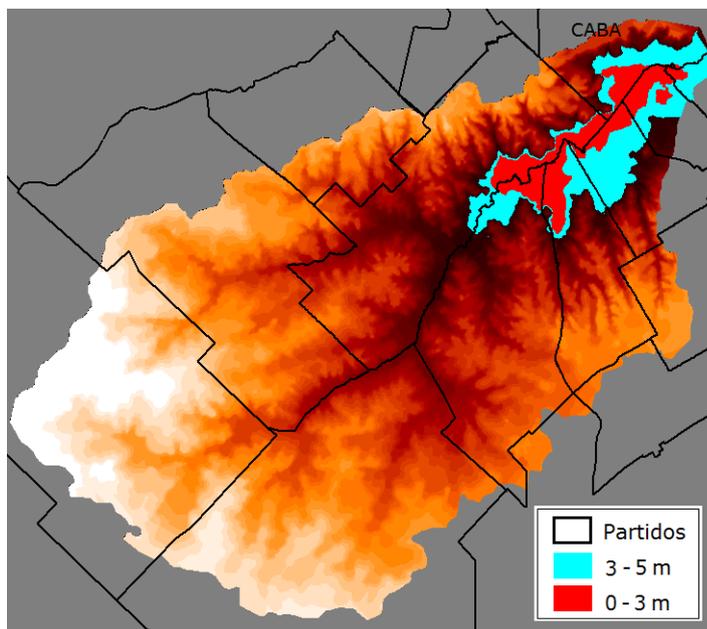


Figura 3 DEM de las zonas inundables de la cuenca MR.

El Parque Lezama o al sur de la estación Constitución se puede observar la antigua barranca de la margen norte del valle del Riachuelo. Las mismas han sido perfiladas y en parte suavizadas como resultado de la urbanización (CAU, 2010).

Previamente a la urbanización, el fondo del valle del Riachuelo era una zona anegadiza, inundada ya sea por las sudestadas como por las inundaciones del mismo Río.

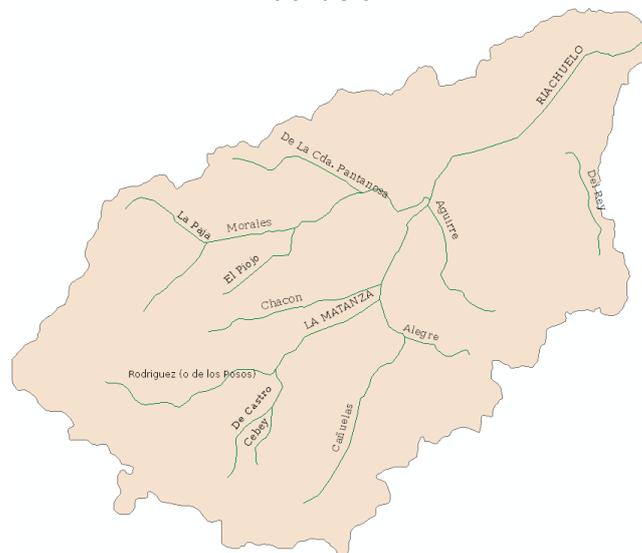
Diseño del Cauce

El Riachuelo poseía una alta sinuosidad, debida a su muy baja pendiente y a la interacción con el Río de La Plata; luego este tramo fue rectificado. En esta zona la planicie aluvial tiene un ancho de 6 km y en ella habitan más de 500.000 personas, incluyendo sectores de la CABA y del Gran Buenos Aires (Kreimer et al, 2001).

Tributarios

La cuenca está formada por 232 afluentes que descargan sus aguas en el Río La Matanza, pero los que dan origen al sistema son los arroyos Rodríguez (o de los Pozos), Morales y Cañuelas (Nápoli, 2009) (Figura 4). Todos estos cursos de agua se encuentran altamente contaminados.

Figura 4 Tributarios del río La Matanza-Riachuelo.



Cuerpos de agua asociados

La cuenca presenta pequeños cuerpos de agua estancos temporarios y no muy numerosos, situados en las divisorias de aguas de las subcuencas donde la red de drenaje es más pobre. En algunos casos, su origen puede estar relacionado con afloramientos de la napa freática pero, en su mayoría, se trata de aguas residuales almacenadas superficialmente, retenidas por la menor permeabilidad del fondo de las hondonadas como consecuencia de la deposición de sedimentos más finos (Kreimer et al, 2001).

Delimitación de la cuenca

El límite de la cuenca fue delimitada por ACUMAR a partir de curvas de nivel de cartas IGM, imágenes Ikonos (1m resolución espacial) y datos observados en el terreno, siguiendo el criterio de la divisoria de aguas (ver glosario) pero además algunos criterios político estratégicos de las jurisdicciones que incluye la cuenca y además, teniendo en cuenta no sólo la traza hidrológica superficial sino también las redes subterráneas.

En este trabajo se delimitó la cuenca usando solamente el criterio de la divisoria de aguas utilizando el DEM de ASTER (píxel: 30m) con la herramienta ArchHydro® (Figura 5).

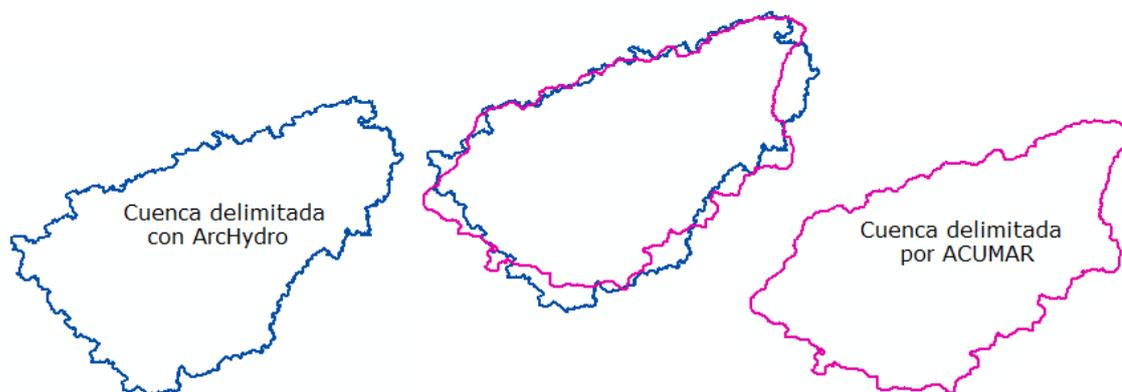


Figura 5 Delimitación de la cuenca con DEM de ASTER usando ArchHydro (a la izquierda) y delimitada por ACUMAR (a la derecha).

La longitud máxima de la cuenca es de unos 72 km y el ancho máximo de 42km.

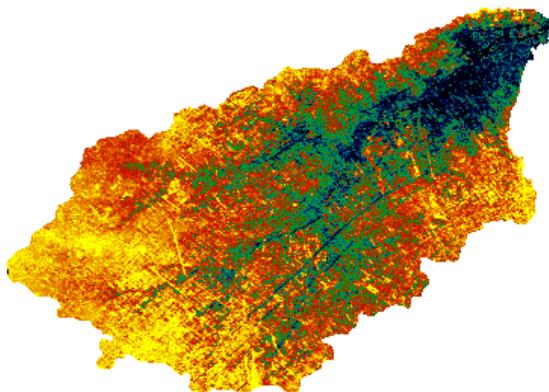


Figura 6 DEM (ASTER)

Dado que el DEM construido a partir de los datos de radar de ASTER mostraba los niveles de los edificios en lugar del del suelo en las zonas urbanizadas (

Figura 6), se optó por reconstruirlo a partir de las curvas de nivel del IGM (Figura 7 y Figura 8).

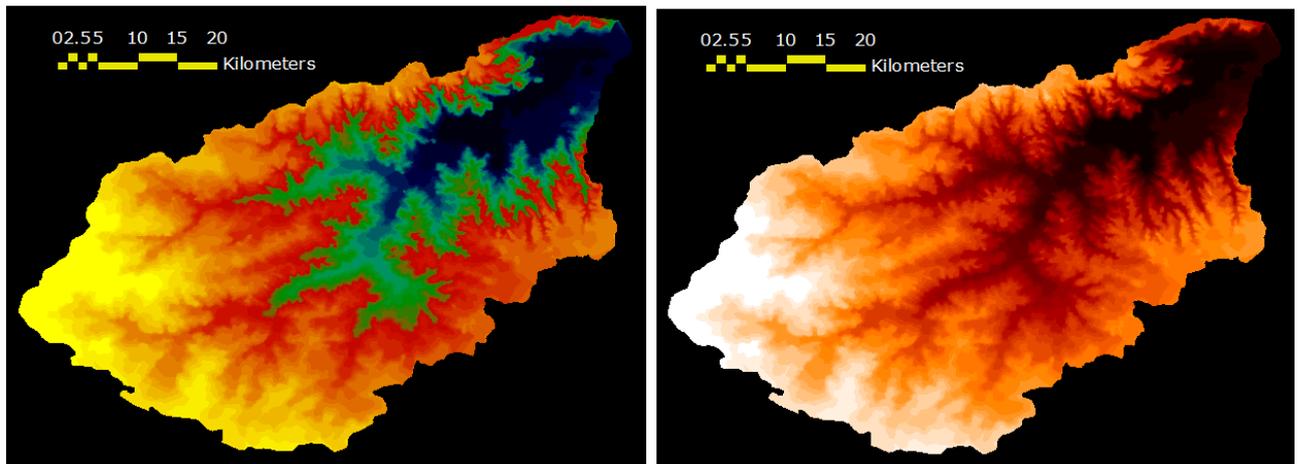


Figura 7 DEM (izq) de la CMR obtenido con las curvas de nivel (der) por interpolación lineal de puntos. En la imagen del DEM se visualiza en verde el límite de la Capital Federal.

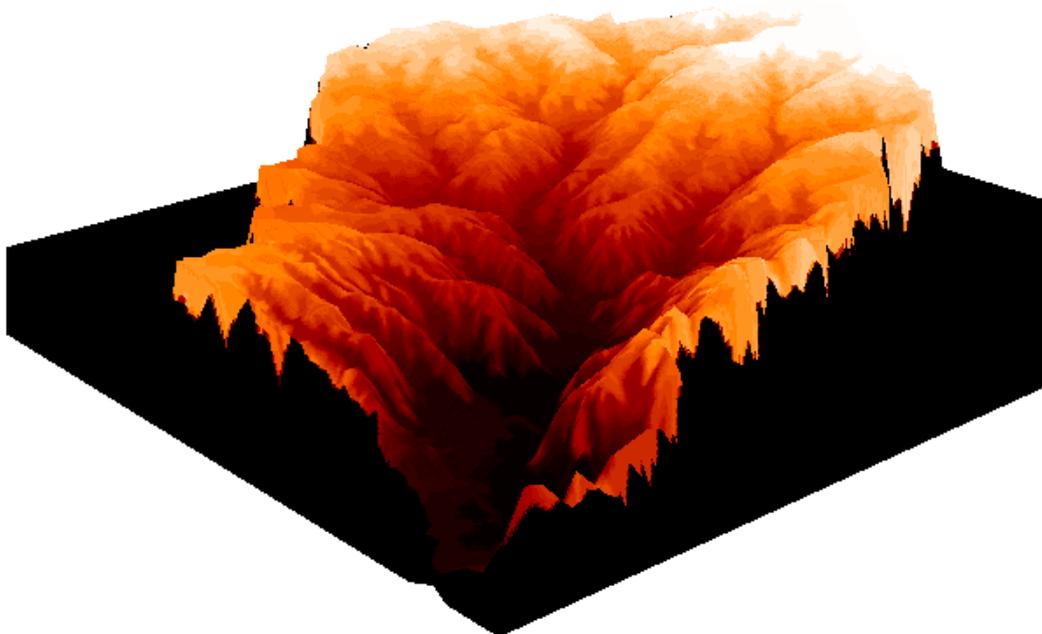


Figura 8 DEM en 3D de la cuenca MR (exageración vertical: 300).

La cuenca La Matanza – Riachuelo ocupa una **superficie** de 2.003 km² (calculada con ENVI sobre la imagen Landsat 2010 con el vectorial de la cuenca), presenta un **caudal medio** de 7 m³/s y una descarga máxima registrada de 1.160 m³/s. La **longitud** actual media de su cauce principal es de 62 km, muy diferente a la longitud original ya que el sector bajo fue intensamente rectificado en su cauce principal y algunos tributarios.

El **balance hídrico anual** simulado para toda la cuenca hasta Ezeiza, para el período 1966 a 1968, es de: **Precipitación**: 1030 mm, **evapotranspiración**: 800 mm, recarga del acuífero: 100 mm, y **escorrentía**: 130 mm (Kreimer et al, 2001).

La cuenca presenta 3 sectores definidos por criterios netamente políticos.

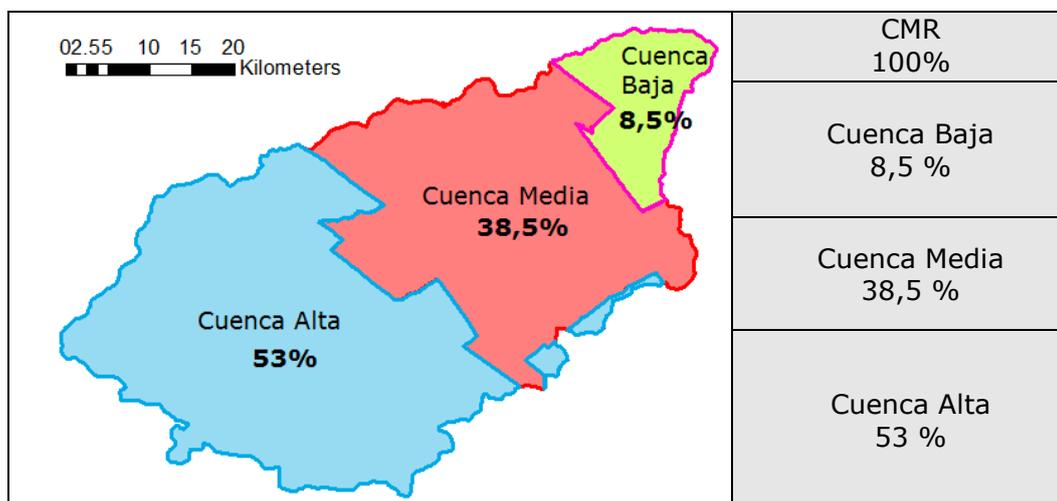


Figura 9 Cuenca La Matanza Riachuelo (CMR)

Partidos de la cuenca

Nace en el partido de Cañuelas y sigue una dirección SO-NE y en su cuenca baja constituye el límite Sur de la CABA (Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y desemboca en el Río de La Plata. En su recorrido atraviesa una de las regiones más densamente pobladas del continente, y su cuenca incluye la Capital Federal de la Argentina (CABA) y 14 municipios del conurbano bonaerense: Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Morón, Merlo, La Matanza, Ezeiza, Esteban Echeverría, Almirante Brown, Marcos Paz, General Las Heras, Cañuelas, San Vicente y Presidente Perón (Figura 10).

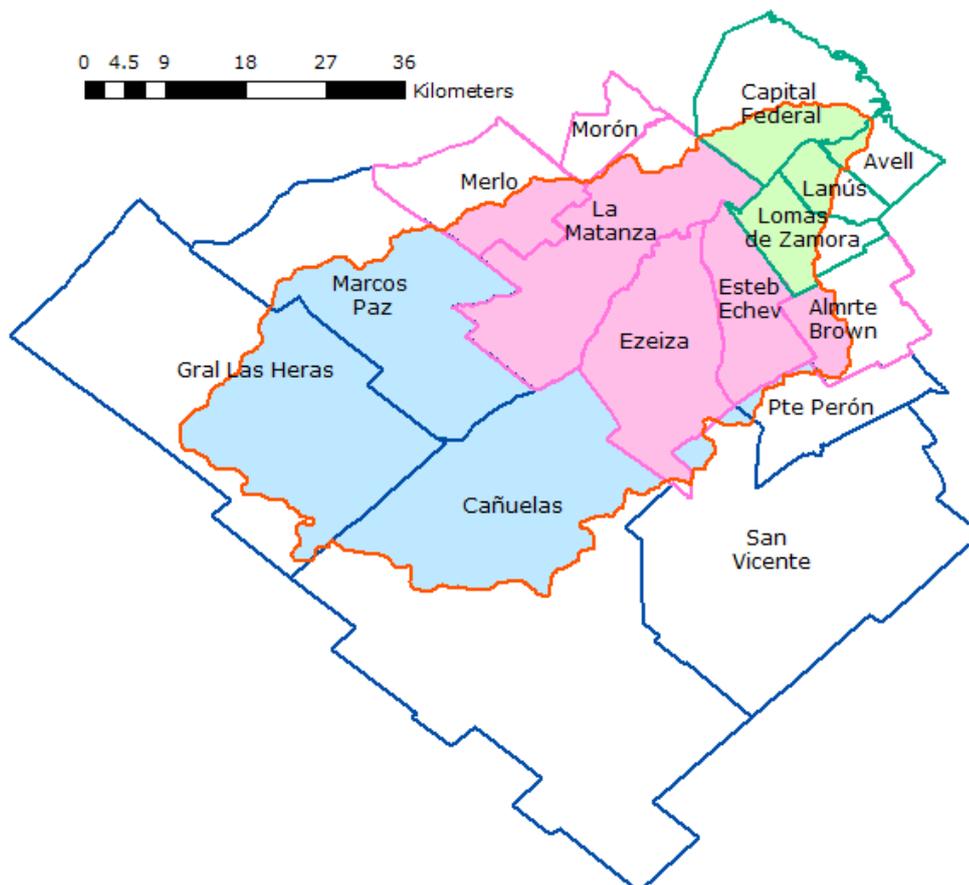


Figura 10 Partidos de la cuenca La Matanza-Riachuelo
La contribución de cada partido a la cuenca se muestra en la tabla a continuación:

		Área Partido (km ²)	Área en CMR (km ²)	% en CMR
	Cuenca total	4,624	2.003.33	100.0
Cuenca Baja	CABA	204.33	69.89	3.5
	Avellaneda	55.61	9.92	0.5
	Lanús	88.45	63.26	3.2
	Lomas de Zamora	50.09	29.22	1.5
Cuenca Media	Morón	55.46	0.11	0.0
	Merlo	172.83	66.07	3.3
	La Matanza	326.01	298.59	14.9
	Ezeiza	246.74	243.76	12.2
	Esteban Echeverría	122.30	122.30	6.1
	Almirante Brown	128.90	39.67	2.0
Cuenca Alta	Marcos Paz	437.27	287.01	14.3
	General Las Heras	750.06	349.84	17.5
	Cañuelas	1,199.2	0	
	San Vicente	0	401.78	20.1
	Presidente Perón	665.08	14.71	0.7
		121.55	8.13	0.4

Nota: la columna '% en CMR' hace referencia al porcentaje de superficie que ocupa dicha porción del partido en la CMR. El 100% corresponde a los 2.003,33 km² que es la superficie total de la cuenca.

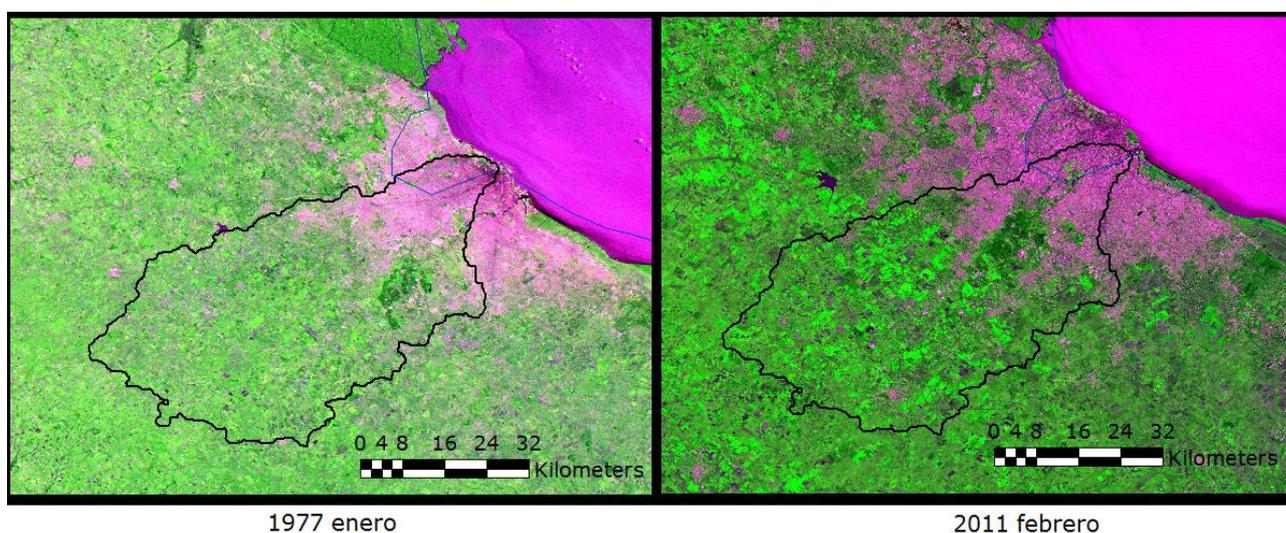


Figura 11 Imagen Landsat de la CMR donde se puede visualizar la mancha urbana (en magenta de la zona continental) en 1977 y 2010.

Urbanización de la cuenca

La cuenca se encuentra ocupando una gran área de la CABA y el Gran Buenos Aires que es la zona más densamente poblada del país y que durante el último siglo ha sufrido un aumento demográfico muy acelerado y sostenido en el tiempo sin planificación y por lo tanto, con un gran impacto ecológico que ha sufrido desde el inicio de los asentamientos el sistema fluvial.

Las tres secciones de la CMR se distinguen por sus características esencialmente diferentes: una zona altamente urbanizada (**Cuenca baja**), otra periurbana o urbana en vías de expansión (**Cuenca media**) y un área rural (**Cuenca alta**) donde todavía se mantienen algunas condiciones ambientales satisfactorias (ACUMAR, 2006).

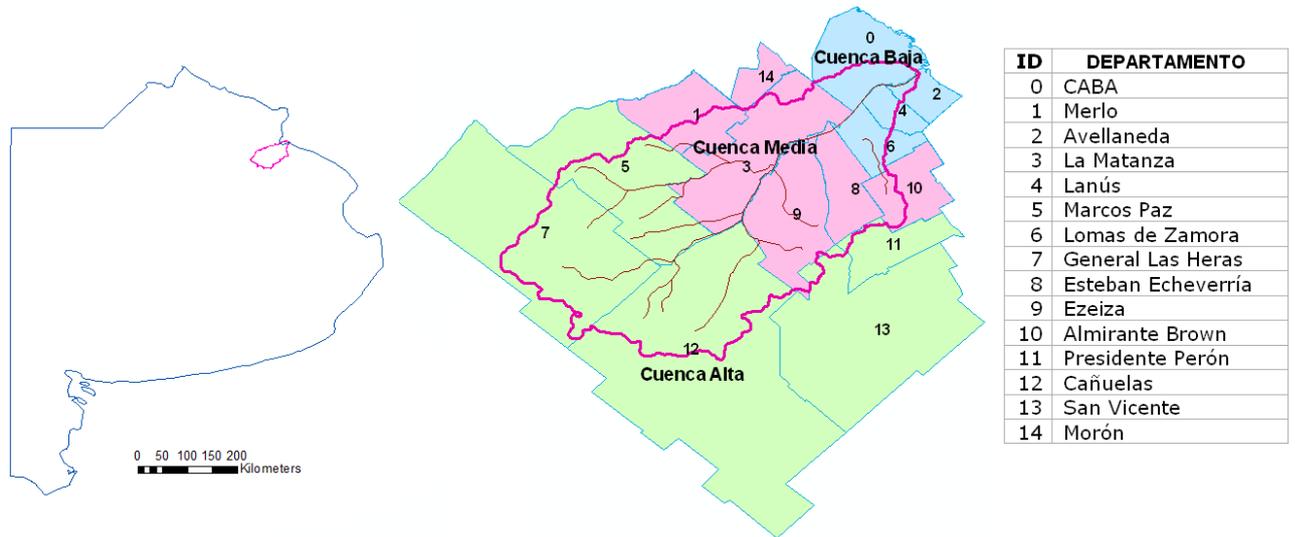


Figura 12 Partidos de la cuenca alta, media y baja.

CAPÍTULO II. Índice de Incidencia Antrópica (IIA) en la Cuenca La Matanza-Riachuelo

Introducción: Indicadores e Índices

Es importante distinguir entre indicadores e índices. Los primeros están constituidos por la combinación de dos o más datos y son convertidos en un índice mediante una función matemática que los sintetiza (EEE/AMAE, 2002).

De acuerdo a literatura referente al uso de índices que reflejen la calidad ambiental en zonas urbanas, Santana Rodríguez et al (2010) usa datos provenientes únicamente de sensores remotos (imágenes Landsat ETM+) y obtiene cinco indicadores ambientales (temperatura de superficie (TS), y los índices de vegetación normalizado (NDVI), de humedad en las hojas (LWCI), de suelos normalizado (NSI) y de vegetación ajustado al suelo (SAVI), para estimar un Índice de Calidad Ambiental (ICA). Escobar (2006) propone un modelo de índice para grandes zonas urbanas, utilizando información de imágenes satelitales y también de censos, y plantea la necesidad de incorporar información de múltiples fuentes para generar sistemas de indicadores e índices mas completos.

Dado que se pretende obtener un indicador del grado de incidencia o impacto que ha tenido el hombre sobre la CMR desde épocas históricas, la falta de datos representa una gran restricción para obtener un índice completo. Cabe mencionar que de los sensores remotos que muestran las mayores secuencias temporales de imágenes, la serie de satélites Landsat es la más adecuada (el Landsat más antiguo (Landsat 1) lanzado en el año 1972 comienza a adquirir imágenes de la zona de estudio a partir del año 1976, mientras que los primeros asentamientos humanos en la cuenca datan del siglo XVI.

Sin embargo, no se tiene registro de trabajos de índices de calidad ambiental obtenidos a partir de la combinación de sensores remotos y datos censales para ver la evolución en el tiempo.

La construcción de índices demanda la síntesis de información que en muchas ocasiones no está disponible. Generalmente, el índice construido no da explicación de todos los factores que pueden describir una variable latente (es decir, una variable no observada directamente, inferida a partir de otras observadas), sin embargo, son en todo momento una aproximación a ella (Escobar op cit). De acuerdo a Pender et al (EEE/AMAE, 2002) los índices son una herramienta cuantitativa que simplifican a través de modelos matemáticos los atributos y pesos de múltiples variables, con la intención de proporcionar una explicación más amplia de un recurso o atributo a evaluar o gestionar.

Sin embargo, la selección del conjunto de indicadores apropiados no es una tarea fácil, ello demanda el entendimiento del funcionamiento del sistema que se quiere explicar (Escobar, 2006). La selección de indicadores obedece no sólo a la interpretación que el científico y la sociedad hagan de una realidad, de por sí compleja, sino también a la disponibilidad de la información en un marco analítico que la interprete.

Indicadores del índice

El criterio de selección en este trabajo fue el de obtener un índice que refleje las características de drenaje superficial de la cuenca y que en el análisis temporal refleje el alejamiento de su condición de drenaje natural.

Para ello las variables que se utilizaron fueron el aumento de la urbanización (aumento de superficies impermeables), la disminución de vegetación natural (capaz de retener grandes volúmenes de agua) y su reemplazo por vegetación plantada o alóctona (con capacidades muy reducidas de retener agua) y la longitud del río (aumento de velocidad de flujo por rectificación).

El objetivo principal es que el índice resultante refleje la lejanía del sistema en los distintos momentos de la historia, del estado natural, desde un punto de vista del drenaje de sus aguas.

El índice reflejará entonces el deterioro de la cuenca, por lo que valores altos indicarán un impacto negativo en el ecosistema fluvial de la CMR (alejamiento del sistema de su estado natural), mientras que bajos valores del índice indicarán un estado sin incidencia antrópica (cercano al natural).

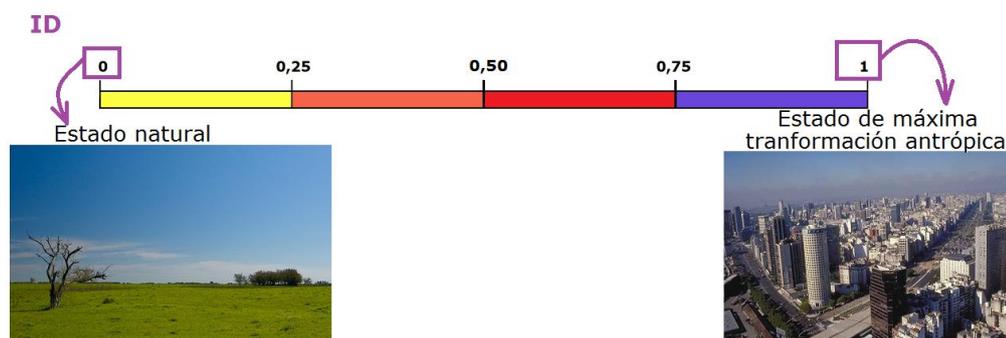
A partir de esto, y teniendo en cuenta que las variables se encuentran disponibles a una escala regional se propone un **Índice de Incidencia Antrópica (IIA)** de la CMR a gran escala, a partir de los siguientes indicadores:

II-A-1 Indicador Demográfico (ID)

$$ID = \frac{N}{Kp}$$

Donde N = tamaño poblacional (cantidad de habitantes); Kp = Capacidad de Carga poblacional en el sector estudiado (partido, sector de la cuenca o cuenta entera).

El rango del indicador ID va entre 0 y 1; el ID=0 indica que no hay habitantes en el área evaluada, mientras que el ID=1 indica que el tamaño poblacional es el máximo tolerable en el área evaluada, es decir que ha llegado a su capacidad de carga (Kp).



II-A-2 Indicador de Vegetación (IV): Se obtiene a partir del porcentaje de área con vegetación natural (característica del ambiente donde se encuentra) y por otro lado la clasificada como artificial que se refiere a los cultivos y zonas parqueadas.

$$IV = \frac{(a * N) + A}{a}$$

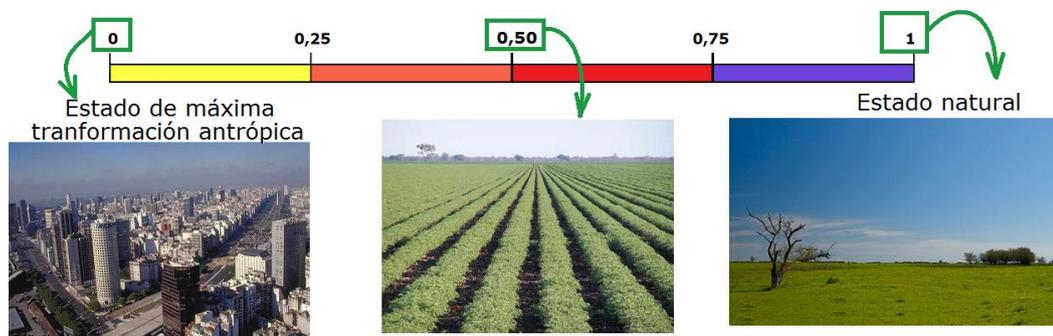
Donde: a es una constante, N es la proporción del área con vegetación natural, y A la del área con vegetación artificial.

El IV se construyó considerando que la vegetación natural tiene mayor peso que la artificial. En este caso se fijó la constante a con un valor de 2, usando un criterio

conservacionista se consideró que la vegetación natural equivaldría al doble de la artificial (cultivos y parques con vegetación alóctona).

El indicador IV se formuló de forma que cuanto más cercano a 1 sea su valor, mayor cobertura de vegetación natural posee, mientras que cuanto más cercano a 0 sea su valor, menor cobertura de vegetación presenta el área evaluada. Sin embargo, en el medio entre estos dos extremos, se encuentra la situación con alta cobertura de vegetación artificial y baja cobertura natural.

IV

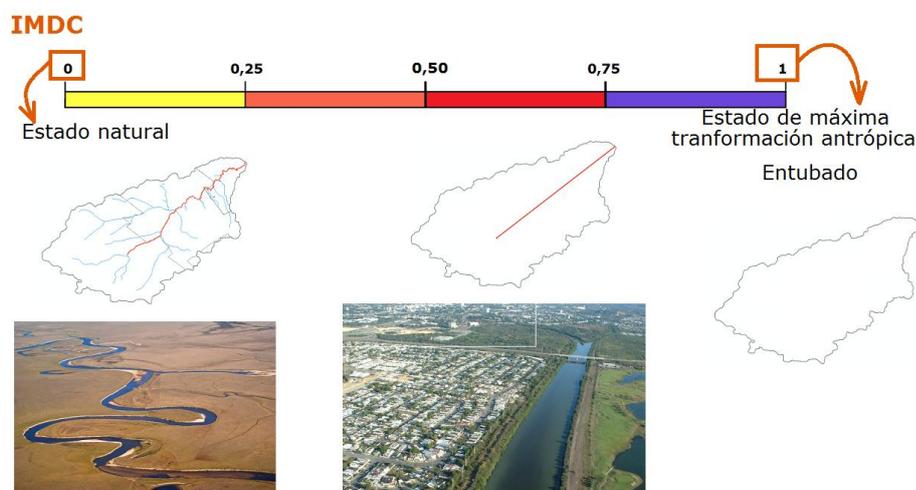


Indicador de Modificación del Diseño del Cauce (IMDC): se refiere al diseño del cauce, si es el diseño en meandros (como en su estado natural) o rectificado (por intervención humana) y refleja la lejanía de la longitud del cauce con respecto a la longitud natural (que es la máxima).

$$IMDC = 1 - \frac{\text{long_río}_x}{\text{long_MAX}}$$

IMDC: de 0 a 1.

El rango del IMDC va de 0 a 1, el valor será 1 cuando la longitud del cauce sea la máxima, mientras que el IMDC valdrá 0 en el caso hipotético que la longitud sea cero. Si se sobrepasaría ese valor significaría que se ha alargado el cauce más allá del valor original.



(Los indicadores se verán con mayor detalle en las siguientes secciones).

Los tres indicadores se obtienen a partir de información satelital, y dado que se quiere evaluar su dinámica espacial y temporal, las imágenes satelitales de la serie de satélites Landsat son las que se consideran que mejor se adaptan a estas necesidades. Brindan datos desde 1976 hasta la actualidad y con una resolución

espacial media (píxel: 80 – 30 m). Para épocas más antiguas, se estiman las variables utilizadas para obtener los indicadores.

Para todos los indicadores, el valor óptimo al que se quiere llegar es a 1, lo que estaría indicando que todos están en su estado natural.

La ecuación propuesta del **ÍNDICE DE INCIDENCIA ANTRÓPICA en la CMR (IIACMR)** se escribe como sigue:

$$IIA = ID * (1 - IV) * IMDC$$

donde:

ID: Indicador Demográfico

IV: Indicador de Vegetación

IMDC: Indicador de Modificación del Diseño del Cauce

Al igual que para los indicadores, el rango del índice IIA es entre 0 y 1. Cuando IIA=0 significa que el sistema está en su estado natural (desde el punto de vista demográfico, de cobertura de vegetación y del diseño del cauce), mientras que el IIA=1 representa el estado de máxima transformación antrópica de la cuenca, y donde el sistema pierde todas sus características naturales.

Si bien se pretendía generar un índice con mayor cantidad de variables de alto valor indicativo de la transformación antrópica de la cuenca, el hecho de realizar un análisis temporal, obliga a disminuir su número por la escasez de datos ni es factible simular su comportamiento en el pasado.

Por otro lado, teniendo en cuenta que éste es un índice evaluado a gran escala, se trata de una primera aproximación que serviría para identificar las áreas donde priorizar esfuerzos y donde realizar estudios a una escala espacial más detallada. La escala espacial es de gran importancia tanto en el análisis de los resultados como en la toma de decisiones, ya que la heterogeneidad identificada depende de la escala (García, 2006).

Metodología para obtención de las clases urbana y vegetada

Para obtener los indicadores ID e IV, se requiere cuantificar las coberturas del suelo de la CMR en sus principales clases: urbana y vegetada. Para esto, se utilizó la técnica de clasificación de una serie temporal de imágenes Landsat con el programa ENVI®.

Metodología para la identificación de cobertura urbana, vegetada y agua de imágenes Landsat

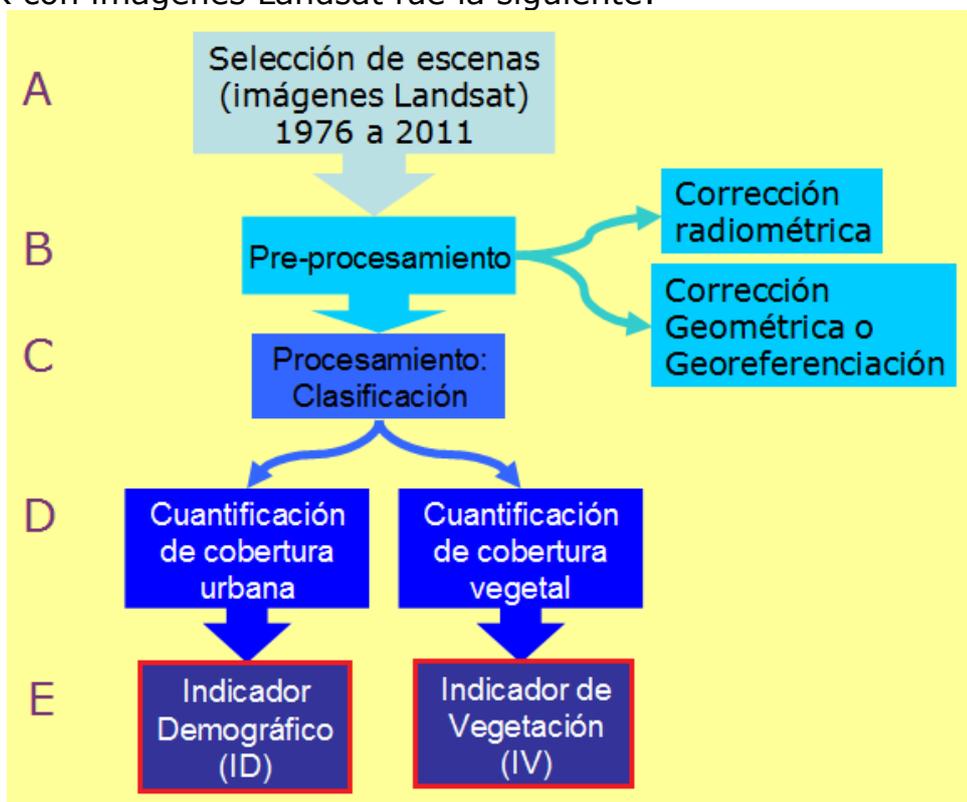
Antes de la clasificación de las imágenes Landsat se deben realizar tareas de corrección de las imágenes (pre-procesamiento) para que ellas sean comparables unas con otras (Chuvienco, 2006).

Las imágenes utilizadas corresponden a imágenes de los satélites Landsat, de sensor MSS y TM en el periodo que se detalla a continuación:

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Landsat	2	2	2	2	3	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sensor	MSS									TM																										

Figura 13 Años de las imágenes Landsat obtenidas y sensor utilizado en la adquisición de la imagen.

La metodología general empleada para el análisis espacio-temporal de la cuenca MR con imágenes Landsat fue la siguiente:



II-A Selección de escenas Landsat

Los datos satelitales de archivo fueron seleccionados con fechas de toma coincidentes con períodos de baja cobertura nubosa. Se obtuvieron imágenes y cartografía en formato raster y vectorial, digital e impreso de distintas fuentes (CONAE, INPE y USGS) que se detalla para cada imagen en la Tabla 2.

Los tipos de sensores sensibles a distintas longitudes de onda del espectro electromagnético así como la resolución en el espacio y en el tiempo varían según el satélite. En este trabajo se emplearon imágenes satelitales provenientes de los satélites Landsat 2 y 3, sensor MSS (Multispectral Scanner System) y Landsat 5, sensor TM (Thematic Mapper), una revisita de 16 días y posee sensores en bandas espectrales que abarcan desde el sector visible hasta el infrarrojo térmico.

Tabla 1 Características de los satélites Landsat y sus sensores (Fuente: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php)

LANDSAT	SENSOR	BANDAS	RESOLUCIÓN ESPACIAL / TEMPORAL
2 (1975-1982)	MSS	Visible Azul-verde (475-575 nm) Naranja-rojo (580-680 nm) Rojo a IR cerc (690-830 nm)	80 m / 18 días

<p>3 (1978-1983)</p>	<p>MSS</p>	<p>Visible B4 verde (0,5 - 0,6 μm) B5 rojo (0,6 - 0,7 μm)</p> <p>IR B6 IR cercano (0,7 - 0,8 μm) B7 IR cercano (0,8 - 1,1 μm)</p> <p>Térmica B8 (10,4 - 12,6 μm)</p>	<p>57m x 79m / 18 días</p>
<p>5 (1984-hoy)</p>	<p>MSS TM</p>	<p>Igual a Landsat 2</p> <p>Visible B1 (0,45 - 0,52 μm) B2 (0,52 - 0,60 μm) B3 (0,63 - 0,69 μm)</p> <p>IR B4 IR cerc (0,76 - 0,90 μm) B5 IR cerc (1,55 - 1,75 μm) B7 IR-Medio (2,08 - 2,35 μm)</p> <p>Térmica B6 (10,40 - 12,50 μm)</p>	<p>57m x 79m</p> <p>30 m</p> <p>120 m</p>

La utilización de imágenes Landsat para la determinación de la evolución de las superficies urbana y vegetada, fue por su amplio rango temporal de adquisición (1976 a actualidad), constituyen la fuente histórica más larga y coherente de datos espaciales para la zona de estudio. Además para la obtención del índice IMDC se utilizaron datos como mapas antiguos digitalizados e impresos, cartas topográficas y fotografías aéreas, archivos vectoriales con información diversa (curvas de nivel, delimitación de la cuenca, límites interjurisdiccionales (partidos, provincia, capital federal), entre otros), además el Modelo Digital de Elevación (GDEM-ASTER).

La metodología de procesamiento de las imágenes se realizaron siguiendo los lineamientos similares a los de Aragonés et al, 2005. Para el procesamiento de los datos espaciales (raster y vectoriales obtenidos de bases públicas (CONAE, ACUMAR, INDEC, IGN y otras) se usarán los programas ENVI®, ArcGIS® y su módulo ArcHydro® para el análisis de sistemas hidrológicos que sintetizan datos geospaciales y temporales.

La información proveniente del análisis satelital multitemporal, es decir que cuenta con más de una fecha de toma, permite monitorear las áreas inundadas y afectadas en una zona definida, alcanzando resultados objetivos, oportunos y de una relación costo-beneficio adecuada.

El área de estudio se encuentra incluida en la escena del satélite Landsat en el Track 241 o 225 (según misión) y el Frame 084. Para dicha escena se contó una imagen por año desde 1976 a 2011 excepto las correspondientes de los años 1983, 1989, 1993 y 1994 que presentaban una cubierta nubosa muy importante y se decidió no trabajarlas. Se trabajó con un total de 32 imágenes (Tabla 2).

AÑO	fecha	SITIO	Descripción	Fuente de adquisición	Bandas	Formato de archivo	Corrección radiométrica (áng solar)	Geocorrección Image to image
		DEM ASTER (GDEM)						
1976	Jul 11	241-84	Landsat 2 MSS	USGS	1 2 3 4	Tif - hdr	Si	35 GCP RMS: 0.44
1977	Ene 7	241-84	Landsat 2 MSS	INPE	4 5 6 7	Tif - xml	Si	32 GCP RMS: 0.18
1978	Abr 2	241-84	Landsat 2 MSS	INPE	4 5 6 7	Tif - xml	Sí	26 GCP RMS: 0.34
1979	Ene 30	241-84	Landsat 2 MSS	Si	4 5 6 7	Tif - xml	Sí	26 GCP RMS: 0.49
1980	Ene 19	241-84	Landsat 3 MSS	Si	4 5 6 7	Tif - xml	Sí	32 GCP RMS: 0.36
1981	Dic 12	241-84	Landsat 2 MSS	INPE	4 5 6 7	Tif - xml	Sí (51.9368)	25 GCP RMS: 0.29
1982	Ene 17	241-84	Landsat 2 MSS	INPE	4 5 6 7	Tif - xml	Sí (47.5593)	25 GCP RMS: 0.29
1984	Jul 25	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (23.1396)	33 GCP RMS: 0.45
1985	May 09	225-84	Landsat 5 TM	USGS	1 a 7	Tif - xml	Sí (26.16)	27 GCP RMS: 0.49
1986	Feb 21	225-84	Landsat 5 TM	USGS	1 a 7	File - hdr	Sí (43.039)	31 GCP RMS: 0.40
1987	Abr 13	225-84	Landsat 5 TM	USGS	1 a 7	Tif - xml	Sí (31.94)	36 GCP RMS: 0.29
1988	Nov 25	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (55.5171)	36 GCP RMS: 0.88
1990	Jul 26	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (21.9715)	17 GCP RMS: 0.45
1991	Ene 18	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (48.6688)	30 GCP RMS: 0.45
1992	May 12	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (25.065)	38 GCP RMS: 0.51
1995	Sept 26	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (36.7638)	34 GCP RMS: 0.58

1996	Dic 17	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (53.2629)	RMS: 0.46
1997	Ene 2	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (51.63)	41 GCP RMS: 0.47
1998	Nov 21	225-084	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (57.01)	RMS: 0.47 GCP: 34
1999	Feb 2	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (48.5875)	RMS: 0.42
2000	Dic 12	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tif - xml	Sí (57.113)	50 GCP RMS: 0.39
2001	Sept 10	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Fast Form	Sí (37.8935)	46 GCP RMS: 0.64
2002	Marz 5	225-84	Landsat 5 TM	CONAE	1 a 7	Fast Form	Sí (42)	50 GCP RMS: 0.28
2003	Dic 5	225-84	Landsat 5 TM	CONAE	1 a 7	Fast Form	Sí (56.615)	50 GCP RMS: 0.22
2004	Dic 23	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Fast Form	Sí (57.485)	53 GCP RMS: 0.18
2005	Nov 24	225-84	Landsat 5 TM10	CONAE	1 a 7	Fast Format	Sí (58)	50 GCP RMS: 0.44
2006	Jun 4	225-84	Landsat 5 TM10	CONAE	1 a 7	Fast Format	Sí (25)	RMS: 0.32
2007	Abr 4	225-84	Landsat 5 TM10	CONAE	1 a 7	Fast Format	Sí (38)	RMS: 0.63
2008	Nov 16	225-84	Landsat 5 TM10	CONAE	1 a 7	Fast Format	Sí (57)	54 GCP RMS: 0.44
2009	Oct 18	225-84	Landsat	CONAE	1 a 7	Fast Format	Sí (52)	52 GCP RMS: 0.44
2010 2010	Oct 5	225-84	Landsat 5	CONAE	1 a 7	Fast Format	Sí (48)	50 GCP RMS: 0.20
		Cuenca M-R	Ikonos	ACUMAR	RGB	ECW	Sí	
			GeoEye	ACUMAR	RGB	Jpg	Sí	RMS: 0.99
2011	Feb 26	225-84	Landsat 5 TM	INPE	1 a 7	Tiff	Sí (47.16)	48 GCP RMS: 0.36
AÑO	fecha	SITIO	Descripción (imagen)	Fuente de adquisición	Bandas	Formato	Corrección radiométrica (áng solar)	Geocorrección Image to image

Tabla 2 Lista de imágenes Landsat con las que se trabajó.

Para conocer las coberturas en años anteriores a la adquisición de imágenes Landsat, se realizaron estimaciones según los datos obtenidos de las clasificaciones realizadas. Además, si bien se consiguió una fotografía aérea del proyecto CORONA del año 1965, estas son en tono de grises, lo cual imposibilitó la tarea de clasificación para la obtención de las coberturas urbana y de vegetación.

II-A-1. Selección del área de interés (AOI)

→ Selección de la Región de Interés (ROI) Las escenas Landsat (Path: 241 o 225 (según satélite)/ Row: 84) incluye un área mucho mayor a la totalidad de la cuenca y para reducir el tiempo de procesamiento y el tamaño de los archivos generados se corta como se muestra en la Figura 14.

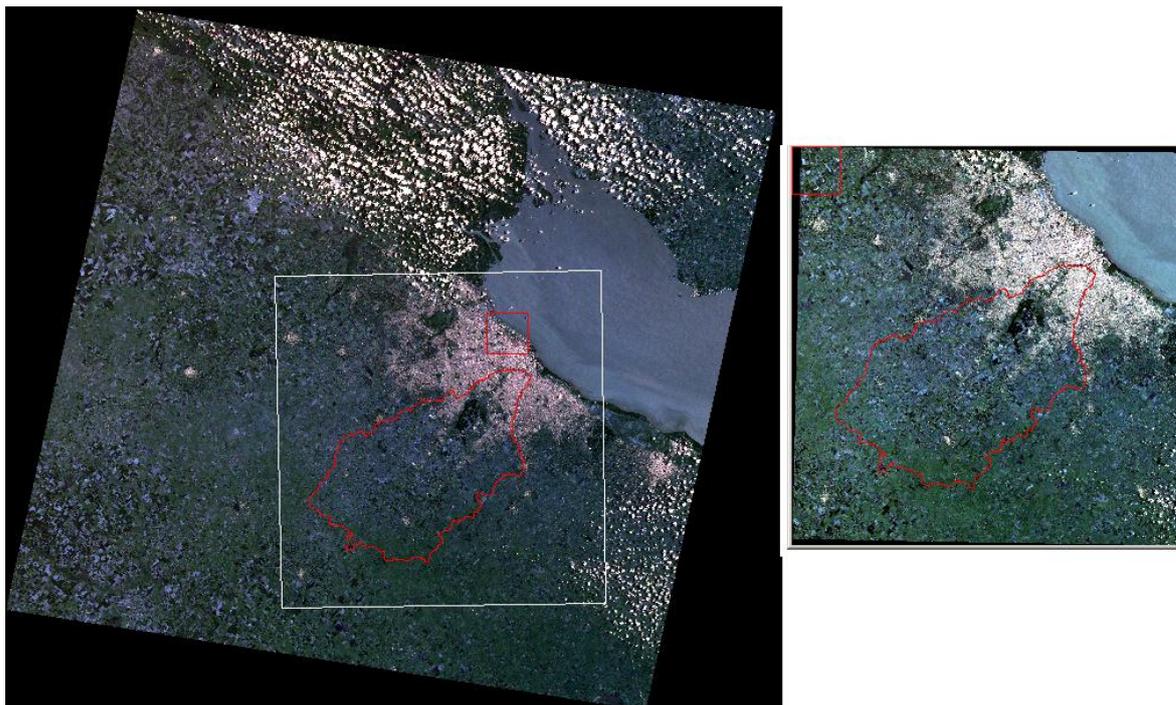


Figura 14 Imagen Landsat original (izq) y cortada según el área de estudio (105km largo x 110km ancho).

II-B *Pre-procesamiento*

II-B-1 Corrección geométrica o georeferenciación

El tipo de georeferenciación utilizada fue imagen-a-imagen y se realizó para todas las imágenes (TM y MSS) usando la transformación polinómica de primer orden y el remuestreo se efectuó por vecino mas cercano usando la imagen Landsat TM del 5-Oct-2010 como imagen base o de referencia que estaba correctamente georeferenciada. Las demás imágenes se corregistraron con Errores Medio Cuadráticos (RMS) < 0,7 pixel y con 20-55 puntos de control GCP). En la Tabla 2 se detallan los RMS y cantidad de GCP utilizados para cada imagen (Figura 15).

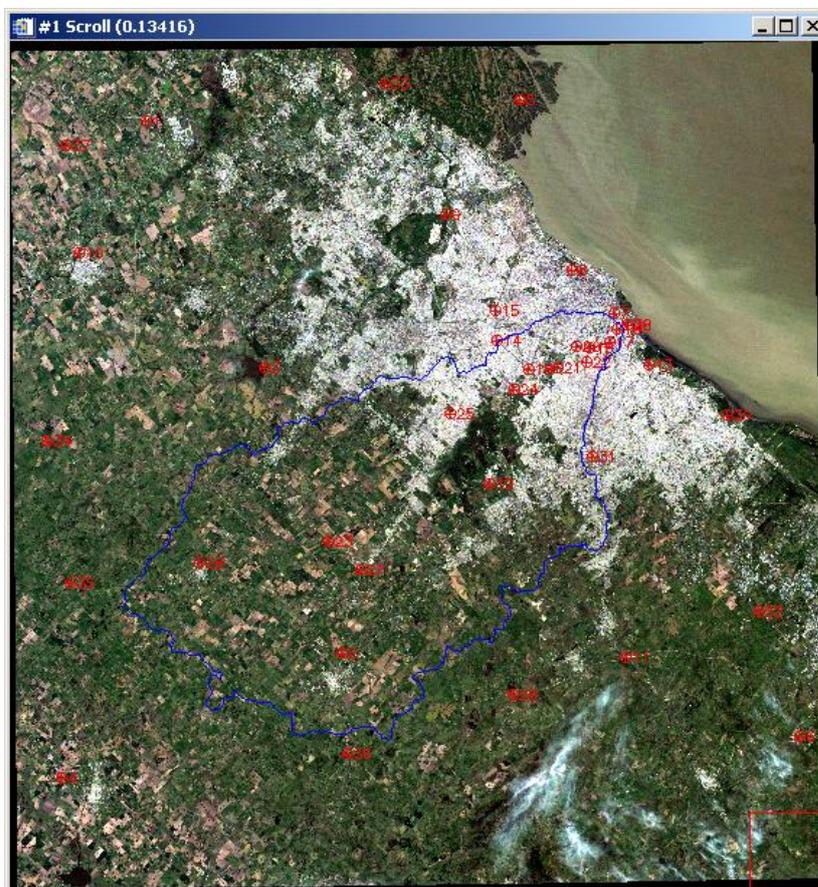


Figura 15 Puntos de control (GCP) en la imagen Landsat 2007 para corregistrar con la imagen de referencia (Landsat 2010).

II-B-2 Corrección radiométrica de imágenes de distintas fechas

Los valores de los píxeles en las imágenes satelitales expresan la cantidad de energía radiante recibida por el sensor en la forma de valores relativos no calibrados llamados Números Digitales (ND) o brillo (Chuvieco, 2006). Para poder comparar imágenes de las mismas áreas pero de distintas fechas es necesario realizar las correcciones de los datos de manera que sean comparables, es decir pasar de ND a valores de reflectancia o reflectividad en superficie (cociente entre la energía reflejada y la energía incidente a la superficie terrestre) (Brizuela et al, 2007).

La *reflectividad* es la relación entre la energía reflejada y la incidente, por lo tanto varía entre 0 y 1 (0: superficie perfectamente absorbente; 1: superficie perfectamente reflectora) (Chuvieco, 2006).

En ENVI: Basic Tools → Preprocessing → Calibration utilities → Landsat y debo conocer datos del satélite (esta información viene en los metadatos de la imagen –

.hdr o .xml-): Sensor (MSS o TM), Satélite (2,3 o 5), fecha de adquisición de la imagen (ej: 1977-Ene-07) y ángulo de elevación solar (ej: 46.9592).

Con esos datos ENVI calibra automáticamente la imagen usando datos de gain y offset (bias), que han sido actualizados en mayo y abril de 2007 como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 Valores de Gain (G) y Bias (B) usadas en la calibración de L1 para convertir los ND (Qcal) en valores de radiancia espectral (Chander *et al*, 2007).

Rescaling Gain ($G_{rescale}$) and Bias ($B_{rescale}$) in $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$								
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	$G_{rescale(IC)}$	$B_{rescale}$	$G_{rescale(LUT03)}$	$B_{rescale}$	$G_{rescale(LUT07)}$	$B_{rescale}$	$G_{rescale(LUT07)}$	$B_{rescale}$
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	0.066980	-0.15	0.065294	-0.15	0.065294	-0.15	0.065294	-0.15

Sin embargo, en la versión ENVI®4.1 (2004), los datos de gain (G) y offset (B) usados automáticamente por el software corresponden a la columna 'May 5 2003- Abr 1, 2007' en la Tabla 3; mientras que para una imagen posterior a esa fecha los datos de G y B son los correspondiente a los de la columna de 'Abr 2, 2007 – hoy'. Con versiones de ENVI más antiguas a esa fecha, los datos de G y B debieron ingresarse manualmente. Utilizando ENVI®4.5 (2008), esos valores los usa por default y por lo tanto pueden calibrarse automáticamente todas las imágenes Landsat sin importar la fecha.

Imágenes anteriores al 2-abril-2007: calibración automática de ENVI (Basic tools → Preprocessing → Calibration utilities → Landsat, se completan los datos requeridos según los datos en el header, y tanto ENVI 4.1 o 4.5 calibra automáticamente, utilizando los valores de gains y offset por default que son los de la tabla de arriba.

Imágenes posteriores a 2-abril-2007, con ENVI®4.1 (2004) se usó la herramienta *band math* para la calibración según las ecuaciones de abajo y se obtuvieron las imágenes con los valores de radiancia (dado que cada banda tiene un G y B se realizaba la aritmética de bandas para cada una por separado):

Para obtener la imagen con valores de radiancia se puede hacer con cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$L_{\lambda} = L_{MIN_{\lambda}} + \left(\frac{L_{MAX_{\lambda}} - L_{MIN_{\lambda}}}{Q_{CALMAX}} \right) Q_{CAL}$$

expresión particular donde $Q_{CALmin}=0$

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale}$$

donde:

Q_{CAL} : ND (generalmente $Q_{CALmin}=0$ y $Q_{CALmax}=255$)

L_{λ} : radiancia espectral, $L_{MIN_{\lambda}}$: radiancia espectral cuando $Q_{CAL}=0$, $L_{MAX_{\lambda}}$: radiancia espectral cuando $Q_{CAL}=255$ (o el valor de ND en el rango de radiancia reescalada). L_{MAX} y L_{MIN} derivan de tablas provistas en las Notas Técnicas de Landsat (ENVI Help: Landsat TM Calibration).

Para transformarla en *reflectancia exoatmosférica* se utilizó la siguiente ecuación:

$$\rho_P = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos\theta_s}$$

Donde

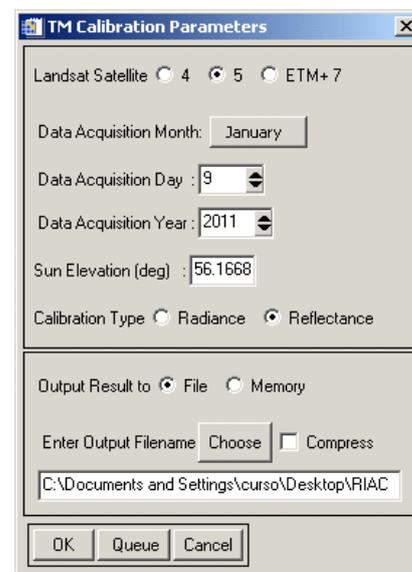
L_λ : radiancia espectral,

d : distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas ($1.49597870 \cdot 10^{11}$ m)

$ESUN_\lambda$: irradiancia exoatmosférica media del sol

θ_s : ángulo solar en el zenit (en grados) que deriva de tablas obtenidas en Landsat Technical Notes (agosto 1986) (ENVI online Help).

El procedimiento en ENVI para calibrar las imágenes es: Basic Tools → Preprocessing → Calibration Utilities → Landsat TM (o MSS) (ver imagen adjunta).



II-C *Procesamiento: Clasificación de imágenes Landsat*

Para la identificación de distintas coberturas en la imagen se determinaron las siguientes 'clases':

- **Agua**
- **Área urbana** (incluye zonas urbanas en general y vías de comunicación)
- **Vegetación natural o autóctona**
- **Vegetación artificial, plantada o alóctona** (cultivos, parques, zonas verdes modificadas por el hombre)
- **no clasificado** (incluye al resto de los píxeles que no tienen ninguna de las características de las clases de arriba)

Cabe mencionar que no se clasificó al suelo desnudo.

Se utilizó el método de **Clasificación Supervisada 'Distancia de Mahalanobis'**, que es similar a la clasificación de máxima verosimilitud pero asume que la covarianza de todas las clases son iguales. La elección del tipo de clasificación se basó en pruebas repetidas con otros tipos de clasificación supervisada y fue el tipo con los mayores valores de exactitud (ENVI@4.5 Help, 2008) (en el Apéndice se adjuntan las matrices de confusión de algunas de las clasificaciones realizadas).

Para la clasificación supervisada se usaron como verdad de campo, muestras de áreas representativas de cada clase (aproximadamente más del 2% del área total de la clase) seleccionadas a partir de ROIs identificados con la ayuda de un mosaico de imágenes Ikonos (resolución espacial: 1 m) de la zona del Riachuelo del año 2010 provista por ACUMAR y por observación de imágenes de Google Earth, que permitió tener acceso a imágenes GeoEye desde el año 2000 hasta 2011. Para la elección de los ROIs de entrenamiento para imágenes anteriores al año 2000 se trabajó visualizando directamente las imágenes Landsat correspondientes, que si bien presentan una resolución espacial muy inferior a Ikonos y GeoEye, posibilitó la tarea.

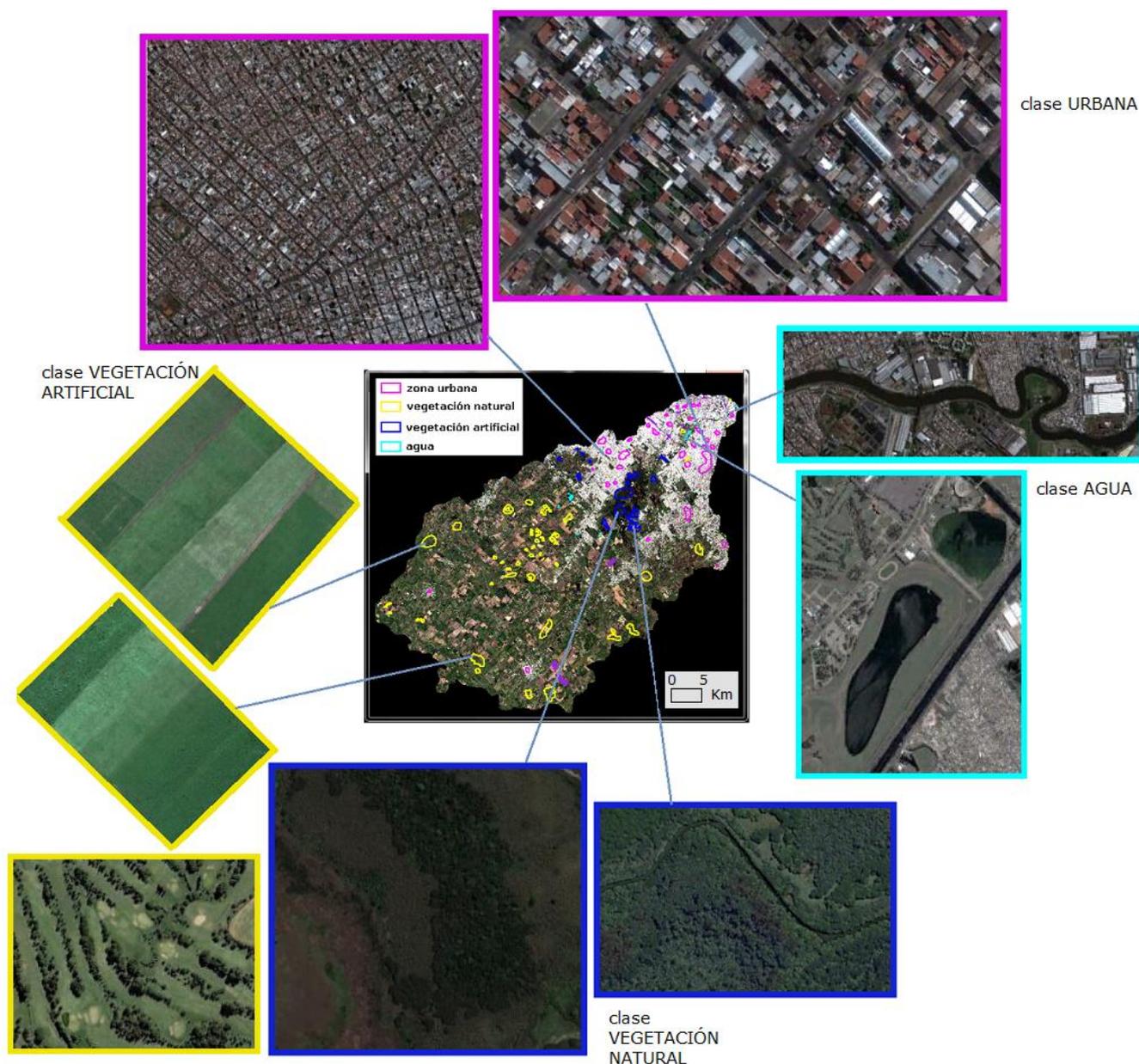


Figura 16 Identificación de las regiones de interés (ROIs) de las clases a identificar en la cuenca en la imagen.

El resultado de la clasificación es una nueva imagen clasificada donde cada color representa una clase (Figura 18).

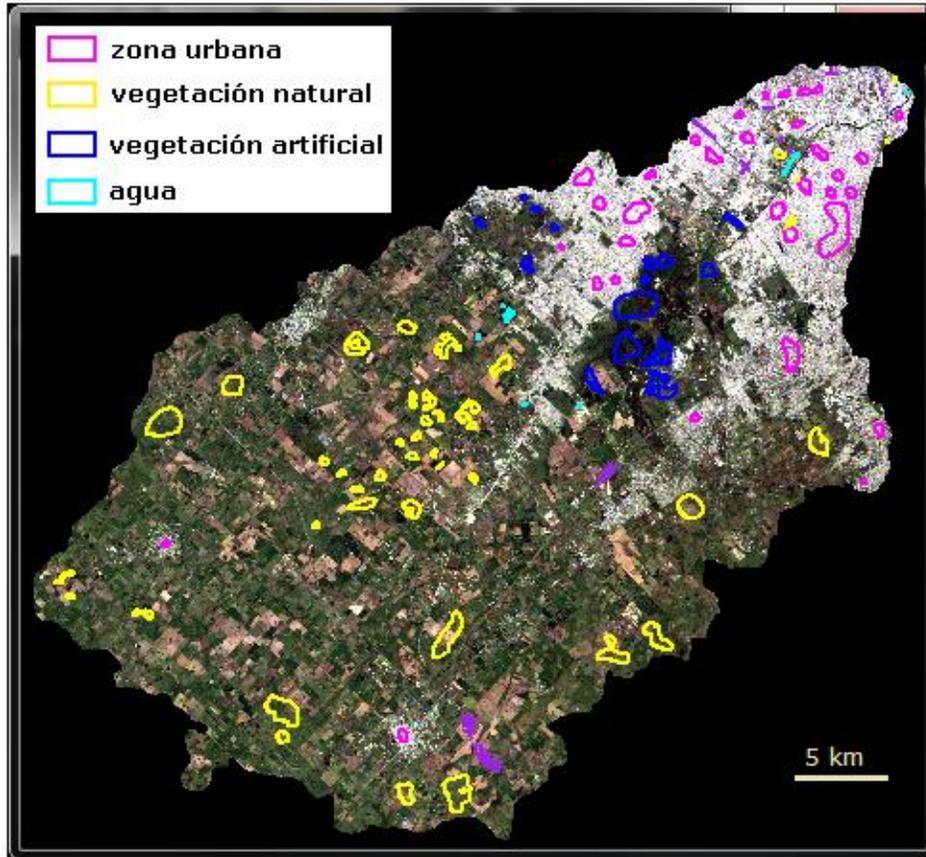


Figura 17 Muestras (ROIs) de verdad de campo sobre la imagen Landsat.

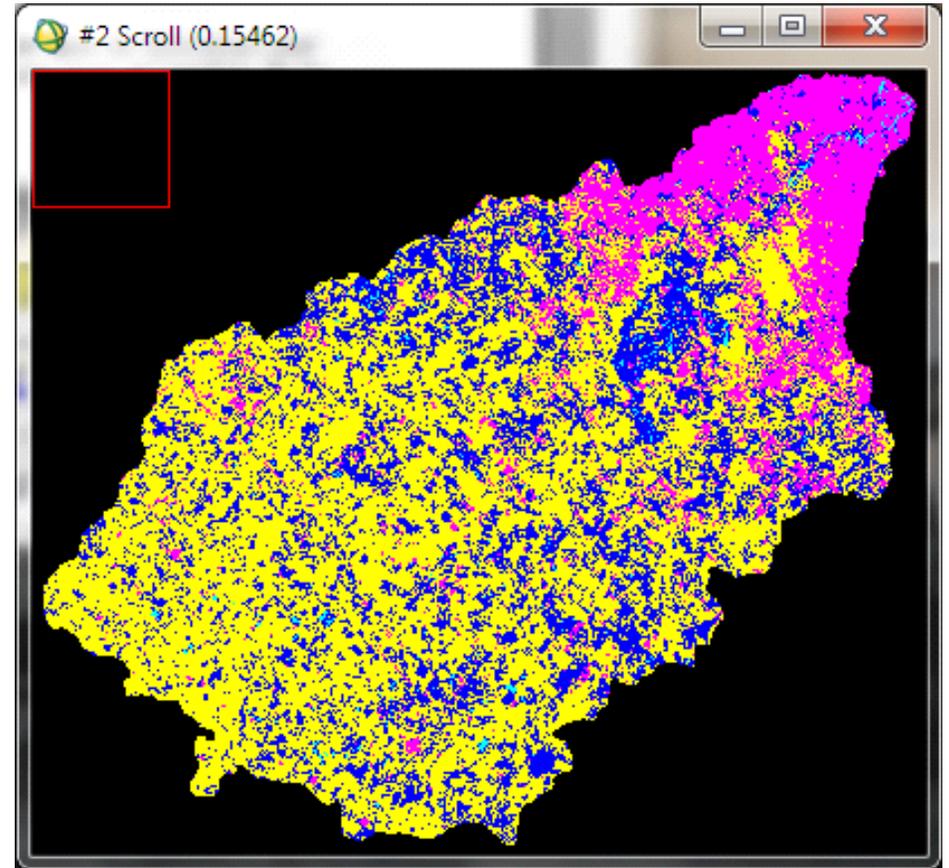


Figura 18 Clasificación supervisada (año 1976). (En azul: vegetación natural, amarillo: vegetación plantada (cultivos y parques), magenta: zona urbana y turquesa: agua)

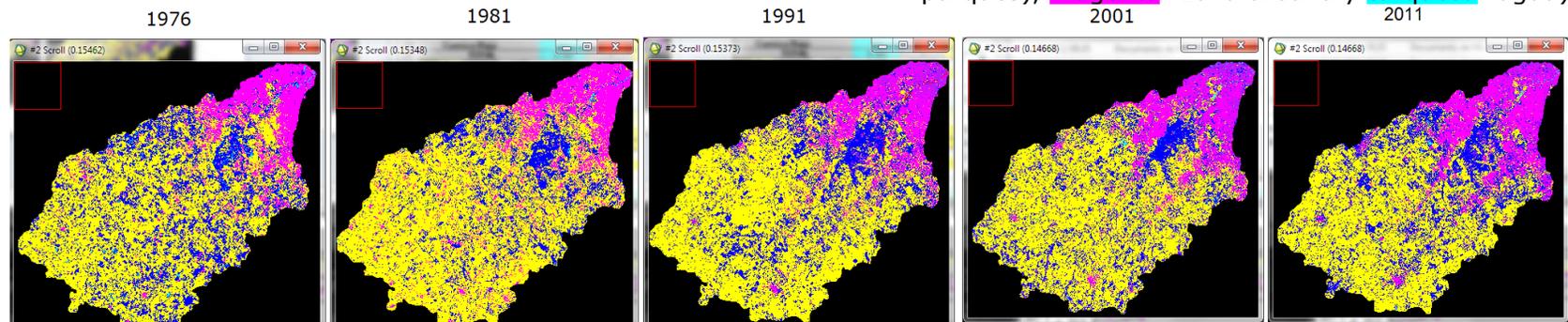


Figura 19 Clasificación Supervisada de 5 años para la cuenca La Matanza Riachuelo.

Para mantener una coherencia de las clasificaciones año a año se procuraba utilizar los mismos ROIs de entrenamiento y se verificaba que la muestra incluya la clase correspondiente, teniendo en cuenta que el cambio de la cuenca fue gradual.

II-D **Post-clasificación: Cuantificación de coberturas en imágenes clasificadas**

Por medio del uso de máscaras de los tres sectores de la cuenca aplicadas a la imagen clasificada se cuantificó el área de cada cobertura, usando la una herramienta estadística de Clases en ENVI (Classification → Postclassification → Class Statistics Classification → Post-classification → Class Statdistics) (Figura 20).

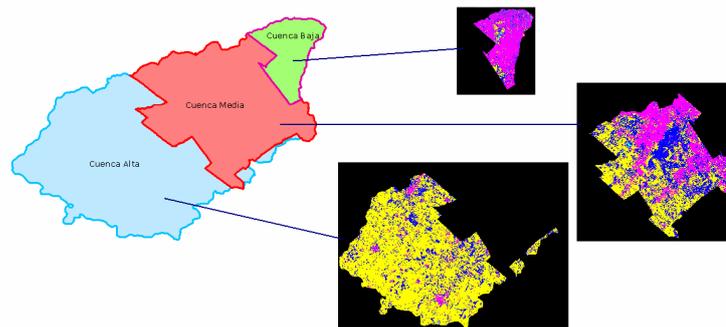


Figura 20 Ejemplo de imagen clasificada en cada sector de la CMR (cuenca baja, media y alta).

Es decir que para cada imagen clasificada, se aplicaron tres máscaras (una por sector de la cuenca) y realizar la cuantificación de cada una y los datos se recopilaron en una planilla de Microsoft Excel (Figura 21).

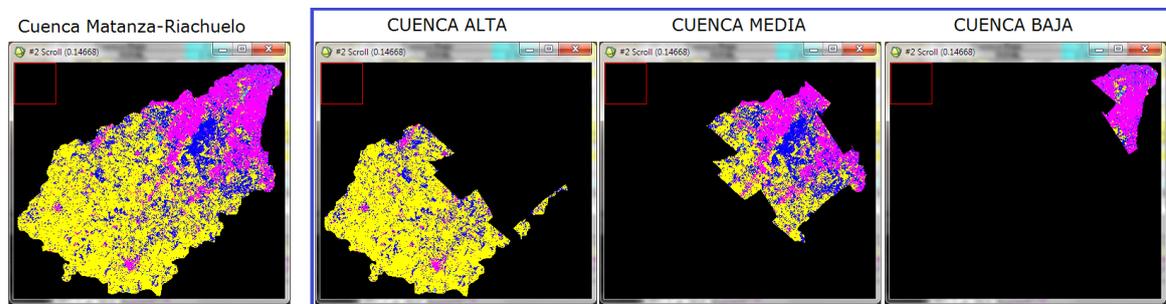


Figura 21 Clasificación de la cuenca total y en sus subdivisiones (cuenca alta, media y baja)

Una vez realizado este proceso para las 32 imágenes Landsat entre los años 1976 y 2011, se construyeron gráficos de la variación temporal de las distintas clases (agua, área construida, vegetación natural y vegetación plantada) para cada sector de la cuenca (alta, media y baja) y cuenca entera (CMR) y finalmente se obtuvieron las curvas de tendencia para cada sitio (se exponen mas adelante).

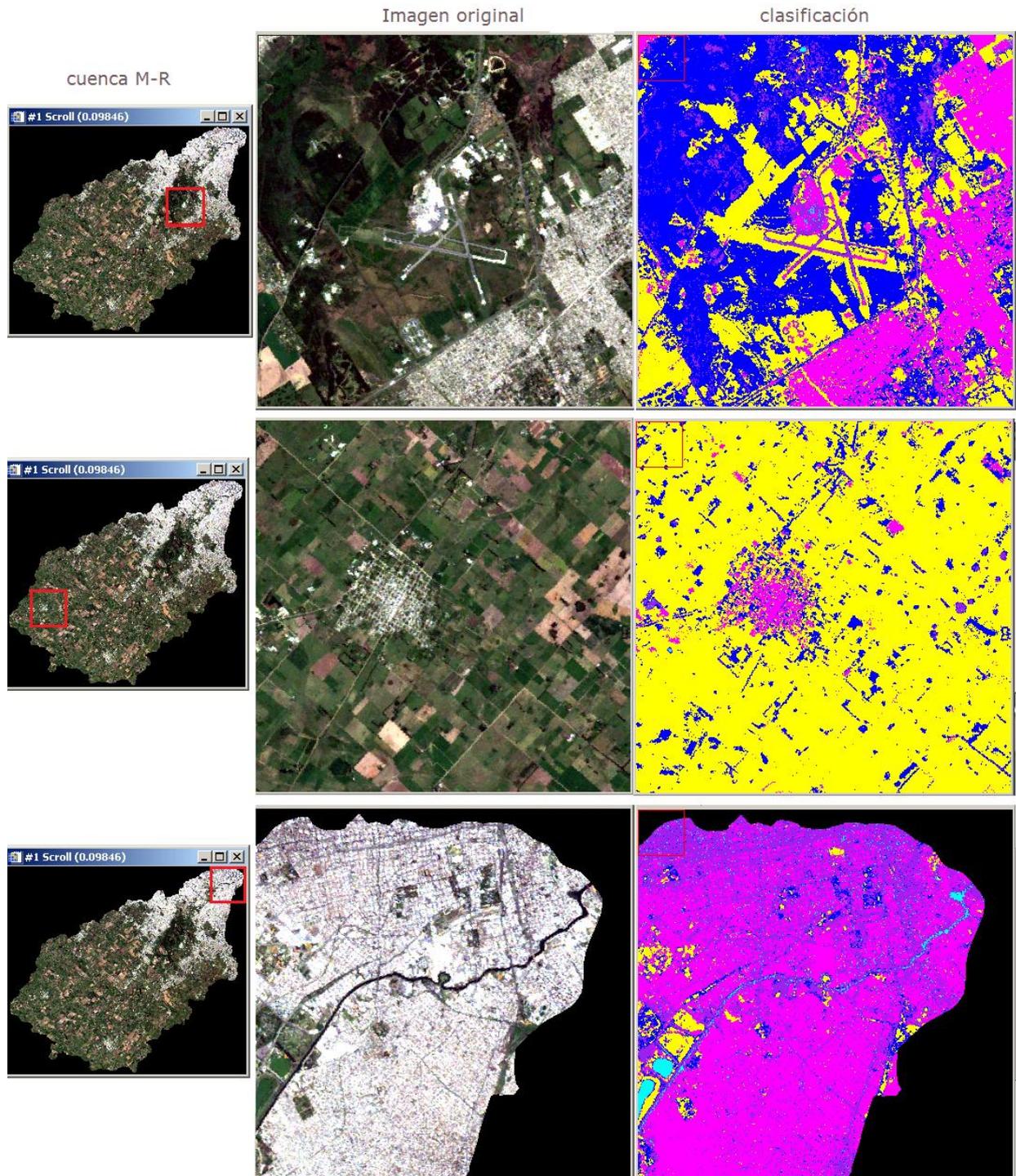


Figura 22 Imagen original y clasificación de algunos sectores de la cuenca: **clase vegetación natural**, **clase urbana** y **clase vegetación artificial**.

Resultados del preprocesamiento y procesamiento de imágenes Landsat

A. Resultados de la calibración

Luego de la calibración varias de las imágenes han mostrado algunos valores negativos, erróneos ya que la reflectancia debe ser un valor positivo porque es el cociente entre la energía reflejada y la incidente. Sin embargo, los valores negativos - principalmente en banda 5- coincidieron con cuerpos de agua del tipo de las tosqueras, mientras que en las Bandas 3 y 4 coincidieron con puntos de valor 0 de ND, que podría deberse a 'huecos' en la imagen (pixeles sin valor).

B. Resultados de la clasificación

Se obtuvieron 32 productos clasificados, de la cuenca, para los años: 1976 a 2011, con excepción de las correspondientes a los años 1983, 1989, 1993 y 1994 (Figura 23).

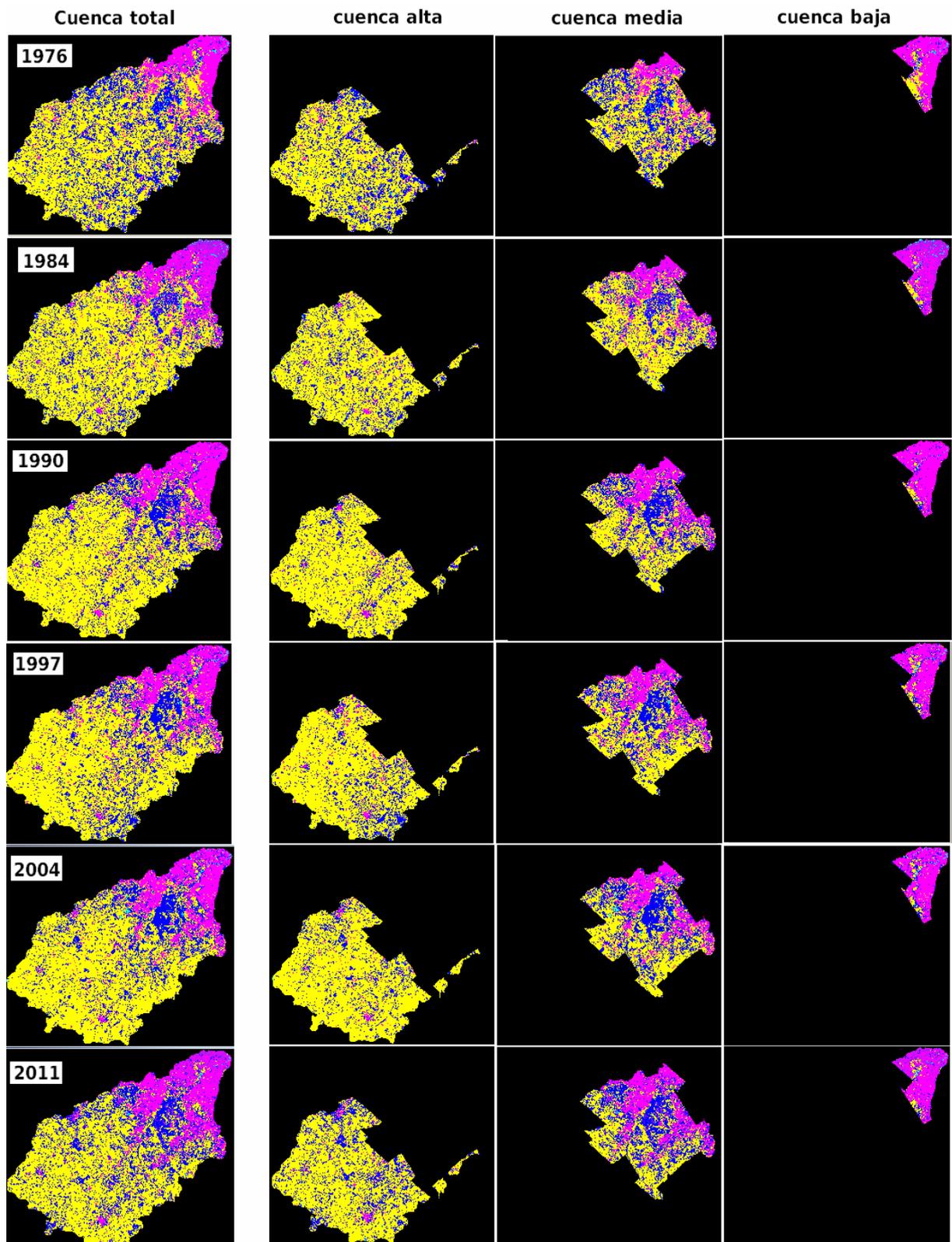


Figura 23 Algunos ejemplos de clasificación de las imágenes Landsat (cuenca total, cuenca alta, media y baja)

C. Exactitud de la Clasificación

Para evaluar la precisión del producto de la clasificación y validar que las clases incluyan realmente el área correspondiente se realizó la Matriz de Confusión para los años: 1977, 1987, 1997 y 2007. Este método consiste básicamente en: (1) conocer la exactitud de la clasificación comparando muestras de píxeles en la imagen original (izquierda en Figura 24) con los correspondientes de la imagen clasificada (imagen

derecha en Figura 24), y (2) cuantificar la exactitud en porcentaje de píxeles clasificados correctamente dentro de esa clase, los faltantes (por error de omisión, es decir, aquellos píxeles que el método de clasificación no incluyó correctamente a la clase a la que pertenecen) y los sobrantes (por error de comisión, es decir, aquellos píxeles que pertenecen a otra clase). Para ver las matrices ir a Tabla 22 en el Apéndice).

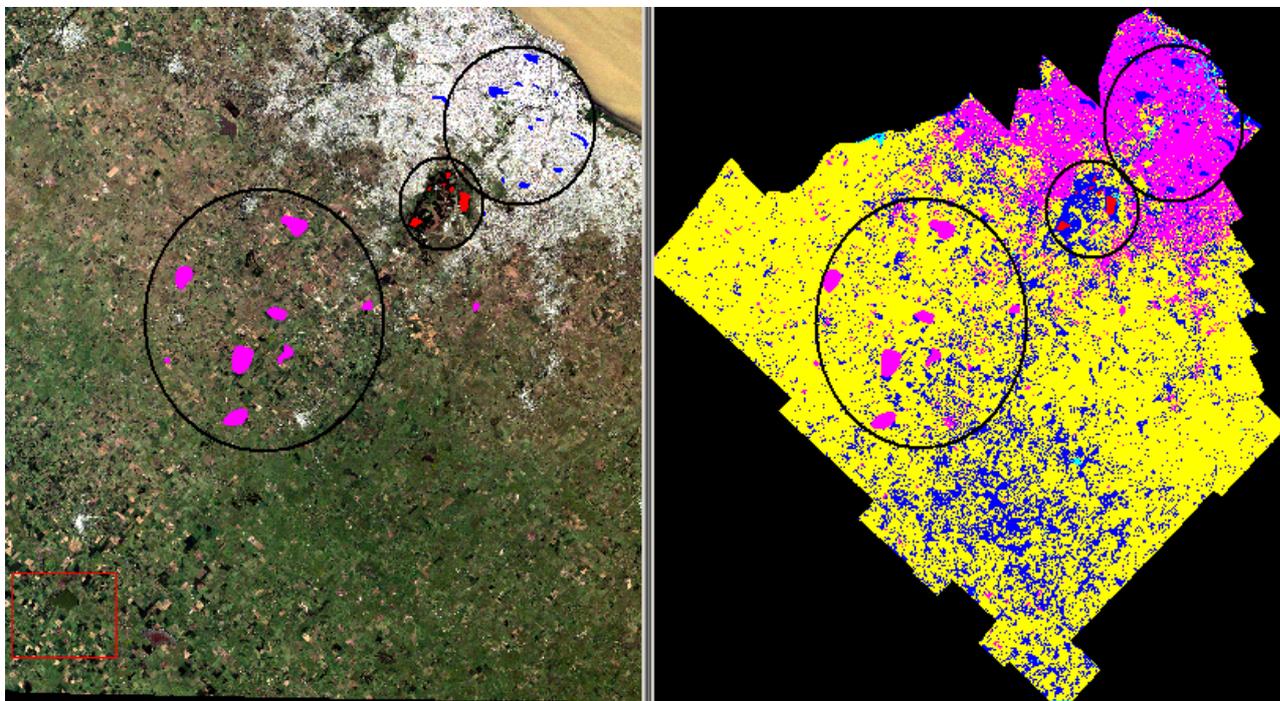


Figura 24 Comprobación de exactitud de la clasificación con muestras en imagen real

En la Tabla 4 se detallan los datos más relevantes de la **Matriz de Confusión** de las imágenes clasificadas para los años 1977, '87, '97 y 2007. Los dos parámetros de exactitud de la matriz: el **Promedio de Exactitud** (que es el cociente entre píxeles correctamente clasificados y el total de los píxeles), y el **Coefficiente Kappa** que omite el resultado producido por el azar y se centra en los obtenidos por la clasificación (entre 0 y 1). Además, el porcentaje de píxeles de las muestras control que fueron correctamente clasificados. Para ver las Matrices de Confusión completas (ver Tabla 22 en el Apéndice).

Tabla 4 Datos de las matrices de confusión de las clasificaciones realizadas para los años que figuran en la primera columna.

AÑO (sensor)	Promedio de Exactitud	Coeficiente Kappa	% de muestra correctamente clasificada			
			Clase Urbana	Clase vegetación plantada	Clase vegetación natural	Clase agua
1977 (MSS)	79,9	0,6	93,2	77,7	71,3	17,8
1987 (TM)	88,5	0,8	90,5	88,4	83,2	100
1997 (TM)	88,1	0,8	93,7	85,8	86,6	100
2007 (TM)	87,1	0,8	91,7	84,7	93,3	100

Las clasificaciones producto de las imágenes MSS presentaron una menor exactitud que las TM.

D. Comparación de clasificación hecha con MSS y TM:

Los siguientes resultados se obtuvieron con la ayuda de Platzek G (Director del Instituto Gulich, CONAE, Arg), Stephen M Howard (del USGS, EROS, EUA), Brenda Jones (Disaster Response Coordinator USGS EROS Center, EUA) y Sebastián Martinuzzi (SILVIS Lab, EUA).

AÑO 1991

Debido a que la serie temporal 1976 – 2011 incluye imágenes adquiridas de los sensores MSS y TM, ambos presentan diferencias con respecto al ancho espectral de bandas. De todas formas, los productos MSS y TM se adquieren calibrados de forma consistente entre ambos sensores, porque la calibración absoluta se estimó con escenas de datos adquiridos simultáneamente por ambos sensores a bordo del Landsat 5.

Tabla 5 Longitudes de onda (μm) de las bandas de los sensores MSS y sensor TM respectivamente.

	MSS	TM
Banda 1	0,5 - 0,6	0,45 - 0,52
Banda 2	0,6 - 0,7	0,52 - 0,60
Banda 3	0,7 - 0,8	0,63 - 0,69
Banda 4	0,8 - 1,1	0,76 - 0,9
Banda 5	-	1,55 - 1,76
Banda 6	-	térmica
Banda 7	-	2,08 - 2,35

Debido a estas diferencias se realizó una comparación en base a la clasificación de una imagen del mismo año y día, con el sensor MSS y TM.

El procedimiento usado tanto para la imagen adquirida del sensor TM como la del MSS, fue similar para todas las imágenes: Georeferenciación → creación de rois de entrenamiento (los mismos para ambas imágenes) → Clasificación supervisada: Mahalanobis Distance → Proyección en UTM → Creación de máscara de la cuenca → Estadística de la imagen clasificada (Figura 25):

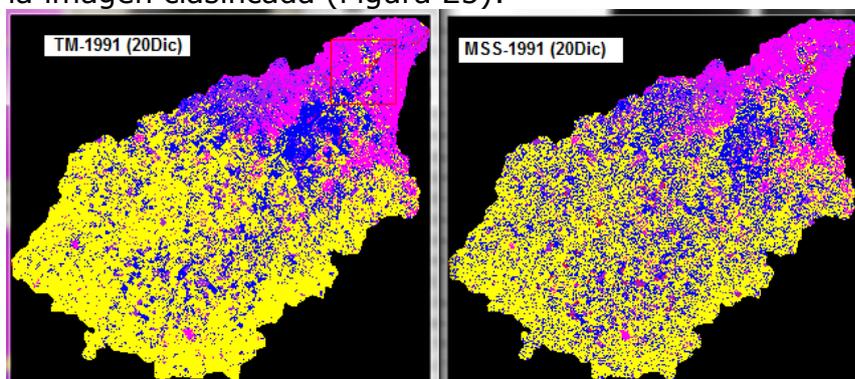


Figura 25 Clasificación de imágenes Landsat MSS y TM (Mahalanobis Distance)

	1991 MSS	1991 TM
Agua	0.3	0.1
Ciudad	6.6	6.8
Veget cultivada	29.1	33.2
Veget natural	14.5	10.7
calles y avenidas	5.6	5.4

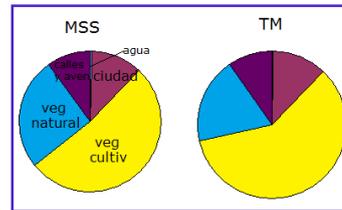


Figura 26 Proporción de clases

Los resultados del análisis estadístico 't' para medias de dos muestras emparejadas demuestran que la clasificación Mahalanobis realizada con el sensor MSS y TM no son significativamente diferentes para el año 1991 ($p > 0,05$).

AÑO 1992

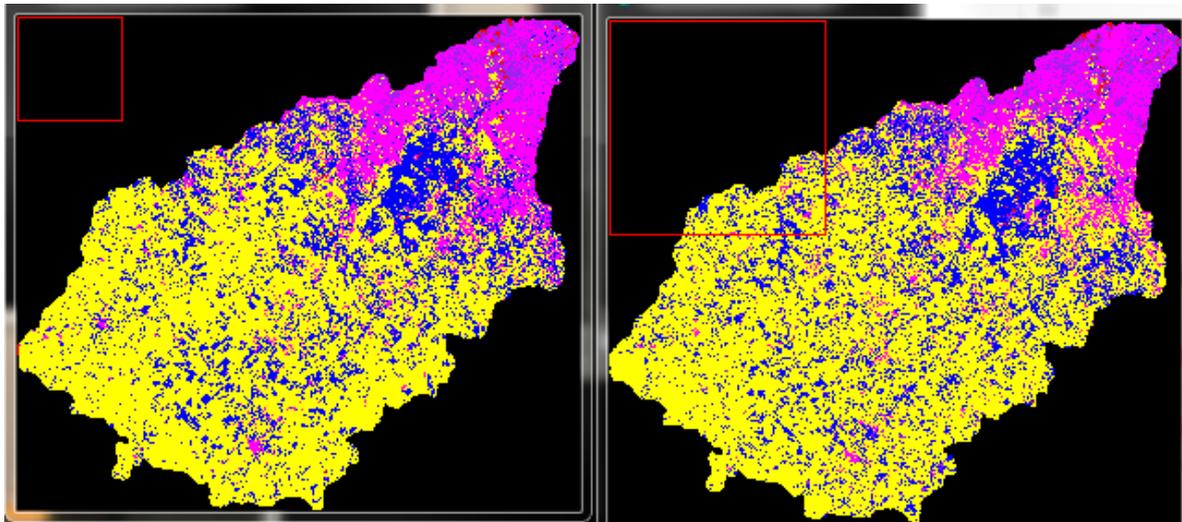
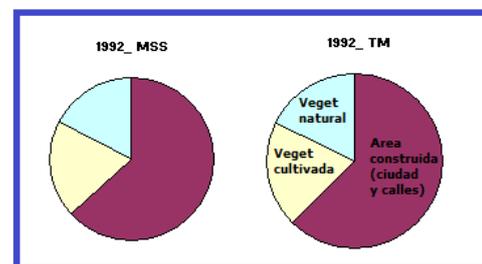


Figura 27 Clasificación de imágenes Landsat MSS y TM (Mahalanobis distance)

	1992 MSS	1992 TM
agua	0.2	0.2
ciudad	6.0	7.5
veget cultivada	35.2	34.8
veget natural	11.0	11.2
calles y avenidas	3.9	2.6
ciudad+calles_aven	9.9	10.1



Al igual que para el año 1991, los medias de las clases del año 1992 de las clasificaciones realizadas con ambos sensores (MSS y TM) no muestran diferencias significativas entre ($p > 0,05$) según el análisis estadístico 't'.

E. Coberturas de las Clases

Por medio del análisis temporal de las clasificaciones, se obtuvieron las coberturas: urbanizada (o edificada), vegetación natural y vegetación plantada (cultivos y parques) como porcentaje del área total de la CMR, desde el año 1976 al 2011.

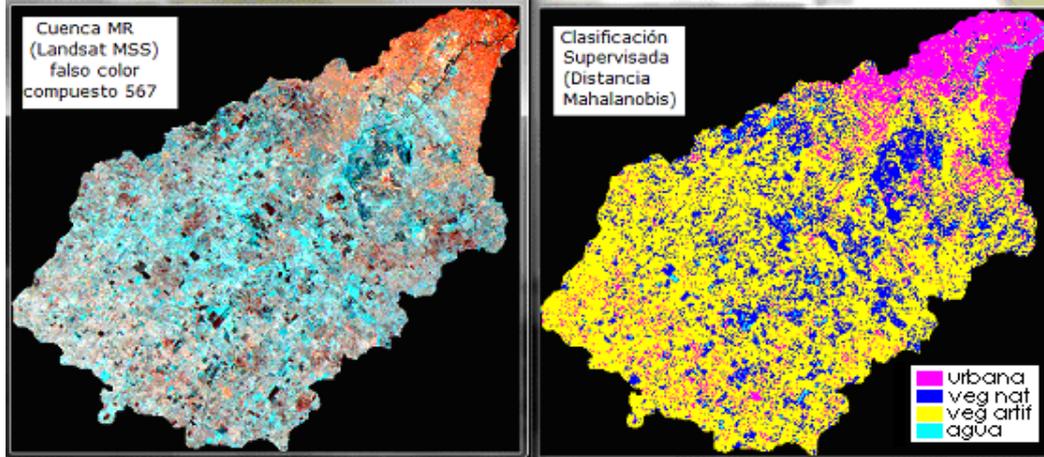


Figura 28 Imagen Landsat MSS de la Cuenca La Matanza Riachuelo vista como combinación de bandas y Clasificada

En base al análisis de la cuenca total, la clase de mayor cobertura fue la de la vegetación plantada (cultivos y parques) principalmente área cultivada (Figura 29).

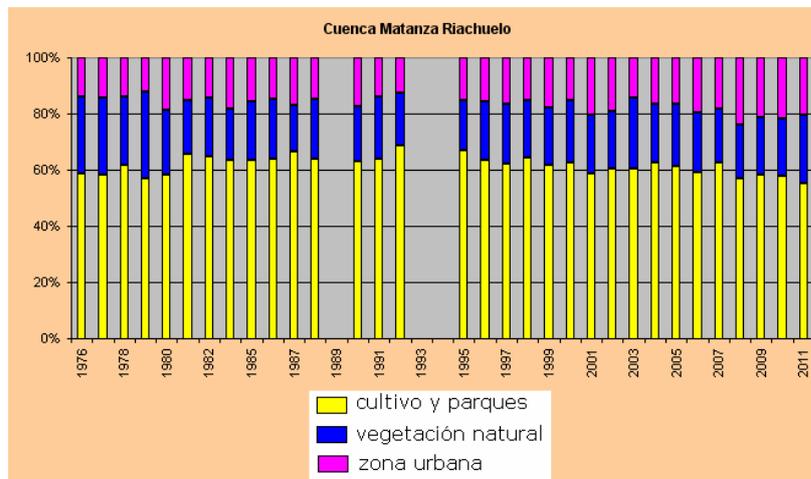


Figura 29 Variación temporal de la zona cultivada, áreas naturales y zonas urbanas.

Sin embargo, estas coberturas fueron cambiando a través de los años y también espacialmente. Las tendencias de los tres tipos de cobertura para los años estudiados fueron las siguientes:

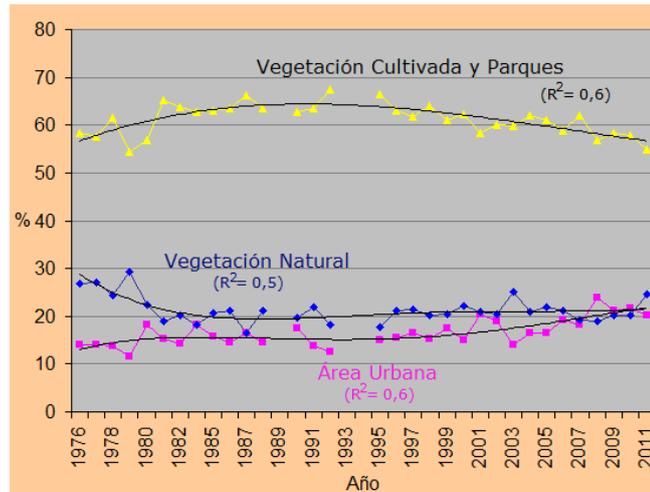


Figura 30 Variación temporal de la vegetación natural y plantada y del área urbanizada en la CMR total (para el año 1983 se promedió los valores de 1982 y 1984).

Las ecuaciones de las funciones de tendencia se exponen a continuación.

	Cuenca Alta	Cuenca Media	Cuenca Baja
Vegetación Plantada	$y = 0.0006x^3 - 0.0483x^2 + 1.1579x + 34.483$	$y = 6E-05x^3 - 0.013x^2 + 0.2718x + 19.183$	$y = -7E-05x^3 + 0.0048x^2 - 0.113x + 1.8203$
Vegetación natural	$y = -0.0008x^3 + 0.0548x^2 - 1.1336x + 15.599$	$y = -0.0004x^3 + 0.0293x^2 - 0.5521x + 13.097$	$y = -4E-05x^3 + 0.0012x^2 - 0.0009x + 0.693$
Urbana	$y = 0.0002x^3 - 0.0089x^2 + 0.0618x + 1.7421$	$y = 0.0004x^3 - 0.0176x^2 + 0.3144x + 5.5243$	$y = 0.0001x^3 - 0.0064x^2 + 0.1146x + 5.9393$

En el gráfico de la Figura 30 se puede visualizar claramente una tendencia de aumento paulatino del área urbana desde 1976 hasta 2011. En el caso de la vegetación natural, la tendencia indica que disminuyó a fines de los años '70 y luego se mantiene aproximadamente similar hasta la actualidad, mientras que por el contrario, la vegetación artificial muestra una dinámica inversa a la natural a finales de los '70, pero desde inicios de los '90 disminuye lentamente.

La **cuenca alta** es una zona básicamente rural, mientras que la **cuenca baja**, donde se encuentra la Capital Federal (CABA), es una zona altamente urbanizada (SAyDSN-ACUMAR, 2006), que en la imagen Landsat (Figura 31) se visualiza en turquesa (falso color compuesto).

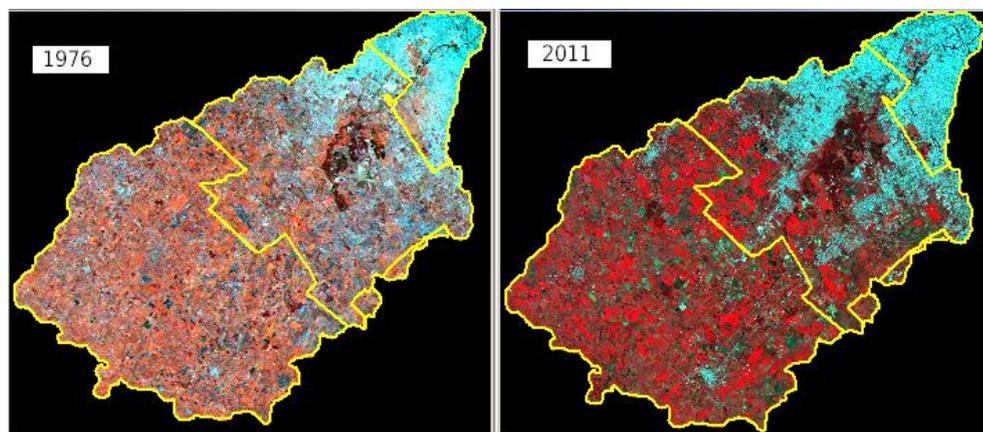


Figura 31 Imagen Landsat de la CMR en 1976 y 2011, donde se puede visualizar la zona urbanizada en turquesa y la zona agrícola en rojo.

Por medio del análisis temporal de las imágenes clasificadas, se obtuvo el área de las coberturas: urbana, vegetación natural y vegetación plantada (cultivos y parques) como porcentaje del área total de la CMR, desde el año 1976 al 2011. En el gráfico de la Figura 32 se muestran los resultados.

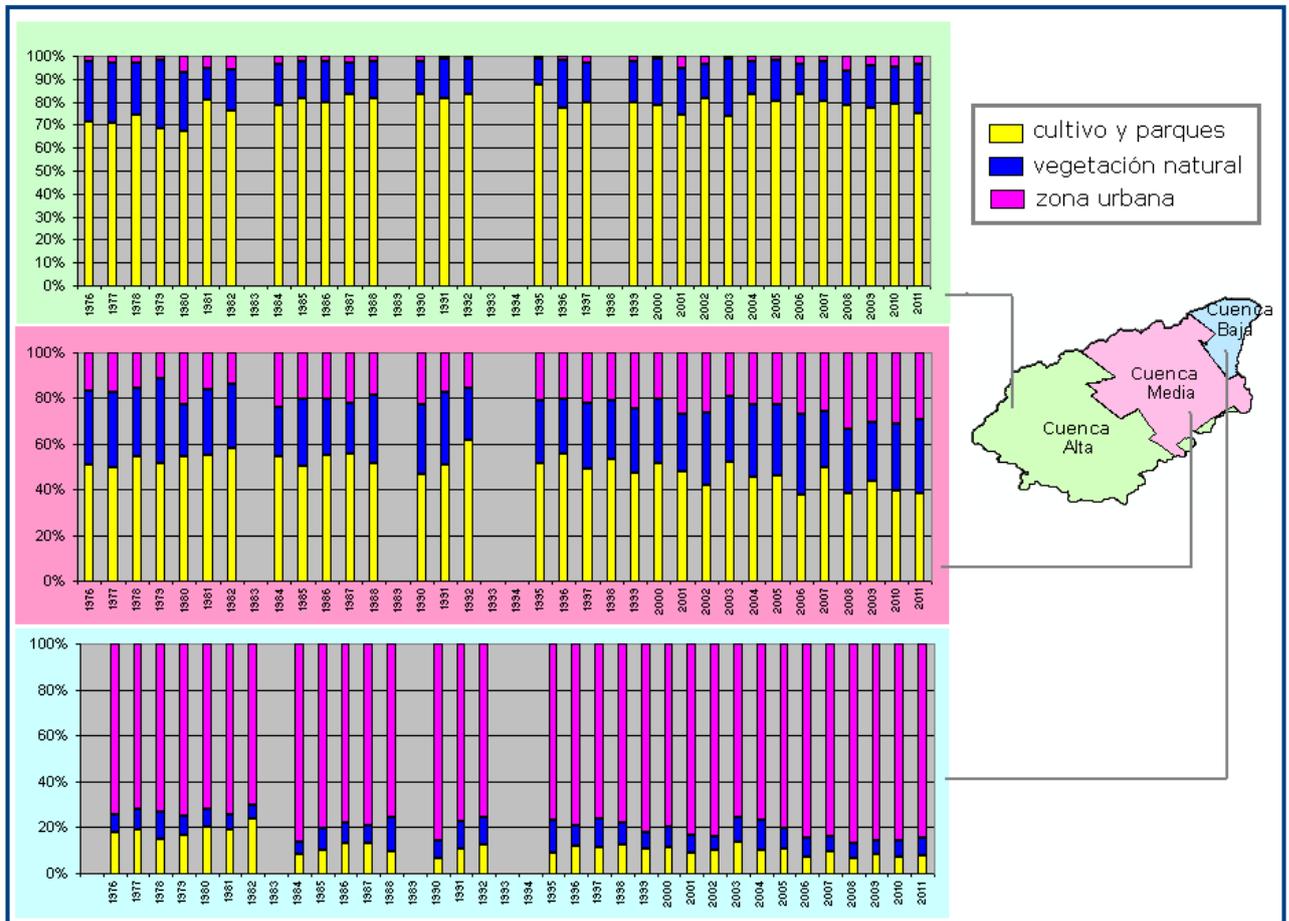


Figura 32 Variación espacial y temporal de las coberturas: urbana, vegetación plantada y natural.

Se verá un análisis más detallado del área urbana en la sección 'Indicador demográfico' y de las áreas verdes en la sección 'Indicador de Vegetación'.

A. INDICADOR DEMOGRÁFICO

Población de la CMR en 2010

El crecimiento urbano sin planificación y en forma desordenada, incide negativamente en el ambiente porque produce contaminación del aire y agua, colapso de la red cloacal, generación de mayores cantidades de residuos, aumento de establecimientos industriales, para citar algunos ejemplos.

Algunas de las consecuencias del crecimiento urbano progresivo es el avance sobre ambientes naturales, de pavimentaciones o trazados de calles que merman la capacidad de absorción proveniente de las precipitaciones. Este proceso no está acompañado siempre de adecuados sistemas de desagües por lo que se generan inconvenientes en el drenaje como anegamiento de calles y viviendas.

En Argentina la población tiene una distribución muy desigual, concentrándose en la zona del Área Metropolitana de BsAs (AMBA) donde se encuentra la cuenca La Matanza-Riachuelo (CMR).

El área que ocupa la cuenca MR fue y es el de mayor densidad poblacional del país, y un elevado porcentaje de los habitantes se encuentra entre los de más bajo nivel de calidad de vida, ambos componentes son los principales determinantes de la calidad ambiental del sitio.

Aproximadamente el 65% de la población de la cuenca tiene acceso a agua de red, y sólo un 40% posee servicios cloacales. Las áreas con mayor proporción de hogares con NBI se encuentran en asentamientos sobre el valle de inundación del río, con lo que aumenta la contaminación y los riesgos para la salud de la población (ACUMAR, 2006).

Breve historia de la CMR

Los primeros habitantes

Los asentamientos humanos en el AMBA se pueden remontar hasta hace unos 9.000 años. En aquella época transitaban en ese territorio, ejemplares de la llamada megafauna como gliptodontes y megaterios que convivían con grupos humanos reducidos, de forma de vida nómada, que se dedicaban a la caza de estos animales y a la recolección de frutos silvestres. La extinción de esta fauna y el desarrollo de nuevas especies produjeron una adaptación de los grupos humanos originarios a su nuevo hábitat lo que provocó cambios en el tipo de herramientas y armas que utilizaban. Sin embargo, siguieron siendo sus actividades principales la caza, la recolección y la pesca.

Cuando llegaron los europeos a la zona de la actual Capital Federal argentina en 1536, el territorio estaba habitado desde hacía más de 1000 años por grupos aborígenes pertenecientes a los querandíes (Domínguez, 1861).

Los primeros contactos de estas comunidades con los europeos fueron pacíficos, pero en 1541, los pueblos querandíes junto a los guaraníes, fueron obligados a abandonar Buenos Aires y trasladar su población hacia Asunción, y fueron totalmente emancipados de la Capital hacia finales del 1500 (Agostino, 2004; Greenpeace, 2010).

La colonización española

El principal factor para elegir la localización de la Ciudad Autónoma de BsAs (CABA), al igual que ocurrió para la mayor parte de las ciudades del mundo, fue el agua: por su disponibilidad como agua potable y además como medio de transporte.

Los dos fundadores de Buenos Aires, Juan de Garay (1530) y Pedro de Mendoza en (1580) buscaron un sitio con un puerto natural y fue el río Riachuelo el principal motivo de que la ciudad de BsAs esté donde está (Cosmelli Ibañez, 1968).

Desde el punto de vista hidrológico, el Riachuelo se comporta como un típico río de llanura, lo que explica su dificultad natural para absorber y depurar la carga contaminante: es lento, de caudal sumamente irregular (oscila entre 2 y 1160 m³/seg), tiene una muy escasa pendiente hacia la desembocadura (promedio: 0,35 m/km) y está influenciado por las mareas del Río de la Plata que alteran decididamente su capacidad de evacuación (Greenpeace, 2010).

El Río Matanza que nace de la confluencia de los arroyos Los Pozos y Cañuelas (Figura 4 en 'Área de estudio'), recorría la llanura hasta donde comenzaba el Riachuelo de los Navíos, se convirtió entonces en la columna vertebral de los primeros asentamientos.

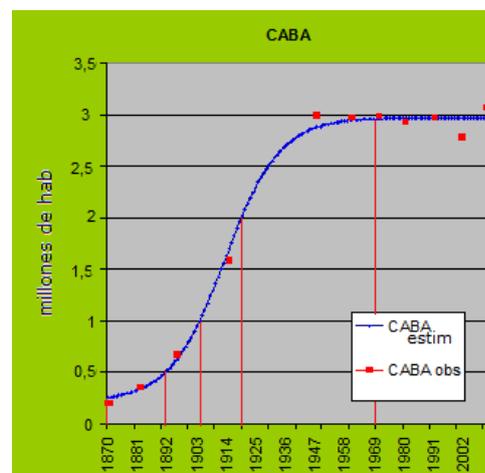
Desde el momento de la segunda fundación en 1580 la ciudad experimenta un sostenido crecimiento debido a que el país se conforma en torno a la ruta que lleva la plata del cerro del Potosí hacia el puerto de BsAs para su salida hacia España, y hasta 1810 la economía se basa en la producción de plata para satisfacer las necesidades de la metrópoli. La concepción colonial apuntaba a mantener enormes espacios vacíos y a bloquear el crecimiento económico de la colonia para impedir su autonomía, y por lo tanto se impiden grandes intervenciones sobre el medio natural. Además, en tiempos de colonización la urbanización se regía por leyes que prohibían los asentamientos en zonas inundables (valle de inundación, ver Figura 3) y por lo tanto la influencia del hombre sobre el Riachuelo en estos momentos fue baja.

Fase de independencia

Entre 1810 y 1860, la ruptura de Argentina con España significa la desintegración de un modelo social y político y surgen asentamientos en el valle de inundación y la contaminación de la cuenca se relaciona al precario nivel de desarrollo alcanzado (Greenpeace, 2010).

La expansión urbana de la ciudad de BsAs aumentó fuertemente desde principios del 1900. En 1869, el primer censo registraba casi 200.000 habitantes en la capital federal, y según estimaciones esa cifra se duplicó luego de 17 años (1887), 14 años después, en 1900 la población se vuelve a duplicar (casi 800.000 habitantes) y se necesitan sólo 14 años más (1914) para volver a duplicarla (aproximadamente 1,6 millones de habitantes), y desde 1967, el crecimiento demográfico porteño se mantiene sin aumentos significativos y actualmente (2011) la población supera los 3 millones de habitantes (según los resultados provisionales del censo 2010 del INDEC la población es de 3.058.309 hab) (INDEC, 2011).

En este contexto histórico antes mencionado y el crecimiento urbano, la ocupación urbana ocurrió sin considerar el ambiente natural, reemplazando aceleradamente el área natural por superficie pavimentada (impermeable). Los problemas ambientales actuales de la CMR derivan de la falta de planificación, una rápida urbanización, la carencia de fiscalización, del cumplimiento efectivo de la



legislación ambiental y la escasez de recursos para el desarrollo de la infraestructura (Maciel & Groisman, 2001; Greenpeace, 2010; Valerio Filho et al, 2000).

Metodología: Población de la CMR

Para la obtención de los datos demográficos necesarios en el cálculo del Indicador Demográfico, se recurrió a datos censales del área de estudio.

Datos de Censos Poblacionales de la CMR

Los datos de los censos poblacionales de cada partido de la CMR se obtuvieron de las siguientes fuentes:

- Argentina censo 2010: INEDEC: www.indec.gov.ar
- Provincia de Buenos Aires: censos de 1869, 1881, 1895, 1914, 1947, 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001, de la Direcc Pcial de Estadíst (DPE) del Ministerio de Economía de la Pcia de BsAs:
 - Ministerio de Economía de la Pcia de BsAs, Direcc Pcial de Estadíst (DPE): <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/pobvivob.html>
 - Dirección General de Estadísticas y Censos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires: http://www.buenosaires.gob.ar/areas/hacienda/sis_estadistico/areas_tematicas/dinamica_estructura/censo_poblacion.php
 - Dirección provincial de ordenamiento urbano y territorial, Subsecretaría de urbanismo y vivienda, Ministerio de infraestructura, Gobierno de la provincia de Buenos Aires
- CABA en 1855, 1869, 1887, 1895, 1904, 1909, 1914, 1936, 1947, 1960, 1970, 1980, 1991, 2001,
 - del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) www.indec.mecon.gov.ar)
 - Último censo (2010) de los resultados provisionales de INDEC (6Jun2011) en: http://www.censo2010.indec.gov.ar/preliminares/cuadro_24.asp

A continuación se presentan los datos censales de la población total por partido:

	CABA	Avellaneda	Lanús	Lomas de Zam	TOTAL CUENCA BAJA		
1869	187.126	4.211	3.792	394	195.523		
1881	351.292	4.338	3.906	1.472	361.008		
1895	663.854	9.773	8.801	5.901	688.329		
1914	1.575.814	144.739	130.346	59.874	1.910.773		
1947	2.981.043	273.839	244.473	127.880	3.627.235		
1960	2.966.634	326.531	375.428	272.116	3.940.709		
1970	2.972.453	337.538	449.824	410.806	4.170.621		
1980	2.922.829	334.145	466.980	510.130	4.234.084		
1991	2.965.403	344.991	468.561	574.330	4.353.285		
2001	2.776.138	328.980	453.082	591.345	4.149.545		
2010	3.058.309	340.985	453.500	613.192	4.465.986		
	Morón	Merlo	La Matanza	Ezeiza	Esteb Echev	Almirante Brown	TOTAL CUENCA MEDIA
1869	1.480	2.469	3.248	812	544	574	9.126
1881	2.333	2.827	3.771	1.040	2.036	2.772	14.779
1895	3.343	3.595	4.498	1.149	8.161	5.738	26.483
1914	10.445	6.990	17.935	1.438	3.635	14.094	54.537

1947	46.807	19.865	98.471	2.309	13.734	39.700	220.885
1960	145.039	100.146	401.738	3.428	50.223	136.924	837.498
1970	206.150	188.868	659.193	3.663	80.055	245.017	1.382.946
1980	253.844	292.587	949.566	4.340	136.071	331.919	1.968.327
1991	272.989	390.858	1.121.298	5.282	198.639	450.698	2.439.764
2001	309.380	469.985	1.255.288	118.807	243.974	515.556	2.912.990
2010	319.934	524.207	1.772.130	160.219	298.814	555.731	3.631.035
	Marcos Paz	Gral Las Heras	Cañuelas	San Vicente	Pte Perón	TOTAL CUENCA ALTA	
1869	4.359	2.303	3.937	3.823	637	15.059	
1881	3.869	3.676	5.045	5.721	1.428	19.739	
1895	3.659	3.711	5.573	6.901	3.938	23.782	
1914	4.986	5.342	6.975	5.411	2.014	24.728	
1947	7.783	6.311	11.198	7.199	6.136	38.627	
1960	12.604	7.388	16.627	23.070	22.076	81.764	
1970	15.070	7.480	17.767	35.261	31.095	106.673	
1980	20.225	9.371	21.051	50.213	58.442	159.302	
1991	29.104	10.987	25.618	67.366	84.654	217.729	
2001	43.400	12.799	42.575	44.529	60.191	203.494	
2010	53.462	14.889	50.526	59.708	81.147	259.732	
				Cuenca TOTAL			
				1869		219.708	
				1881		395.526	
				1895		738.595	
				1914		1.990.039	
				1947		3.886.747	
				1960		4.859.971	
				1970		5.660.240	
				1980		6.361.713	
				1991		7.010.778	
				2001		7.266.029	
				2010		8.356.753	

Tabla 6 Población censal de los partidos enteros de la Cuenca BAJA, MEDIA, ALTA y TOTAL de la Cuenca La Matanza-Riachuelo.

Dado que se necesita conocer el tamaño poblacional de años que en muchos casos no coinciden con los años de los censos, los datos faltantes fueron estimados.

Estimaciones de la población (N) en los partidos de la CMR

Las estimaciones se realizaron en base a los **datos censales** (1869 a 2010) y dado que el área de algunos partidos ha ido modificándose desde el primer censo hasta la actualidad, los cálculos de la población se realizaron teniendo en cuenta un área constante que es la que actualmente ocupa dicho partido, y en base a la densidad poblacional de los partidos de los que formaba parte en ese momento (ver Tabla 7 abajo).

Para citar un ejemplo, los actuales partidos de Avellaneda y Lanús formaban uno solo que en 1869 y 1895 se denominaba Barracas al Sur (creado el 07/04/1852), y en 1914 Avellaneda. Por este motivo, el cálculo de la población de Avellaneda y Lanús en 1869 se obtuvo a partir de la densidad poblacional de Barracas del Sud (0,76 hab/ha) y a partir de ese valor se calculó la población en el área actual para ambos partidos

(Avellaneda: 5.574 has, Lanús: 5.020), es decir, 4.211 habitantes en Avellaneda en el año 1869.

Tabla 7 Año de fundación y área (has) de los partidos de la CMR.

	Año fund	1800			1900						2000	
		'69	'81	'95	'14	'47	'60	'70	'80	'91	'01	'10 (Área final)
CABA	1580	20.517	=	=	=	=	=	=	=	=	=	20.517
Avellaneda (Av)	1852	Av + Lan	Av + Lan	Av + Lan	Av + Lan	5.574	=	=	=	=	=	5.574
Lanús (Lan)	1944	0	0	0	0	5.020	=	=	=	=	=	5.020
Lomas de Zamora (LdZ)	1861	LdZ + AlmB + EstE	LdZ + EstE	LdZ + EstE	8.861	=	=	=	=	=	=	8.861
Morón (Mo)	1784	13.100	=	=	=	=	=	=	=	=	5.557 (cede a Ituz y Hurí)	5.557
Merlo (Me)	1864	17.341	=	=	=	=	=	=	=	=	=	17341
La Matanza (LM)	1778	LM+ MPZ	32.651 LM	=	=	=	=	=	=	=	=	32.651
Ezeiza (Eze)	1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.688	24.688
Esteban Echeverría (EstE)	1913	0	0	0	12.253 EstE + 4.759 PP	=	=	=	=	=	12.253 (cede 4.759 a PP)	12.253
Amirante Brown (AlmB)	1873	0	12.911	=	=	=	=	=	=	=	=	12.911
Marcos Paz (MPz)	1878	0	43.817	=	=	=	=	=	=	=	=	43.817
General Las Heras (GLH)	1864	75.268	=	=	=	=	=	=	=	=	=	75.268
Cañuelas (Cañ)	1822	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	Cañ + Eze	119.748 Cañ	119.748
San Vicente (SV)	1785	74.000	=	=	=	=	=	=	=	=	66.457 SV (cede 7.399 a PP)	66.457
Pte Perón (PP)	1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.158	12.158

En base a los censos de 1869, 1895, 1914, 1945, 1960, 1970, 1980, 1991, 2001 y 2010 se modeló el crecimiento poblacional de forma de estimar la población en años intercensales y anteriores a los censos.

En la Tabla 5 se exponen las ecuaciones del crecimiento poblacional obtenidas para cada partido utilizando el software Origin®7_SR2.

El crecimiento se ajustó a dos tipos de modelos: el de crecimiento logístico boltzmanniano (función sigmoidea) y el crecimiento exponencial (Figura 33), el primero para algunos de los partidos que han alcanzado la capacidad de carga de la población, mientras que otros se encuentran en fase de crecimiento exponencial, respectivamente (Tabla 8).

Tabla 8 Ecuaciones, parámetros y gráficos de las curvas de ajuste del crecimiento poblacional en los partidos de la CMR.

Partidos	Modelo de crecimiento	Ecuación	Parámetros	Gráfico
CABA	Logístico-Boltzmanniano (R ² : 0.995)	$N_t = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp((x - x_0)/dx)}$	A1: 213459.17 A2: 2967021.74 x0: 1913.49 dx: 10.23	
Avellaneda	Logístico-Boltzmanniano (R ² : 0.995)		A1: -17811.59 A2: 339540.39 x0: 1919.66 dx: 14.14	
Lanús	Logístico (R ² : 0.982)		A1: -5177.26 A2: 484002.32 x0: 1939.27 Dx: 17.15	
Lomas de Zamora	Logístico (R ² : 0.997)		A1: 13313.45 A2: 619539.85 x0: 1963.03 dx: 11.35	
Morón	Logístico (R ² : 0.996)	$N_t = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp((x - x_0)/dx)}$	A1: 1784.40 A2: 315755.13 x0: 1963.54 dx: 11.31	
Merlo	Logístico (R ² : 0.998)		A1: -105.51 A2: 562330.61 x0: 1979.50 dx: 12.64	
La Matanza	Logístico (R ² : 0.)		A1: -31062.38 A2: 2443362.87 x0: 1993.17 dx: 21.46	
Ezeiza	Logístico (R ² : 0.999)		A1: 2268.33 A2: 160878.39 x0: 1998.94 dx: 2.02	
Esteban Echeverría	Exponencial (R ² : 0.964)	$N_t = A_1 * \exp(x/t_1) + y_0$	y0: 7320.47 A1: 9.569E-30 t1: 25.28	

Amirante Brown	Logístico (R ² : 0.998)	$N_t = A2 + (A1 - A2) / (1 + \exp((x - x_0)/dx))$	A1: 1930.67 A2: 590632.61 x0: 1975.93 Dx: 12.83	
Marcos Paz	Exponencial (R ² : 0.996)	$N_t = a * \exp(x/t) + No$	No: 3385.06 a: 1.1178E-27 t: 27.57	
General Las Heras	Exponencial (R ² : 0.985)		No: 2279.26 a: 7.8909E-13 t: 53.89	
Cañuelas	Exponencial (R ² : 0.983)		No: 4058.63 a: 1.0498E-22 t: 32.76	
San Vicente	Logístico (R ² : 0.946)	$N_t = A2 + (A1 - A2) / (1 + \exp((x - x_0)/dx))$	A1: 5398.64 A2: 57246.87 x0: 1966.28 dx: 7.02	
Pte Perón	Logístico (R ² : 0.955)		A1: 2647.01869 A2: 76926.98 x0: 1971.30 dx: 7.65	

El crecimiento que describe una población es en una primera etapa exponencial (maltusiana), progresión geométrica, dado que con un bajo número de habitantes los recursos son abundantes y por lo tanto la población puede seguir aumentando.

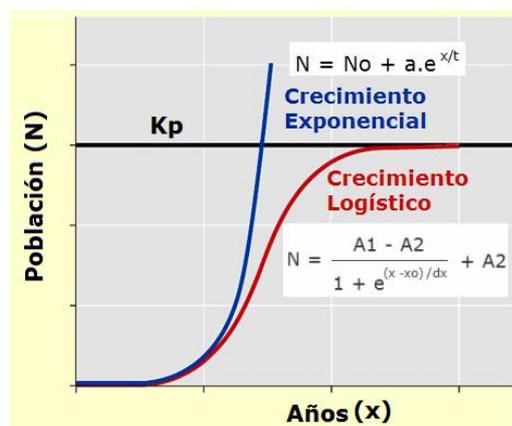


Figura 33 Tipos de crecimiento poblacional: Exponencial y Logístico o sigmoideo

La expresión que describe la curva de este crecimiento exponencial es:

$$N = N_0 + a \cdot e^{x/t}$$

Ecuación
Exponencial

donde N_0 la población inicial, a es la amplitud y junto con t son dos constantes que determinan el crecimiento al cabo de t períodos de tiempo; N es la población resultante en el año x (Martinez-Mediano *et al*, 1996).

A medida que la población aumenta algunas variables ambientales generan una presión sobre el crecimiento de la población (algunos ejemplos de estas variables son: el espacio físico que comienza a ser escaso, el aumento de la contaminación) conduciendo a un crecimiento limitado de la población. Esta función está descrita por el **modelo logístico**, desarrollado por Verhulst (1838) y su supuesto fundamental está en asumir un crecimiento de la población dependiente de la densidad. Los recursos como espacio físico disminuyen al aumentar la población, y por lo tanto cuando este recurso se hace escaso, la población disminuye su tasa de crecimiento (R).

Una aproximación discreta es:

$$N = \frac{A1 - A2}{1 + e^{(x - x_0)/dx}} + A2$$

Ecuación Logística
de Boltzmann

donde $A1$, $A2$, x_0 y dx son constantes positivas.

Para los ajustes de crecimiento poblacional logístico Origin®7 usó la ecuación de Boltzmann.

De esta forma, se estimó el N para cada partido desde 1700 a la actualidad (2011). En el año 1500, que es una fecha arbitraria que se consideró solo para denotar la condición de la cuenca en su estado natural, sin incidencia antrópica, se estimó que la población estaba formada solo por pequeñas poblaciones de aborígenes (querandíes principalmente) que habitaban la zona, dado que los españoles todavía no habían llegado a Buenos Aires.

Tabla 9 **Tamaño poblacional (cantidad de habitantes) estimado de los partidos enteros de la cuenca (solo se muestran los años 1976 a 2011).**

	CUENCA BAJA					CUENCA MEDIA							CUENCA ALTA					Cuenca TOTAL	
	CABA*	Avellan*	Lanus	Lomas de Zam*	Cuenca BAJA	Morón*	Merlo*	La Matanza*	Ezeiza*	Esteb Echev*	Almirante Brown*	Cuenca MEDIA	Marcos Paz*	Gral Las Heras*	Cañuelas*	San Vicente*	Pte Perón*		Cuenca ALTA
1976	2.960.924	341.160	440.731	472.943	4.215.757	237.443	242.425	759.523	2.270	91.907	297.085	1.630.653	18.353	8.909	20.527	46.863	50.850	145.503	5.991.913
1977	2.961.490	341.598	443.352	482.511	4.228.952	242.524	253.393	784.403	2.271	95.320	308.549	1.686.460	18.906	9.034	21.037	47.996	53.017	149.990	6.065.402
1978	2.962.005	342.007	445.855	491.630	4.241.496	247.371	264.446	809.703	2.273	98.871	319.976	1.742.640	19.479	9.160	21.564	49.030	55.085	154.318	6.138.454
1979	2.962.471	342.389	448.242	500.295	4.253.397	251.983	275.551	835.407	2.277	102.565	331.331	1.799.113	20.074	9.289	22.106	49.967	57.045	158.482	6.210.992
1980	2.962.894	342.746	450.517	508.510	4.264.667	256.358	286.674	861.495	2.282	106.408	342.582	1.855.798	20.690	9.420	22.666	50.814	58.890	162.480	6.282.945
1981	2.963.278	343.079	452.685	516.279	4.275.320	260.500	297.779	887.947	2.290	110.406	353.695	1.912.618	21.329	9.554	23.242	51.575	60.615	166.315	6.354.253
1982	2.963.626	343.390	454.749	523.609	4.285.374	264.411	308.833	914.741	2.305	114.566	364.641	1.969.497	21.992	9.690	23.837	52.255	62.218	169.992	6.424.864
1983	2.963.942	343.680	456.714	530.512	4.294.847	268.096	319.800	941.856	2.328	118.893	375.391	2.026.365	22.679	9.829	24.450	52.862	63.699	173.520	6.494.732
1984	2.964.229	343.950	458.583	536.998	4.303.760	271.562	330.649	969.266	2.366	123.395	385.918	2.083.156	23.392	9.971	25.082	53.401	65.061	176.907	6.563.822
1985	2.964.488	344.203	460.361	543.081	4.312.133	274.814	341.348	996.946	2.429	128.079	396.198	2.139.813	24.131	10.115	25.734	53.878	66.307	180.165	6.632.111
1986	2.964.724	344.439	462.051	548.776	4.319.990	277.860	351.867	1.024.869	2.531	132.951	406.210	2.196.289	24.897	10.261	26.405	54.300	67.442	183.307	6.699.586
1987	2.964.938	344.659	463.656	554.100	4.327.353	280.709	362.179	1.053.009	2.699	138.020	415.935	2.252.551	25.692	10.411	27.098	54.672	68.472	186.345	6.766.249
1988	2.965.132	344.864	465.181	559.068	4.334.245	283.369	372.258	1.081.336	2.974	143.294	425.357	2.308.588	26.516	10.563	27.812	54.999	69.403	189.294	6.832.127
1989	2.965.308	345.055	466.629	563.699	4.340.690	285.848	382.083	1.109.823	3.422	148.781	434.462	2.364.419	27.370	10.718	28.548	55.286	70.242	192.166	6.897.275
1990	2.965.467	345.233	468.003	568.008	4.346.711	288.156	391.632	1.138.438	4.153	154.489	443.240	2.420.108	28.256	10.876	29.308	55.538	70.996	194.974	6.961.794
1991	2.965.612	345.400	469.307	572.013	4.352.332	290.303	400.890	1.167.151	5.337	160.427	451.684	2.475.790	29.175	11.037	30.090	55.758	71.671	197.732	7.025.854
1992	2.965.743	345.555	470.543	575.732	4.357.573	292.295	409.840	1.195.932	7.241	166.605	459.787	2.531.700	30.128	11.201	30.897	55.951	72.275	200.452	7.089.725
1993	2.965.862	345.700	471.716	579.180	4.362.458	294.144	418.473	1.224.750	10.265	173.032	467.546	2.588.210	31.115	11.369	31.729	56.119	72.813	203.146	7.153.814
1994	2.965.970	345.835	472.828	582.375	4.367.008	295.857	426.778	1.253.573	14.978	179.718	474.962	2.645.866	32.140	11.539	32.587	56.266	73.293	205.824	7.218.697
1995	2.966.068	345.961	473.881	585.333	4.371.242	297.442	434.750	1.282.370	22.101	186.674	482.036	2.705.373	33.202	11.712	33.471	56.394	73.719	208.498	7.285.113
1996	2.966.157	346.078	474.879	588.068	4.375.182	298.909	442.385	1.311.110	32.392	193.911	488.769	2.767.477	34.303	11.889	34.382	56.506	74.097	211.177	7.353.836
1997	2.966.237	346.187	475.825	590.595	4.378.845	300.264	449.681	1.339.762	46.329	201.440	495.169	2.832.645	35.445	12.069	35.322	56.603	74.432	213.872	7.425.361
1998	2.966.310	346.289	476.720	592.929	4.382.249	301.516	456.640	1.368.295	63.633	209.273	501.240	2.900.596	36.629	12.252	36.291	56.688	74.729	216.589	7.499.435
1999	2.966.377	346.384	477.568	595.083	4.385.412	302.670	463.263	1.396.680	82.947	217.421	506.990	2.969.972	37.857	12.439	37.290	56.761	74.991	219.339	7.574.723
2000	2.966.437	346.473	478.371	597.069	4.388.349	303.735	469.556	1.424.887	102.100	225.899	512.429	3.038.605	39.131	12.629	38.321	56.825	75.223	222.128	7.649.083
2001	2.966.491	346.555	479.130	598.900	4.391.076	304.717	475.523	1.452.887	118.989	234.718	517.565	3.104.399	40.451	12.823	39.382	56.881	75.428	224.965	7.720.441
2002	2.966.541	346.632	479.849	600.586	4.393.608	305.621	481.174	1.480.653	132.409	243.894	522.409	3.166.159	41.820	13.021	40.477	56.929	75.608	227.855	7.787.622
2003	2.966.585	346.704	480.529	602.139	4.395.957	306.453	486.515	1.508.157	142.218	253.440	526.971	3.223.753	43.240	13.222	41.606	56.971	75.767	230.806	7.850.516
2004	2.966.626	346.771	481.173	603.567	4.398.137	307.218	491.556	1.535.375	148.956	263.370	531.263	3.277.739	44.712	13.427	42.770	57.007	75.907	233.823	7.909.700
2005	2.966.663	346.833	481.781	604.882	4.400.159	307.923	496.308	1.562.281	153.392	273.702	535.297	3.328.901	46.238	13.635	43.970	57.039	76.031	236.914	7.965.974
2006	2.966.696	346.892	482.356	606.091	4.402.035	308.570	500.780	1.588.852	156.229	284.450	539.082	3.377.965	47.821	13.848	45.207	57.067	76.139	240.082	8.020.082
2007	2.966.727	346.946	482.901	607.202	4.403.775	309.166	504.985	1.615.066	158.012	295.633	542.633	3.425.493	49.463	14.065	46.482	57.090	76.235	243.335	8.072.603
2008	2.966.754	346.996	483.415	608.223	4.405.388	309.713	508.932	1.640.903	159.119	307.266	545.959	3.471.891	51.165	14.286	47.797	57.111	76.319	246.678	8.123.957
2009	2.966.779	347.043	483.901	609.161	4.406.885	310.215	512.635	1.666.342	159.801	319.369	549.072	3.517.434	52.930	14.510	49.153	57.129	76.393	250.115	8.174.434
2010	2.966.802	347.087	484.361	610.023	4.408.272	310.676	516.105	1.691.366	160.220	331.960	551.984	3.562.310	54.760	14.740	50.551	57.145	76.458	253.653	8.224.236
2011	2.966.822	347.128	484.796	610.814	4.409.559	311.100	519.352	1.715.959	160.476	345.059	554.705	3.606.651	56.657	14.973	51.992	57.158	76.515	257.295	8.273.506

Cálculo de la población en el sector de la CMR

Una vez obtenidos los valores estimados de la población de cada partido, el paso siguiente fue determinar la población del sector del partido que realmente corresponde a la cuenca (Partido Parcial, Figura 34).

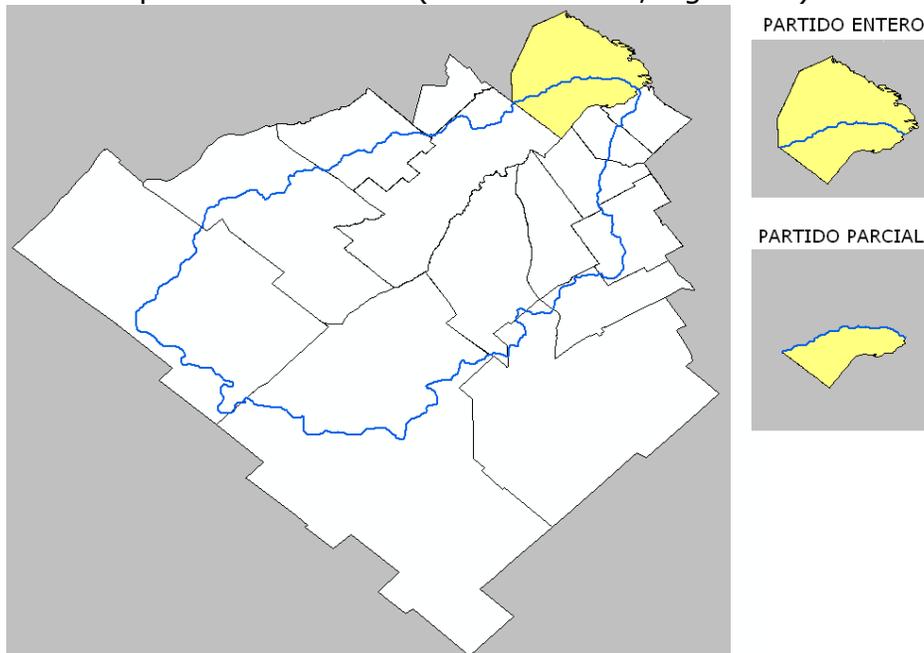


Figura 34 Partido entero y sector del partido correspondiente a la CMR.

Sin embargo, dado que la distribución de la población no es homogénea sino agrupada, para hacer una estimación mas precisa de la población en la cuenca, se determinó la "mancha" urbana de cada partido con la premisa de que la población estimada por partido, se concentraba en esa área únicamente.

De esta forma, se calculó el área urbana (o construida) de cada *partido entero* y la correspondiente al *partido parcial* a partir de la determinación de la clase urbana de los productos de clasificación obtenidos anteriormente (Figura 35).

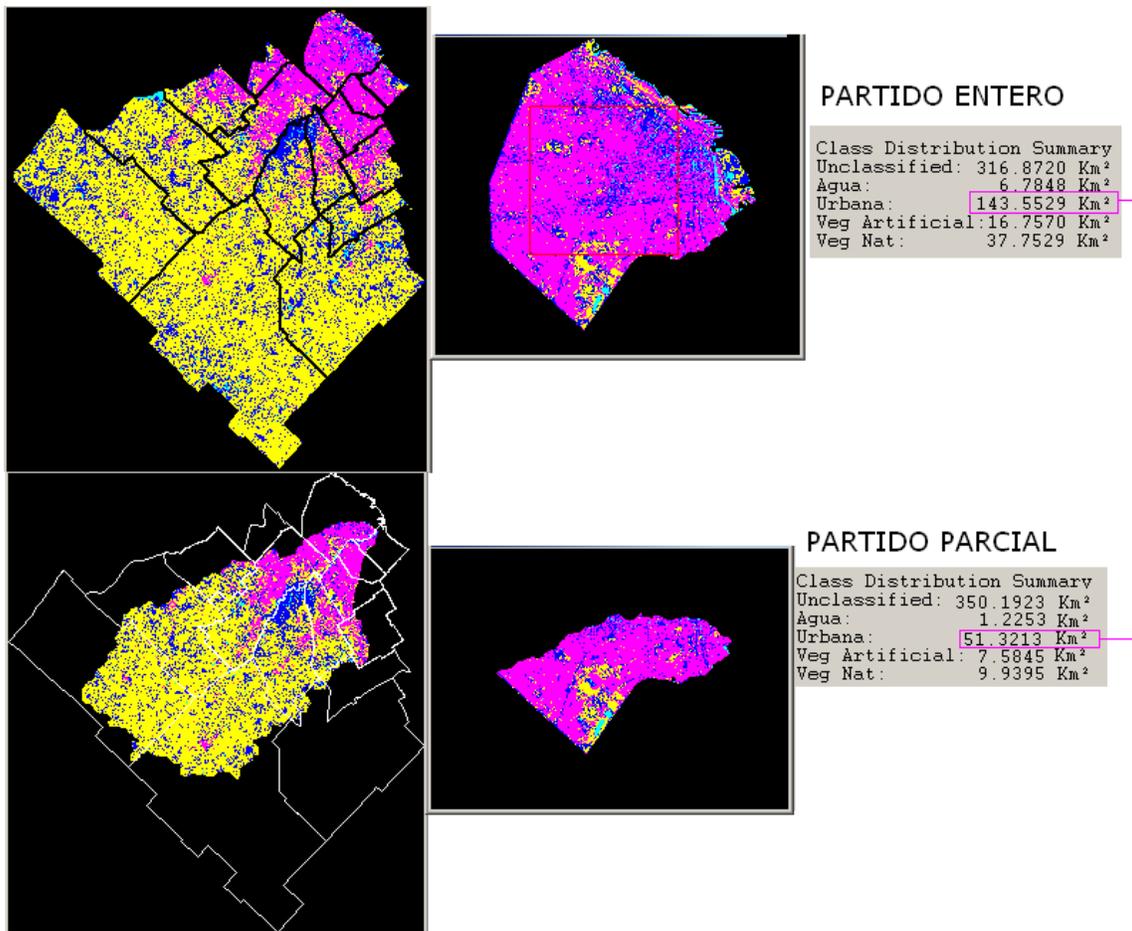
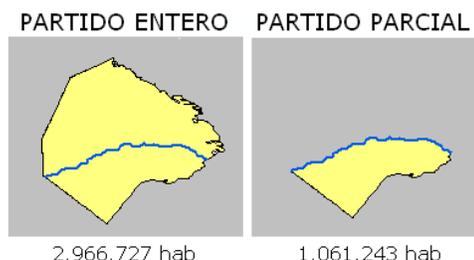


Figura 35 Determinación del área urbana en el partido entero y en el área de dicho partido que corresponde a la cuenca para el 2007.

Ejemplo de cálculo de la población en el Partido Parcial de CABA:

Sabiendo que la población de CABA en 2007 fue de 2.966.727 habitantes (Tabla 9) y que el área total de CABA es de 204 km² de los cuales 143,55 km² corresponden al área urbana (Figura 35 en el Partido Entero), y que de ellos solo 51,35 km² corresponden a la cuenca, se estima una población de 1.061.243 habitantes en el sector de CABA perteneciente a la cuenca.



Este cálculo se realizó para cada uno de los 15 partidos enteros y sus 15 porciones parciales cada 10 años, considerando que cada 10 años se registra un cambio significativo del área urbana. En base a esto, el cálculo de área urbana en Partido Entero y Partido Parcial para toda la cuenca se realizó en los años: 1977, 1987, 1997 y 2007 (Figura 37). Las poblaciones entre los años 1976 y 1981 se calcularon teniendo en cuenta el área urbana en el año 1977; las de entre los años 1981 a 1991 con el área urbana del año 1987; las de entre los años 1992 y 2001 con la del año 1997 y finalmente, las poblaciones entre los años 2002 y 2011, con el área urbana del año 2007.

Cabe mencionar que dado que con estos datos se obtuvo el Indicador Demográfico por año y por partido, para un cálculo más preciso, debería calcularse el área urbana del Partido Entero y del Partido Parcial en cada año individualmente.

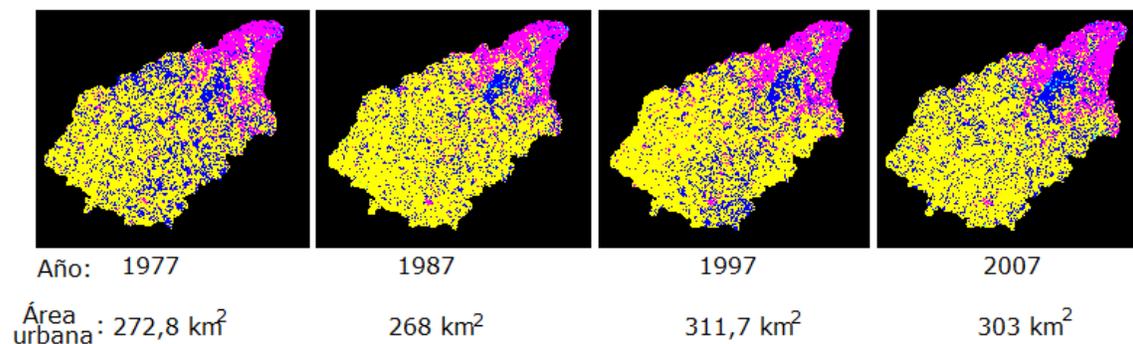


Figura 36 Cambio del área urbana (en fucsia) cada 10 años desde 1977 a 2007.

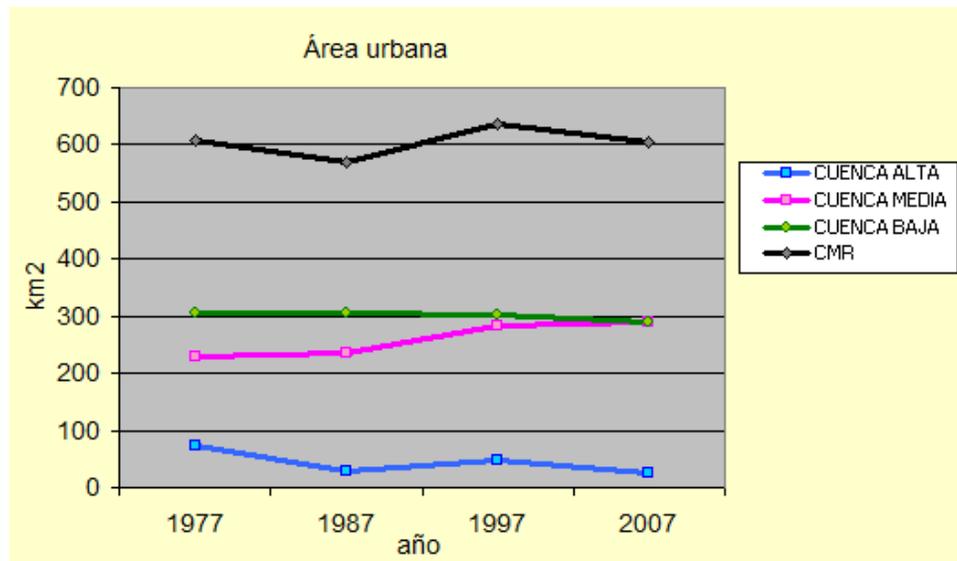


Figura 37 Área urbana (km²) de los tres sectores de la cuenca y en la cuenca total teniendo en cuenta los partidos totales desde 1977 hasta 2007 y cada 10 años. A partir de los datos de la clasificación con las imágenes Landsat.

Tabla 10 Tamaño de la población de los sectores de los partidos que forman parte de la cuenca (Partido Parcial) (solo se muestra desde 1976 - 2011).

Población	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
CABA	1.028.133	1.028.329	1.028.508	1.028.670	1.028.817	1.028.950	997.296	997.402	997.499	997.586	997.665	997.737	997.803	997.862	997.915	997.964	998.008	1.015.096
Avellaneda	70.419	70.509	70.594	70.672	70.746	70.815	74.839	74.902	74.961	75.016	75.067	75.115	75.160	75.202	75.240	75.277	75.311	69.011
Lanus	259.806	261.351	262.827	264.234	265.575	266.853	270.516	271.685	272.797	273.854	274.859	275.814	276.722	277.583	278.400	279.176	279.911	277.857
Lomas de Zam	284.673	290.433	295.922	301.137	306.082	310.758	331.814	336.188	340.298	344.153	347.763	351.136	354.285	357.219	359.950	362.488	364.844	380.281
CUENCA BAJA	1.643.031	1.650.623	1.657.850	1.664.713	1.671.220	1.677.376	1.674.465	1.680.177	1.685.555	1.690.610	1.695.355	1.699.803	1.703.969	1.707.865	1.711.506	1.714.905	1.718.075	1.742.245
Morón	7	8	8	8	8	8	574	582	589	597	603	609	615	620	625	630	634	767
Merlo	32.659	34.136	35.625	37.121	38.620	40.116	55.141	57.099	59.036	60.946	62.825	64.666	66.465	68.219	69.924	71.577	73.175	81.083
La Matanza	569.047	587.687	606.642	625.900	645.445	665.264	695.537	716.154	736.996	758.043	779.275	800.671	822.210	843.870	865.628	887.461	909.345	970.893
Ezeiza	2.209	2.210	2.212	2.215	2.220	2.229	2.290	2.313	2.351	2.413	2.515	2.682	2.955	3.401	4.126	5.303	7.195	10.239
Esteb Echev	91.907	95.320	98.871	102.565	106.408	110.406	114.381	118.701	123.196	127.872	132.737	137.798	143.063	148.541	154.239	160.168	166.336	173.032
Almirante Brown	74.652	77.533	80.404	83.257	86.085	88.877	101.046	104.024	106.942	109.790	112.565	115.260	117.870	120.394	122.826	125.166	127.411	143.467
CUENCA MEDIA	770.481	796.894	823.762	851.066	878.786	906.900	968.969	998.874	1.029.110	1.059.661	1.090.519	1.121.685	1.153.179	1.185.045	1.217.370	1.250.305	1.284.097	1.379.481
Marcos Paz	9.796	10.091	10.397	10.714	11.043	11.384	17.540	18.088	18.656	19.245	19.857	20.490	21.148	21.829	22.535	23.268	24.028	22.754
Gral Las Heras	3.267	3.312	3.359	3.406	3.454	3.503	6.652	6.747	6.845	6.943	7.044	7.147	7.251	7.358	7.466	7.577	7.689	7.547
Cañuelas	12.795	13.113	13.441	13.779	14.128	14.487	18.866	19.352	19.852	20.368	20.899	21.448	22.013	22.595	23.196	23.816	24.454	21.728
San Vicente	1.408	1.442	1.474	1.502	1.527	1.550	949	960	970	979	986	993	999	1.004	1.009	1.013	1.016	324
Pte Perón	1.554	1.621	1.684	1.744	1.800	1.853	5.858	5.998	6.126	6.243	6.350	6.447	6.535	6.614	6.685	6.748	6.805	6.610
CUENCA ALTA	28.820	29.579	30.354	31.145	31.953	32.778	49.865	51.144	52.448	53.778	55.136	56.525	57.945	59.400	60.891	62.422	63.993	58.963
CUENCA TOTAL	2.442.332	2.477.096	2.511.966	2.546.925	2.581.958	2.617.054	2.693.299	2.730.196	2.767.113	2.804.049	2.841.010	2.878.013	2.915.093	2.952.310	2.989.767	3.027.631	3.066.164	3.180.689

Población	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
CABA	1.015.133	1.015.166	1.015.196	1.015.224	1.015.249	1.015.272	1.015.292	1.015.311	1.055.144	1.055.160	1.055.174	1.055.187	1.055.199	1.055.210	1.055.220	1.055.228	1.055.237	1.055.244
Avellaneda	69.038	69.063	69.086	69.108	69.129	69.148	69.165	69.182	71.591	71.606	71.620	71.633	71.645	71.656	71.666	71.676	71.685	71.694
Lanus	278.512	279.132	279.720	280.277	280.805	281.304	281.777	282.224	282.092	282.492	282.870	283.228	283.566	283.886	284.188	284.474	284.744	285.000
Lomas de Zam	382.379	384.321	386.117	387.776	389.309	390.723	392.027	393.229	404.483	405.529	406.491	407.376	408.190	408.939	409.626	410.258	410.838	411.371
CUENCA BAJA	1.745.061	1.747.682	1.750.120	1.752.386	1.754.491	1.756.446	1.758.261	1.759.946	1.813.310	1.814.786	1.816.155	1.817.424	1.818.600	1.819.690	1.820.701	1.821.637	1.822.505	1.823.308
Morón	772	776	780	783	786	789	792	795	874	876	878	880	882	884	886	887	888	890
Merlo	82.693	84.237	85.717	87.130	88.479	89.762	90.981	92.138	72.710	73.517	74.279	74.997	75.673	76.308	76.904	77.464	77.988	78.479
La Matanza	993.742	1.016.570	1.039.353	1.062.066	1.084.685	1.107.186	1.129.547	1.151.743	1.187.089	1.209.141	1.230.962	1.252.534	1.273.837	1.294.853	1.315.567	1.335.963	1.356.026	1.375.743
Ezeiza	14.939	22.044	32.310	46.210	63.471	82.735	101.839	118.685	132.409	142.218	148.956	153.392	156.229	158.012	159.119	159.801	160.220	160.476
Esteb Echev	179.718	186.674	193.911	201.440	209.273	217.421	225.899	234.718	243.894	253.440	263.370	273.702	284.450	295.633	307.266	319.369	331.960	345.059
Almirante Brown	145.743	147.913	149.980	151.943	153.806	155.571	157.239	158.816	167.629	169.093	170.470	171.764	172.979	174.118	175.185	176.184	177.119	177.992
CUENCA MEDIA	1.417.606	1.458.215	1.502.049	1.549.573	1.600.499	1.653.465	1.706.297	1.756.894	1.804.605	1.848.284	1.888.916	1.927.268	1.964.050	1.999.807	2.034.927	2.069.668	2.104.200	2.138.638
Marcos Paz	23.503	24.280	25.085	25.920	26.786	27.684	28.615	29.581	36.000	37.222	38.489	39.803	41.166	42.579	44.044	45.563	47.138	48.772
Gral Las	7.660	7.775	7.892	8.012	8.134	8.258	8.384	8.513	12.095	12.282	12.473	12.667	12.864	13.065	13.271	13.479	13.692	13.909

Heras																			
Cañuelas	22.316	22.921	23.545	24.189	24.853	25.537	26.242	26.970	36.339	37.352	38.397	39.474	40.585	41.730	42.911	44.128	45.382	46.676	
San Vicente	325	326	327	327	328	328	328	329	1.537	1.538	1.539	1.540	1.541	1.542	1.542	1.543	1.543	1.543	
Pte Perón	6.653	6.692	6.726	6.757	6.784	6.807	6.828	6.847	1.001	1.003	1.005	1.007	1.008	1.010	1.011	1.012	1.012	1.013	
CUENCA ALTA	60.457	61.994	63.576	65.205	66.884	68.614	70.398	72.239	86.972	89.398	91.903	94.491	97.164	99.925	102.777	105.724	108.768	111.913	
CUENCA TOTAL	3.223.124	3.267.891	3.315.745	3.367.163	3.421.874	3.478.525	3.534.957	3.589.079	3.704.887	3.752.468	3.796.974	3.839.183	3.879.814	3.919.423	3.958.405	3.997.029	4.035.473	4.073.860	

Estimación de la población antes de 1976

Para el cálculo del área urbana antes de 1976 se realizó una estimación desde el momento en que se inicia la expansión urbana en cada partido. Para conocer la fecha se consultaron las páginas web de cada municipio y en Wikipedia, y luego se realizó un promedio de las fechas, ponderando cada partido según su contribución en cada sector de la cuenca, y se obtuvo finalmente el año aproximado en que cada sector de la cuenca inició dicha expansión.

De esta forma se estimó que el inicio de la urbanización en el **sector bajo** fue en 1679, en el **medio** en 1689 y en el **alto** en 1807.

Desde esos años, se estimó que la cobertura urbana en cada sector de la cuenca aumentaba linealmente hasta 1976. Se es conciente que estas estimaciones contienen un grado desconocido de inexactitud e imprecisión pero dado que es imposible conocer se optó por este método. Según fuentes bibliográficas (Bertoni *et al*, 2004), que también citan la falta de datos locales de 'área urbana impermeable', que es una variable utilizada tanto en estudios de planificación urbana como en la modelización hidrológica en las ciudades, es estimarla basándose en datos de ciudades similares del hemisferio norte, pero para seleccionar dicho sitio debe conocerse con profundidad el tipo de urbanización.

Otro método posible citado también por Bertoni *op cit* y Tappan *et al* (2000) sería el uso de fotografías aéreas para obtener las coberturas urbana y vegetal, que ellos clasifican como 'impermeable' y 'permeable' y que debido a la falta de tiempo para este trabajo no se pudo realizar, sin embargo, se copió digitalmente un negativo del proyecto CORONA de una parte del sector en estudio (Figura 38) (fuente: Platzek, G *com per*).

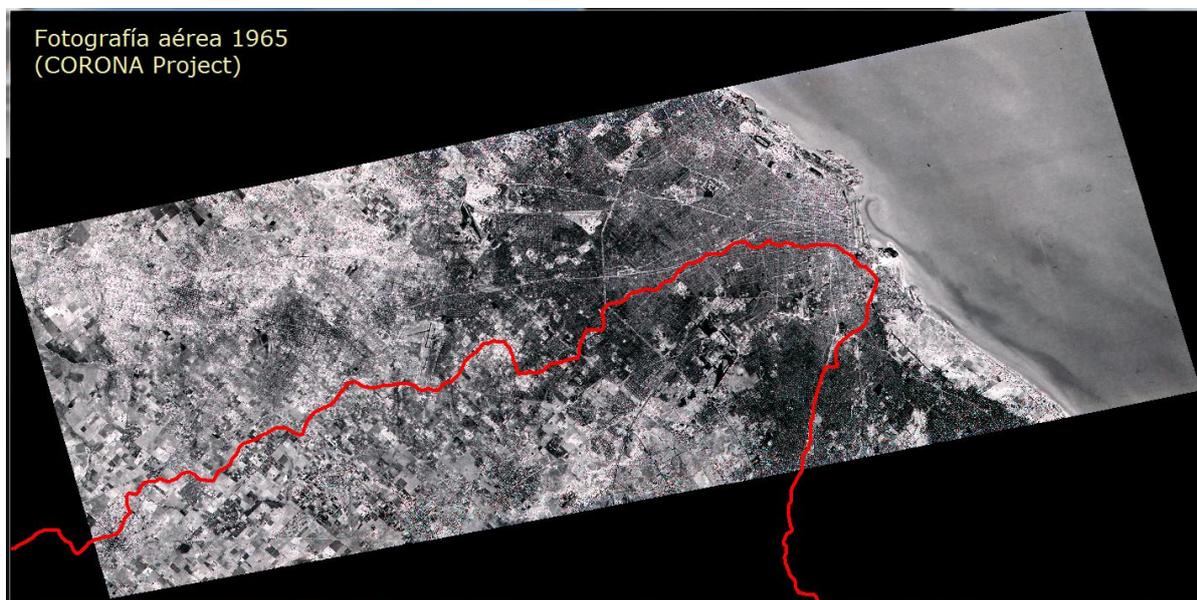


Figura 38 Fotografía aérea 1965 en blanco y negro. Especificaciones técnicas: S EWD 1024-2, 0 93 051 D; 28-sept-1965 (Fuente Gabriel Platzek)

El acceso a este tipo de datos (fotografías aéreas anteriores a serie Landsat) es limitado y muchas veces, si existe es difícil que incluya toda el área de estudio. Se pueden obtener algunas pocas de los proyectos: CORONA, ARGON y LANYARD satélites (1959 a 1972) y KH-7 Surveillance and KH-9 Mapping system (1963 a 1980) (<http://edcsns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/> en Data set → declassified data). Sin embargo las fotografías son en blanco y negro, lo

que representaría otra técnica de clasificación y por lo tanto la calibración con la clasificación de las imágenes Landsat.

Una vez obtenidos los valores de **tamaño poblacional** y **cobertura urbana** en cada sector de la cuenca, se calcula la población (N) en los partidos parciales que corresponden realmente a la cuenca.

Cálculo del Indicador Demográfico (ID)

Dado que se pretende que el indicador ID exprese cuantitativamente la incidencia de la población y de la cobertura edificada (impermeable) sobre la cuenca, se considera que cuando el **ID=1** la incidencia antrópica es máxima, y por el contrario cuando el **ID=0**, estaría indicando la situación contraria, es decir, cuando la población en el área considerada es nula.

La ecuación propuesta para el **Indicador Demográfico (ID)** se detalla a continuación:

$$ID_{it} = \frac{N_{it}}{K_{ip}}$$

donde

ID_{it} = Indicador Demográfico del Partido Parcial i en el año t

N_{it} = Población en el Partido Parcial i en el año t

K_{ip} = Capacidad de Carga de Población en el Partido Parcial i

Para el cálculo del ID a nivel del sector de la cuenca (ej: Cuenca Alta), se aplica la siguiente ecuación:

$$ID_{tCUENCA ALTA} = \frac{\sum N_{tiCUENCA ALTA}}{\sum K_{piCUENCA ALTA}}$$

Donde i en este caso corresponde a los partidos parciales de la Cuenca Alta (Marcos Paz, Gral Las Heras, Cañuelas, San Vicente y Pte Perón).

Dado que el **ID (Indicador Demográfico)** se obtiene de la combinación del tamaño poblacional y el área urbana detectada, se desprende que aún con cierta cantidad de habitantes pero sin área urbana, el ID valdrá '0' (la mínima área detectable es de un píxel en las imágenes Landsat -900 m²-). Por lo tanto, el indicador refleja el hecho que la presencia de una población relativamente pequeña no afectaría negativamente la cuenca. Como en las imágenes satelitales no se detecta habitantes sino área construida, se consideró que la población puede incidir negativamente recién cuando se detecte una mancha urbana en imágenes Landsat, y por lo tanto incluiría una población con un tamaño significativo. En la CMR, el **ID=0** representaría la situación anterior a la presencia de habitantes y/o sin área urbana detectada, mientras que una mínima área urbana representaría un valor de **ID>0**, indicando un impacto negativo al ecosistema natural.

Para determinar la situación en que el **ID=1** (máxima incidencia antrópica), se consideró que el área debería estar ocupada por la máxima capacidad de carga



de habitantes y que el área sea totalmente urbana (sin cobertura vegetal, ni otras). Para hacer esta estimación se tuvieron en cuenta los partidos que ya llegaron a su **Capacidad de Carga Máxima de la Población (Kp)** y aquellos que según las estimaciones realizadas se prevee lleguen en los próximos años. De estos valores de Kp para cada partido, se consideró aquel partido con mayor Kp de forma de asegurar que en el cálculo el ID>1 (Tabla 11). Los partidos considerados fueron: CABA, Avellaneda, Lanús y Lomas de Zamora que son los que cumplen con la condición mencionada. Los Kp estimados se muestran en la Tabla 11. Luego se calculó la Densidad Demográfica cuando la población es Kp (los valores se exponen en la Tabla 11). Finalmente se eligió el partido de mayor densidad poblacional de forma de asegurar que el ID=1 corresponda al máximo valor de densidad poblacional. El partido elegido fue CABA que presentó una Densidad Demográfica de **144 hab/ha**, coincidiendo con datos de la bibliografía (Pereyra, 2004).

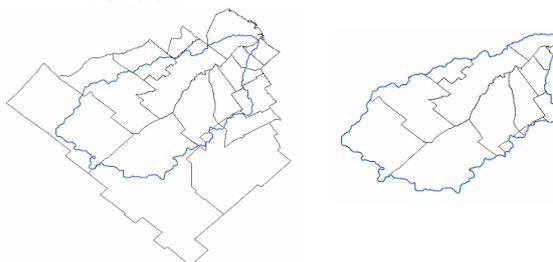
De esta forma, se estimó la Kp para cada partido simplemente multiplicando la densidad máxima (144hab/ha) por el área.

	Año que alcanzó la Kp	Kp estimada	Área (has)	Kdp Densidad poblacional máxima (hab/ha)	Kp MAX estimada
CABA	1969	2.952.370	20.433	144	2.952.369
Avellaneda	1995	346.000	5.561	62	803.558
Lanús	2030	489.961	5.009	98	723.726
Lomas de Zamora	2023	616.495	8.845	70	1.278.008
Morón	2024	314.265	5.546	57	801.318
Merlo	2047	559.647	17.283	32	2.497.266
La Matanza	2089	2438734	32.601	75	4.710.535
Ezeiza	2010	160.220	24.674	6	3.565.155
Esteban Echeverría	En crecimiento exponencial	-	12.230	-	1.767.139
Amirante Brown	2044	587.725	12.890	46	1.862.546
Marcos Paz	En crecimiento exponencial	-	43.727	-	6.318.199
General Las Heras	En crecimiento exponencial	-	75.005	-	10.837.645
Cañuelas	En crecimiento exponencial	-	119.920	-	17.327.369
San Vicente	2003	55971	66.508	1	9.609.790
Pte Perón	2012	76.565	12.155	6	1.756.331

Tabla 11 Detalle del año estimado, población máxima y densidad poblacional a los que cada partido alcanzó su Capacidad de Carga Poblacional Máxima (Kp).

De esta forma, la población máxima que puede soportar cada partido y la máxima para cada partido correspondiente a la CMR se expone en la Tabla 12 a continuación:

Tabla 12 Población Máxima Posible (Kp) estimada para el Partido Entero y el Partido Parcial.



	POBLACIÓN MÁXIMA (Kp)	
	Partido Entero	Sector del Partido en CMR
Cuenca total	66.824.593	28.959.819
CABA	2.952.369	1.009.818
Avellaneda	803.558	143.349
Lanús	723.726	422.145
Lomas de Zamora	1.278.008	914.108
CUENCA BAJA	5.757.661	2.489.420
Merlo	801.318	1.622
Merlo	2.497.266	954.637
Ezeiza	4.710.535	4.314.297
Ezeiza	3.565.155	3.522.126
Almirante Brown	1.767.139	1.767.139
Marcos Paz	1.862.546	573.210
CUENCA MEDIA	15.203.959	11.133.032
Cañuelas	6.318.199	4.146.962
San Vicente	10.837.645	5.054.871
Cañuelas	17.327.369	5.805.415
San Vicente	9.609.790	212.604
Presidente Perón	1.756.331	117.514
CUENCA ALTA	45.849.333	15.337.367

De la Tabla 12 surge que la población máxima que puede albergar la totalidad de los partidos de la cuenca MR, es de casi 67 millones de habitantes. Según datos provisorios del censo 2010, la población real para esa misma área es de 8.356.752 habitantes, es decir un octavo de la capacidad teórica total, Kp (teniendo en cuenta 144 hab/ha y toda su área ocupada).

La población de todos los partidos enteros de la **Cuenca Baja**, es de unos 4.465.986 habitantes, mientras que su capacidad teórica máxima (Kp) es de 5.757.661 habitantes, es decir que está al **77,5%** de su Kp. La **Cuenca Media**, está hoy con una población de **23%** de su Kp, y la **Cuenca Alta**, con un **0.6%** de su Kp.

La Kp hace referencia a una población teórica, basada en la misma densidad que actualmente tiene la CABA, es decir que una población muy densa y extensiva a toda el área de cada partido.

Para el **área urbana** se realizaron estimaciones para los años anteriores a 1976 (más adelante), mientras que para el **tamaño poblacional (N)** las estimaciones fueron para los años anteriores a 1869 (primer censo).

Resultados: Demografía de la Cuenca MR

A. Población actual

La población de la cuenca MR asciende en 2010 a unos 4 millones de habitantes, representando un 10% de la población total del país, sin embargo el área de la cuenca corresponde sólo a un 0,1% del territorio nacional (Figura 39).

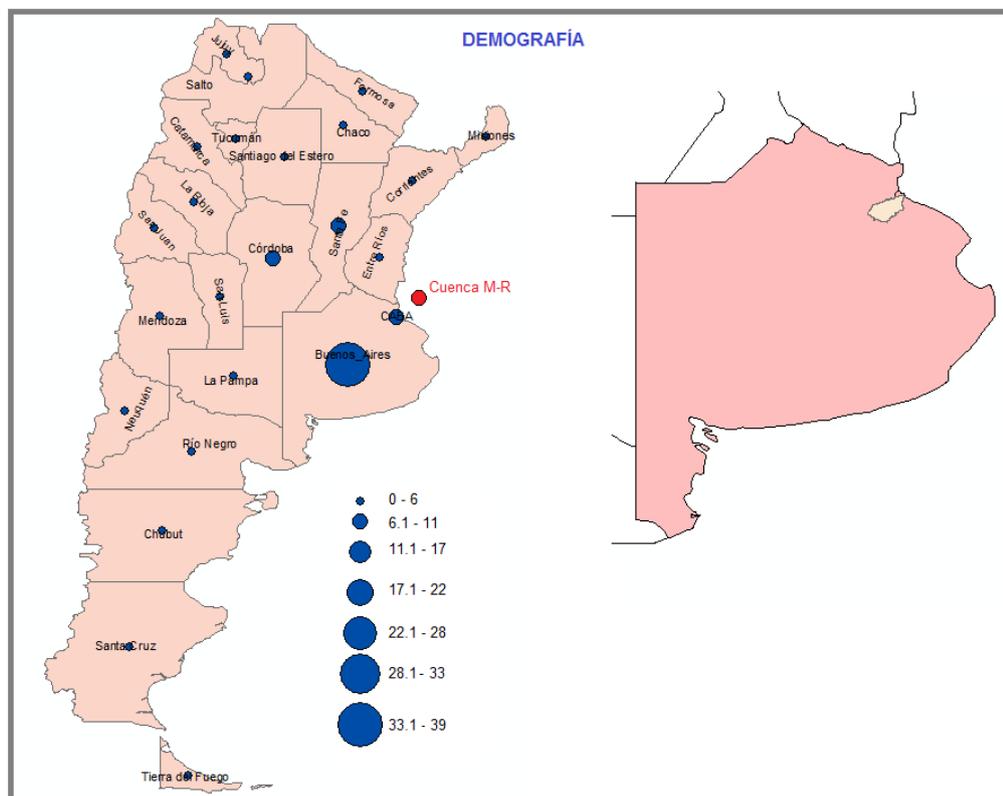


Figura 39 Gráfico de la distribución de la población argentina en 2010. Los círculos representan el % de la población nacional. El círculo en rojo representa la población en la CMR. A la derecha se muestra el área que ocupa la CMR en la provincia

de BsAs.

A partir de los datos censales y las zonas urbanas identificadas con imágenes Landsat, la distribución calculada de la población en la cuenca en 2010 en la actualidad es la siguiente:

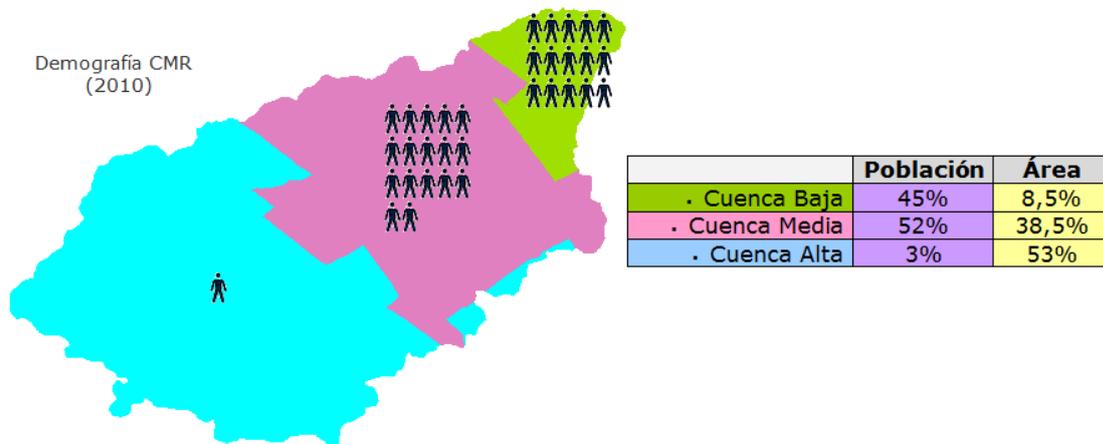


Figura 40 Demografía CMR en 2010. En la tabla a la derecha se muestra la contribución (%) de la población total y de los sectores de la cuenca al total de la CMR.

Como muestra la Figura 40 en el **sector bajo** y **medio** conjuntamente se concentran actualmente el 97% de la población de la CMR, sin embargo, ambos sectores ocupan menos de la mitad del territorio de la CMR (47%), y si bien la mayoría de los partidos de ese sector están muy densamente poblados, la CABA y el partido de La Matanza aportan casi un 40% de la población total de la CMR. El **sector medio** de la cuenca presenta un 52% de la población total con una distribución espacial muy desigual. El **sector alto** de la cuenca es el menos densamente poblado ya que son partidos predominantemente rurales.

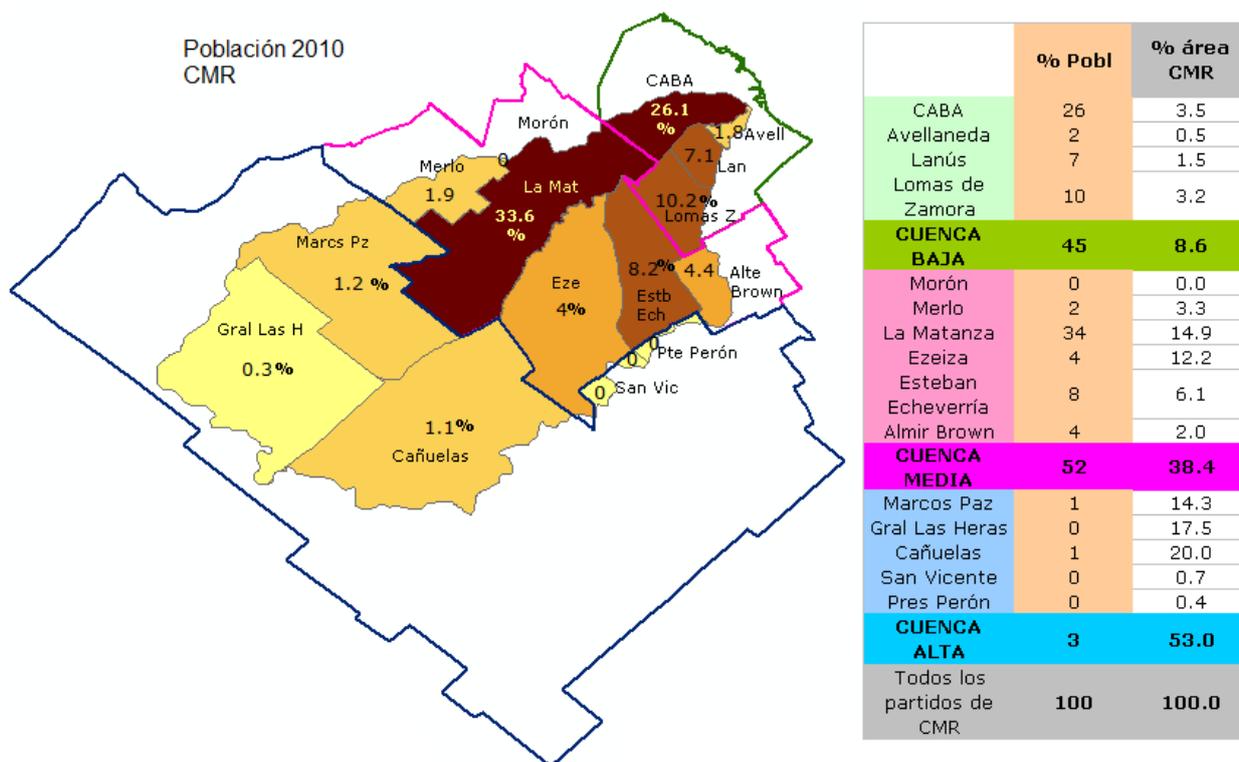
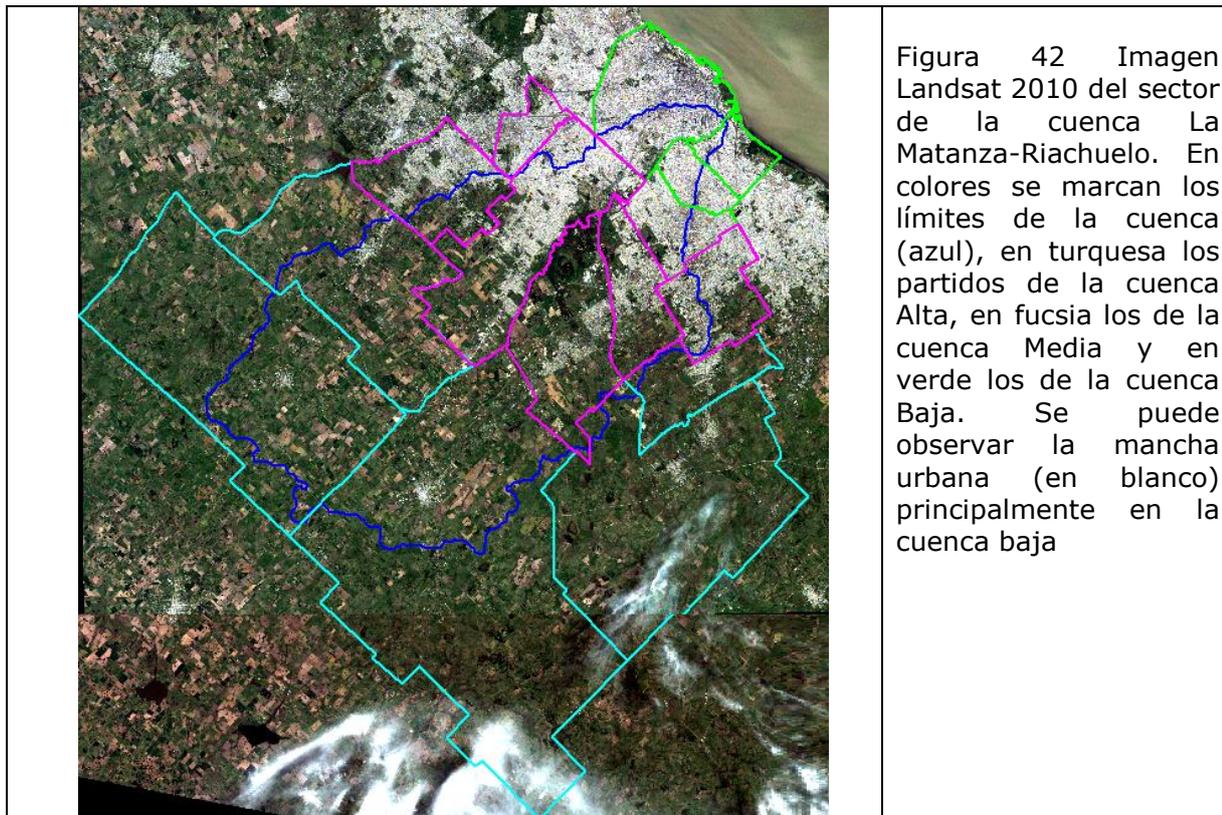


Figura 41 Población en al cuenca MR en el año 2010 (basado en cálculos de las áreas de cada partido y a los resultados preliminares del Censo 2010 del INDEC)



En la imagen Landsat de 2010 de la Figura 42 se puede observar un claro gradiente del área urbana desde la desembocadura de la cuenca en el Río de La Plata hacia su cabecera.

Según los resultados obtenidos de las densidades demográficas para cada sector de la CMR (Figura 43) los sectores bajo, medio y alto se diferencian claramente por las distintas densidades demográficas de sus partidos. Las densidades demográficas más altas corresponden a los partidos de la cuenca baja. De los 15 partidos de la cuenca en orden decreciente la CABA presenta 153 habitantes por hectárea, Lanús 99, Avellaneda 73 y Lomas de Zamora 66 hab/ha. Estos valores se restringen al partido parcial (el área del partido que forma parte de la cuenca). Le siguen en ese orden los partidos de la cuenca media y los menos densos son los correspondientes a la cuenca alta como puede observarse en la Figura 43.

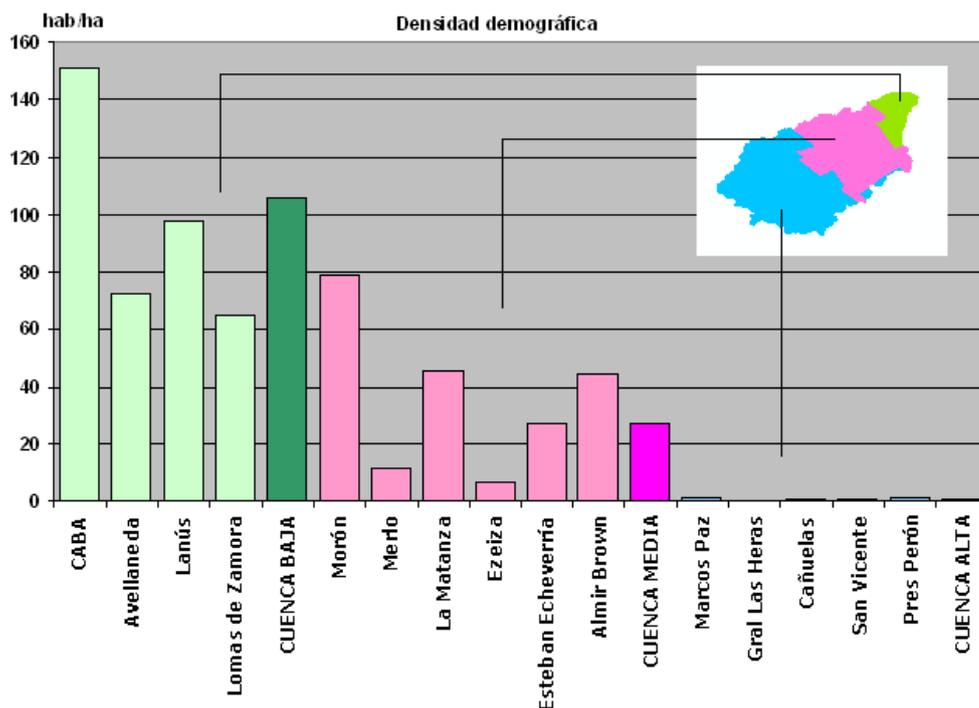


Figura 43 Densidad demográfica en los sectores: **Bajo**, **Medio** y **Alto** de la CMR. (los datos se refieren al partido entero)

B. Proceso de poblamiento

Dado a que la llegada de los españoles al área que actualmente ocupa la ciudad de Buenos Aires (CABA) ocurrió a inicios del siglo XVI se estima que esta zona comenzó el proceso de poblamiento a mediados de ese siglo. Luego y ya con datos de los censos realizados en el país, la Capital Federal (CABA) presentaba en 1869 (1er censo oficial nacional) un 6,1% de la actual población, y ya en 1914 presentaba más de la mitad de los 3.058.309 habitantes de 2010. Este crecimiento fue más lento en el resto de los partidos de la cuenca baja, que son los de mayor densidad demográfica y los que crecieron más rápidamente, pero el tamaño poblacional actual en ellos es muy diferente al de la Capital Federal (Tabla 13).

		2010
Cuenca Baja	CABA	3.058.309
	Avellaneda	340.985
	Lanus	453.500
	Lomas de Zam	613.192

Tabla 13 Población 2010 en los partidos enteros de la cuenca baja

Estimaciones del tamaño poblacional

De acuerdo a las estimaciones a partir de los censos realizados en el país entre 1869 hasta 2010, los partidos de la **cuenca baja** muestran un crecimiento logístico típico del crecimiento denso-dependiente de las poblaciones, y que fue

marcadamente mayor en la CABA con respecto al resto de los partidos de la cuenca baja (Figura 44).

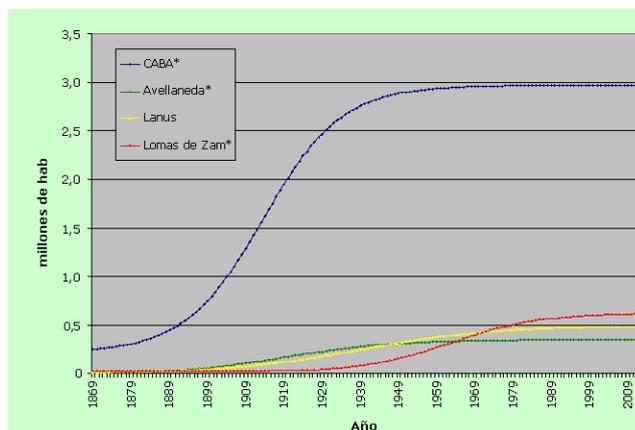


Figura 44 Estimación de la población en la Cuenca Baja del Matanza-Riachuelo.

Dado que la CMR incluye parcialmente 15 distritos, el crecimiento poblacional estimado de los tres sectores de la CMR responde al de los partidos que la conforman.

Las curvas de crecimiento poblacional de la Figura 45 muestran que todos los partidos de la **Cuenca Baja** (CABA, Avellaneda, Lanús y Lomas de Zamora) han alcanzado ya su capacidad de carga (K_p) o al menos han dejado de crecer significativamente: se estima que la población de CABA ha dejado de crecer aproximadamente desde 1967, la de Avellaneda en 1995, y Lanús y Lomas de Zamora se estima lo están haciendo en la actualidad. El crecimiento demográfico de la población en la **Cuenca Media** se encuentra finalizando su fase exponencial, ya que de los cinco partidos que la conforman, cuatro describen una curva logística y sólo el partido de Esteban Echeverría muestra un crecimiento exponencial. Por último, de los partidos de la **Cuenca Alta** solo los partidos Presidente Perón y Marcos Paz han dejado de crecer mientras que el resto está aún en la fase exponencial (Tabla 8).

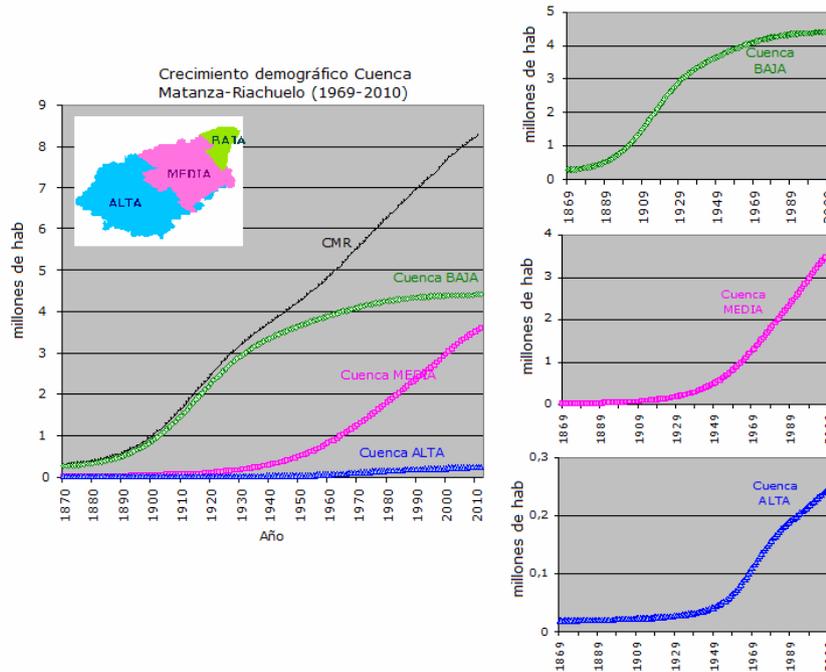
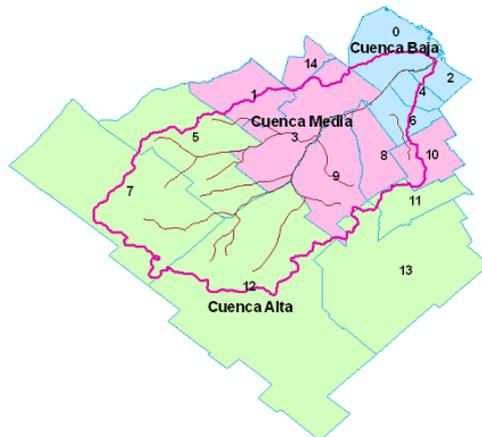
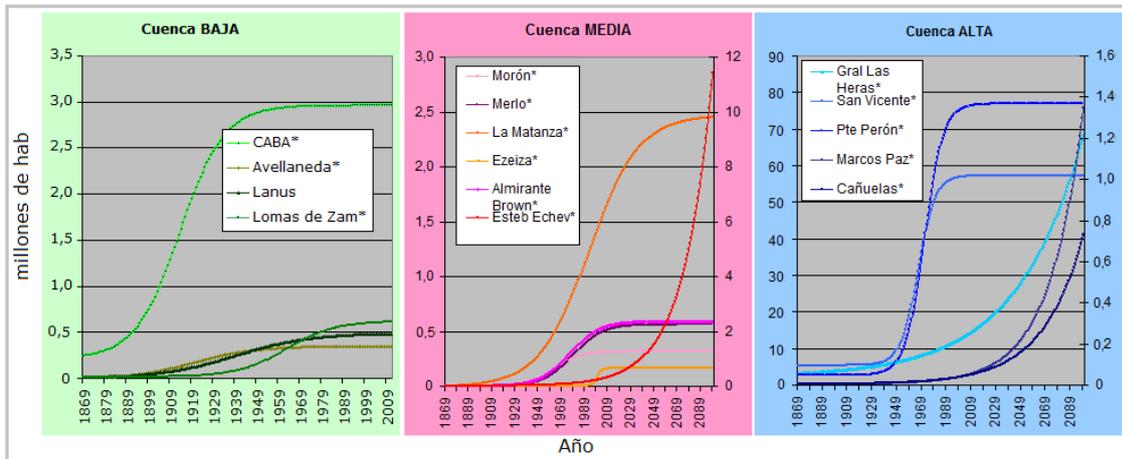


Figura 45 Crecimiento poblacional en la cuenca (negro), y en los tres sectores alto medio y bajo.



ID	PARTIDOS
0	CABA
1	Merlo
2	Avellaneda
3	La Matanza
4	Lanús
5	Marcos Paz
6	Lomas de Zamora
7	General Las Heras
8	Esteban Echeverría
9	Ezeiza
10	Almirante Brown
11	Presidente Perón
12	Cañuelas
13	San Vicente
14	Morón

Figura 46 Estimaciones de la población de los partidos de la CMR en sus tres sectores.

Para conocer el tamaño poblacional (N) para los años anteriores a 1976 se utilizaron las curvas ajustadas con los datos censales. Según éstas estimaciones del N se construyeron tres gráficos por cada sección de la cuenca (Figura 47) que muestra el N de cada partido parcial. En el gráfico de la Figura 48 se muestra la curva resultante de cada sector que resulta de la suma de los N de cada partido parcial al sector de la cuenca correspondiente.

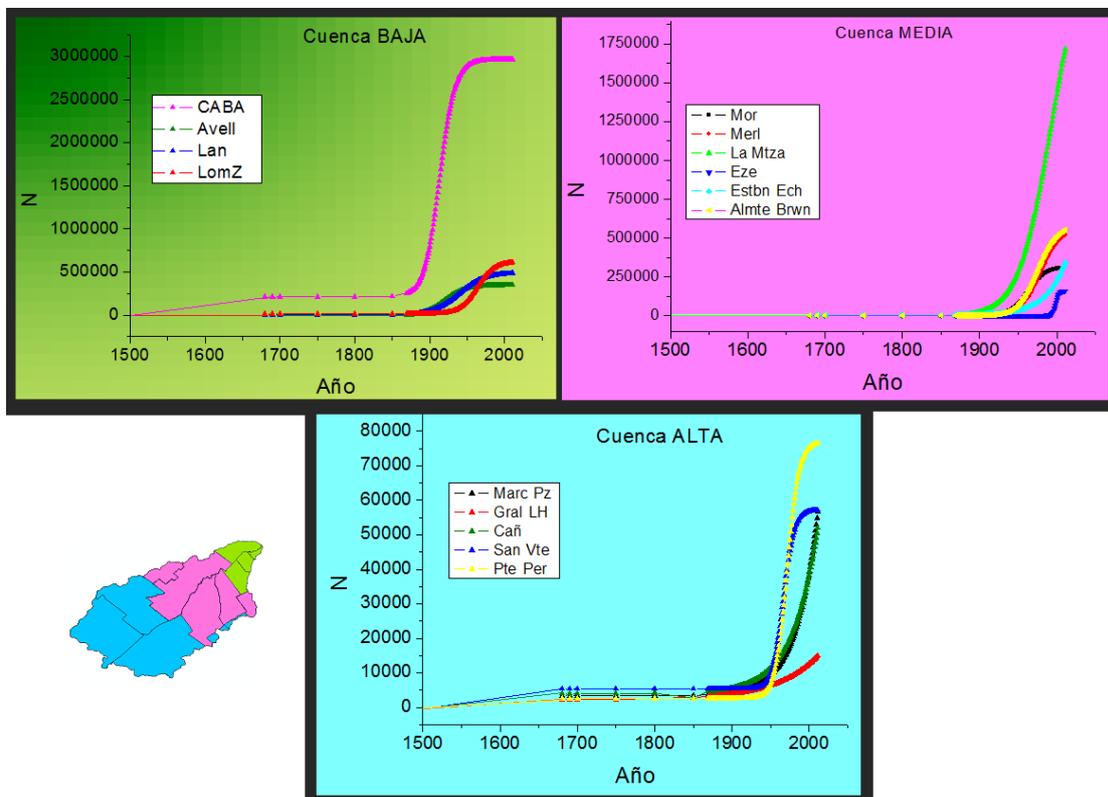


Figura 47 Tamaño poblacional desde 1500 (estado natural de la cuenca) hasta la actualidad, para los partidos parciales en los tres sectores de la cuenca.

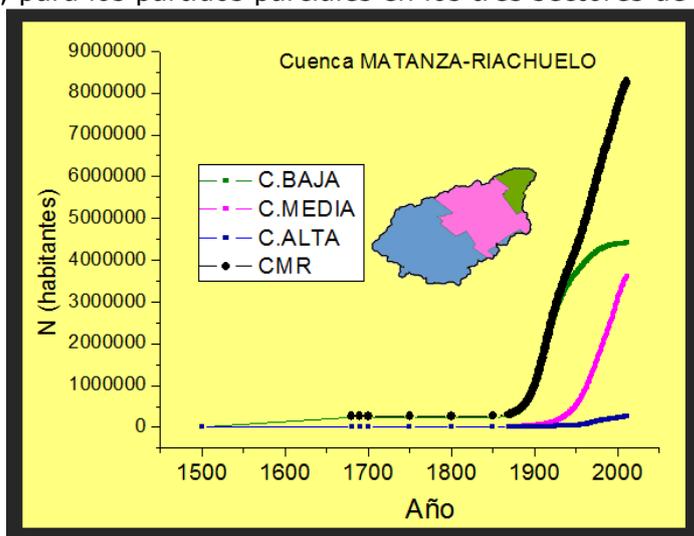


Figura 48 Tamaño poblacional desde 1500 hasta la actualidad para los sectores: bajo, medio y alto de la cuenca y la cuenca entera (CMR).

C. Área edificada (urbana)

Área urbana 1976 - 2011

De acuerdo al análisis temporal del área edificada (o urbana) identificada por medio de métodos de clasificación supervisada de las imágenes Landsat (detallado en el Capítulo II, Procesamiento), puede observarse que desde 1976 hasta la actualidad el área edificada de la CMR muestra un importante aumento (Figura 49 y curva negra en Figura 50).

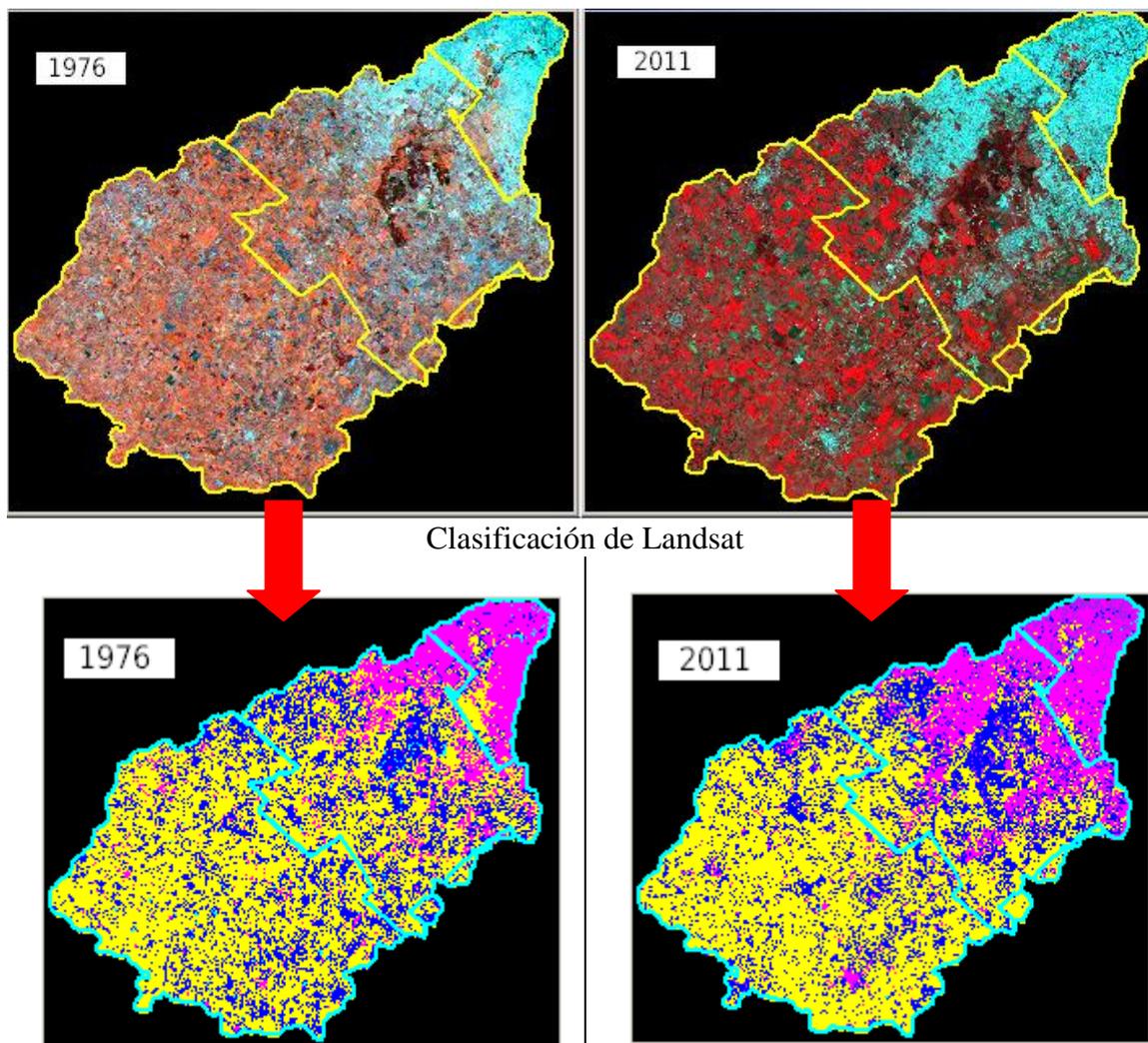


Figura 49 Arriba imágenes Landsat de la cuenca MR de los años 1976 y 2011 y abajo los productos clasificados correspondientes mostrando el área edificada (magenta).

Sin embargo, si se analiza la cuenca separadamente por sectores, el área urbana presenta una dinámica diferente en los tres sectores de la cuenca (Figura 50).

De los tres sectores, el **sector Bajo** de la cuenca es el que mayor proporción de área urbana presenta y eso se mantuvo a través del tiempo (Figura 50). Sin embargo, luego de 1976 es la **Cuenca Media** la que presenta una mayor área urbana y la que se encuentra en expansión hasta la actualidad. En la **Cuenca Baja** el área urbana creció muy levemente desde 1976 hasta 2011 (de 6,3% a 7,2% del área total de la CMR), coincidiendo con los datos censales que demuestran que desde 1967 aproximadamente no se registra crecimiento

demográfico significativo (ver gráfico abajo, curva verde). Por el contrario, en la **Cuenca Media**, el área urbana aumenta en mayor magnitud que el resto de los sectores de la cuenca para el mismo periodo (de 6,4% del área total de la cuenca en 1976 hasta un 11,3% en 2011), coincidiendo con las estimaciones de la población que arrojaban también un crecimiento demográfico en ese momento, por lo que la población del sector medio de la cuenca está creciendo (Figura 50). Por último, el aporte de área urbana del **sector Alto** de la cuenca, es mínimo en 1976 y aumenta levemente hasta la actualidad.

Como resultado final, la cuenca total registra un aumento marcado del área urbana desde 1976 hasta la actualidad (curva negra en Figura 50).

La Figura 50 permite visualizar que aún con cierta dispersión de los datos observados de área urbana a partir de imágenes Landsat, es posible por un lado, una comparación casi inmediata entre los distintos sitios (hay diferencias entre ellos), y por otro, una tendencia clara de crecimiento positivo de la población para todos los sectores y de la cuenca total.

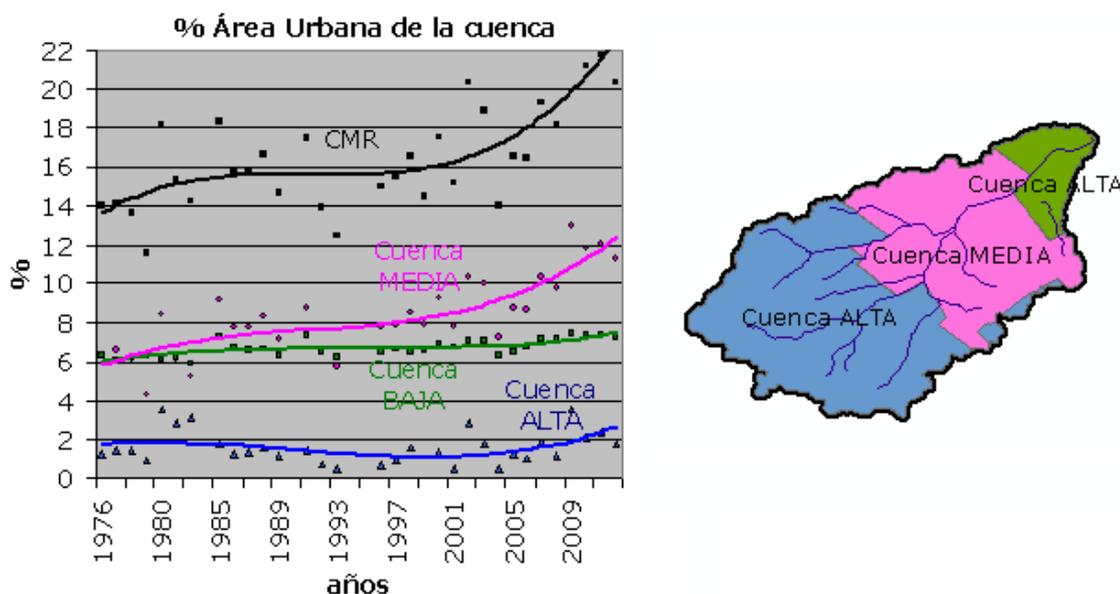


Figura 50 Área urbana (%) de la cuenca total (CMR: 100%) para los sectores Bajo, Medio y Alto. (Los puntos corresponden a los valores reales y las curvas a las líneas de tendencia).

Estimación del área urbana antes de 1976

Según la bibliografía consultada en base al inicio del poblamiento en los 14 partidos y la Capital Federal, se consideró que la mancha urbana comenzó a expandirse en la Cuenca Baja en 1680 como resultado del promedio de inicio aproximado del poblamiento en esa zona, calculado en forma proporcional al área que cada partido ocupa (la mancha urbana se estima que aparece retardada con respecto al inicio del poblamiento); en 1690 en la Cuenca Media y en 1808 en la Alta. Se considera entonces que la cobertura urbana en esos años es nula, y por lo tanto el Indicador Demográfico igual a cero (ID=0).

Indicador Demográfico (ID)

El indicador ID es un componente de ingreso en la ecuación del Índice de Incidencia Antrópica (IIA) porque se considera que el tamaño poblacional (N) y

el área urbana son variables de gran incidencia sobre el ecosistema fluvial Matanza-Riachuelo.

A continuación se presenta la tabla de valores del Indicador Demográfico (ID) para los años 1500 a 2011, para los tres sectores de la cuenca y para la cuenca entera (Tabla 14 y Tabla 6).

Tabla 14 Indicador Demográfico (ID) para los sectores Bajo, Medio y Alto de la cuenca y la cuenca entera.

INDICADOR DEMOGRÁFICO	1500	1700	1881	1900	1922	1945	1958	1976	1977	1978
CUENCA BAJA	0.00	0.04	0.06	0.15	0.41	0.59	0.64	0.66	0.66	0.67
CUENCA MEDIA	0.0000	0.0006	0.0007	0.0022	0.0060	0.0194	0.0373	0.0692	0.0716	0.0740
CUENCA ALTA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Cuenca TOTAL	0.000	0.004	0.006	0.014	0.038	0.058	0.070	0.084	0.086	0.087

ID	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
CB	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.69
CM	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
CA	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
C MR	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

ID	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
CB	0.69	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71
CM	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
CA	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005
C MR	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12

ID	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
CB	0.71	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
CM	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19
CA	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
C MR	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14

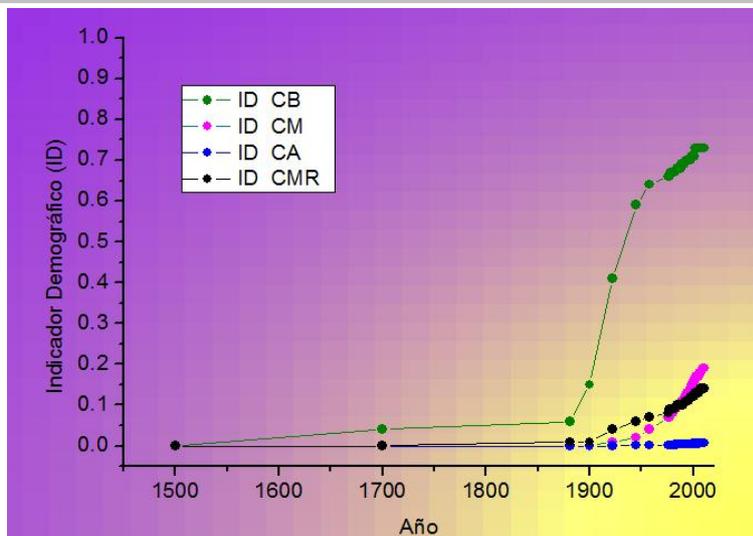


Figura 51 Indicador Demográfico (ID)

Como puede observarse en el gráfico de ID de la Figura 51 es en la **cuenca baja**, que es el sector urbano de la cuenca y actualmente el más densamente poblado, donde se registraron los mayores valores del indicador ID desde el inicio del poblamiento y hasta la actualidad, y que si bien comienza a aumentar a inicios del siglo XVIII (1700) lo hace de forma más acelerada desde finales del siglo XIX (1880). Los restantes sectores de la cuenca (**media** y **alta**) que son zonas mas rurales, presentan valores del ID muy inferiores a los del sector bajo, aún después de finales del siglo XX, donde muestran un aumento muy marcado. Los valores del indicador ID en la **cuenca alta** son los menores

detectados de toda la cuenca y los respectivos para la **cuenca media** son intermedios (Figura 51).

Esto se debe a que la **cuenca baja** tiene una densidad demográfica mucho mayor que el promedio de la cuenca entera. Dicho de otra forma, el tamaño de la población en la cuenca baja (N_{CBaja}) es muy similar a la capacidad de carga de población (Kp_{CBaja}) lo que resulta en un ID cercano a 1, mientras que para **toda la cuenca** el N_{CMR} es mucho menor a la Kp_{CMR} , resultando en un $ID \ll 1$.

Las curvas del indicador ID muestran que existe un claro gradiente demográfico desde la desembocadura del Riachuelo (**cuenca baja**) hasta la cabecera del Matanza (**cuenca alta**).

Conclusiones parciales: Demografía

De todo lo expuesto se puede concluir que la cuenca MR tiene sus tres sectores bien diferenciados (ACUMAR, 2009) por la densidad demográfica actual y por la forma de crecimiento poblacional que experimentaron desde el inicio del poblamiento.

Al analizar la cuenca históricamente desde un punto de vista demográfico el crecimiento urbano principalmente en el sector bajo de la cuenca ha representado una continua presión negativa sobre el ambiente desde inicios del 1600, básicamente por el reemplazo de la cobertura natural (suelo permeable) por superficie edificada (impermeable) sin una planificación para la urbanización acorde con un desarrollo sustentable, conduciendo a un crecimiento demográfico desordenado (ACUMAR, 2006).

La capital federal (CABA) que fue el área primeramente poblada, es actualmente una zona puramente urbana con la mayor densidad demográfica presenta por esto, un altísimo nivel de impermeabilización superficial, mientras que la cuenca alta, que es un área puramente rural, es el sector que presenta las menores densidades demográficas. Se pudo evidenciar un claro gradiente demográfico desde la desembocadura del Riachuelo en el Río de La Plata, hasta la cabecera del Matanza (Cosmelli Ibáñez, 1968; Domínguez, 1861).

Si bien el tamaño poblacional es una única variable, el hombre tiene incidencia en muchas variables ambientales, por lo que se considera a ésta una variable determinante en el impacto antrópico sobre la cuenca.

La historia a la que estuvo sometida la cuenca evidencia un alto grado de impacto continuo del hombre en el sector bajo (Riachuelo), mientras que la incidencia antrópica en el río Matanza fue y es muy inferior debido a su uso rural, que si bien ha impactado negativamente porque hubo un cambio de vegetación autóctona por alóctona (se verá con mayor detalle mas adelante) incidió negativamente en la absorción y almacenamiento de agua, sin embargo, en la parte baja de la cuenca la cobertura edificada implica un grado mas severo de impacto con respecto al drenaje de la cuenca, ya que significa un aumento significativo de la impermeabilización superficial del suelo.

Sin embargo, teniendo en cuenta esta situación y desde el punto de vista de la conservación de la integridad del ecosistema fluvial, el hecho que la cabecera del río sea el sitio de menor impacto demográfico es positivo ya que son las cabeceras los sitios clave para proteger las cuencas hídricas. Por lo que, las autoridades deberían tener en cuenta como medida de urgencia proteger estos sectores a la vez que implementar estrictas políticas de ordenamiento territorial más aún en estos sectores que actualmente están en pleno aumento demográfico.

B. INDICADOR DE VEGETACIÓN

Más allá de los aspectos paisajísticos y de recreación, las áreas verdes, cumplen importantes funciones en el ambiente, y conforman un componente positivo para la calidad de vida de los habitantes principalmente en áreas muy urbanizadas.

Los ecosistemas con mayor integridad, es decir con mayor salud ecológica, tienen una mayor capacidad de resistir a las perturbaciones (resiliencia).

Sólo recientemente se ha comenzado a comprender que los beneficios de mantener la integridad y salud de los ecosistemas son muy amplios. Los ecosistemas ofrecen servicios a la sociedad tanto de abastecimiento (alimento, agua, madera, recursos genéticos), como de regulación (control de la composición de gases atmosféricos y del clima, regulación del ciclo hidrológico y de las inundaciones, control de la erosión y retención de nutrientes; formación de suelo y ciclos biogeoquímicos; polinización, control biológico de poblaciones, entre otros) y servicios culturales (estéticos, educativos y recreativos). La importancia de la conservación de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas se hace más patente cuando se reconoce su papel imprescindible para la provisión de servicios a la sociedad (Gómez-Limón García *et al*, 2008).

Hoy se sabe que para poder disfrutar de los servicios de los ecosistemas es imprescindible conservar (o restaurar donde sea preciso) las funciones o procesos ecológicos esenciales que los soportan (como el flujo de energía y la organización trófica del ecosistema, los ciclos biogeoquímicos, la dinámica de poblaciones entre muchos otros).

Se entiende por tanto que un ecosistema con un buen nivel de integridad o salud ecológica constituye un capital natural, ya que algunas de sus funciones ecológicas generan servicios a la sociedad, tengan o no valor económico en el mercado. Sin embargo, en general los servicios proporcionados por los espacios protegidos no están aún suficientemente identificados ni valorados (Gómez-Limón García *et al*, 2008) y en épocas más antiguas, esta concepción conservacionista de los ambientes naturales en zonas muy urbanizadas, no fue tomada en cuenta.

En la planicie de inundación del río Matanza Riachuelo, la importancia de las áreas verdes naturales reside principalmente en que son reguladoras del microclima urbano -porque regulan la temperatura como consecuencia del contenido de agua en su biomasa vegetal-, de la evapotranspiración, y de la reducción de la radiación solar. Otro beneficio importante se vincula a la regulación hídrica que cumplen los espacios verdes en general, relacionada con la facilitación de la infiltración a través del sustrato hacia la napa, mecanismos que inciden eficientemente sobre el ciclo del agua. La presencia de zonas verdes en riberas y/o planicies de inundación tiene efecto sobre las inundaciones, ya que permite mantener el circuito de infiltración del agua, que en un área altamente urbanizada se encuentra prácticamente anulado por la pavimentación e impermeabilización del suelo que, a su vez contribuyen a incrementar el escurrimiento superficial. Otra función de la vegetación es la de regulador atmosférico, porque reduce o amortigua la contaminación atmosférica, ya que las partículas presentes en el aire se depositan sobre la superficie foliar y, en una segunda instancia, son absorbidas por el suelo. Además, la vegetación absorbe dióxido de carbono, principal componente del smog urbano generado por procesos de combustión. La contaminación sonora también es disipada por

la vegetación que actúa en este caso como barrera absorbente (sobre todo para sonidos de baja frecuencia) o como obstáculo a la propagación del sonido.

La ausencia de vegetación natural en la cuenca es producto del reemplazo por zonas urbanas o área cultivada o parquizada, y si bien ésta última no disminuye tanto el drenaje como ocurre con la zona urbana, al ser vegetación introducida no cumple con las funciones propias de la vegetación autóctona, básicamente, la de la retención de grandes volúmenes de agua. Los ambientes naturales se forman durante miles de años y la comunidad biológica que allí se encuentra está históricamente adaptada a ese ambiente y a esas condiciones (SAyDSN – ACUMAR, 2006).

Flora natural

El área de la cuenca se encuentra ubicada en la región biogeográfica del 'pastizal pampeano'.

En la cuenca se distinguen dos ambientes bien diferenciados: uno constituido por los terrenos altos y otro por las tierras bajas, anegadizas o pantanosas de los bañados y las orillas de los arroyos. En los terrenos altos la vegetación natural estaba originalmente constituida por gramíneas interrumpidas de tanto en tanto por pequeños montes de chañares. Los árboles: espinillos, porotillos, acacias, zarzamora, zarzaparrilla falsa y sauce colorado (imagen abajo), crecían en las márgenes de los ríos y arroyos uniéndose por encima de los arroyos menores formando los bosques en galería. Sobre la superficie de las aguas predominaban los juncos y camalotes (Ameghino, 1985; Malpartida, 2010; Arauz *et al*, 2002).



Zarzamora

Sauce colorado

Espinillo

Acacia

Según escritos, el Riachuelo era una región baja y pantanosa cubierta de juncales y gramíneas con lagunas que en su interior albergaban peces (pejerreyes, bogas, dorados), garzas, patos, teros, carpinchos y nutrias. Subiendo la barranca había bosques de espinillos, zarzamoras, acacias, talas y ombúes que junto a los pajonales constituían el hábitat de zorros, venados, vizcachas, perdices, ñandúes y pumas.

La intensa urbanización de la cuenca y las actividades agropecuarias provocaron la modificación de la cobertura vegetal original y en consecuencia, de la fauna asociada a ella (SAyDSN – ACUMAR, 2006).

Hoy en el área podemos observar una predominancia de gramíneas de entre 0,5 y 1m de altura que coexisten con especies introducidas (alóctonas), paraísos, ligustros, entre otros. Las áreas cubiertas por vegetación natural más expresivas en la cuenca en la actualidad se dan a lo largo del río Matanza, sobre la margen de los canales de drenaje secundarios, principalmente en sus cabeceras y terrenos bajos y anegadizos. Los sectores donde ha incidido menos el hombre fueron en los alrededores del aeropuerto de Ezeiza, incluyendo una porción en el partido de Esteban Echeverría (en verde en Figura 52), y una zona

muy pequeña en Lomas de Zamora, que en total consiste en una zona muy reducida, aproximadamente un 2% del área total de la cuenca (Arauz *et al*, 2002). A lo largo de estos canales la vegetación se compone de especies herbáceas y/o arbustivas, asociada a ambientes de valle de inundación, entre ellos se puede citar la presencia de juncales, totorales, duraznillos y pajonales de cortadera como únicos reductos de vegetación nativa. En los alrededores del aeropuerto de Ezeiza, además de estos tipos, existen especies plantadas de reforestación.

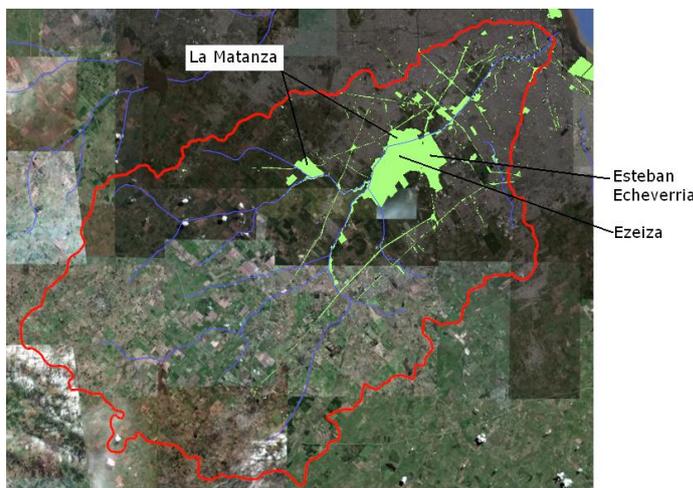


Figura 52 Área verde (natural y artificial) de la CMR (según ACUMAR).

La cobertura de zonas verdes en la ciudad es de gran importancia para mantener una buena calidad de vida. Las plazas, jardines, parques o bosques urbanos desempeñan un papel fundamental en el medio ambiente y la biodiversidad de la ciudad, además de ser espacios para el paseo, el relax o el ocio, a nivel de ordenación del territorio forman parte de su estructura, y simbolizan un ambiente urbano equilibrado, donde la edificación se amortigua con los espacios naturales. En la CABA existe un indicador que mide la superficie de parques y plazas (públicas) en el ámbito urbano en relación al número de habitantes. Sin embargo, hasta antes de crear la Acumar, cada municipio implementaba sus propias normas, sin criterios regionales compartidos con los restantes componentes de la cuenca. Este es uno de los factores más importantes a la hora de entender la complejidad del ordenamiento territorial de la CMR (Observatorio de Resultados GCBA, 2011).

Metodología para identificar la cobertura de vegetación

En primer lugar se realizó un análisis visual de las imágenes Landsat TM en falso color compuesto con la combinación de las bandas 4,3,2 (IR cercano, Rojo, Verde) (Figura 53) que resaltan la vegetación en color rojo.

La combinación 4,3,2 es muy útil para visualizar diferencias en cuanto a cobertura vegetal y urbana. Sin embargo, para imágenes del MSS se utilizó la combinación 3,2,1 que es homóloga a la de TM.

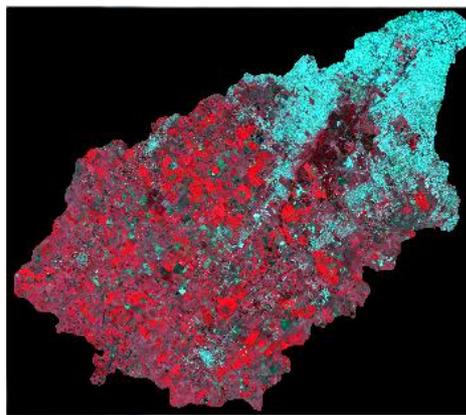


Figura 53 Imagen Landsat TM 2011 de la cuenca MR en falso color compuesto: 4,3,2.

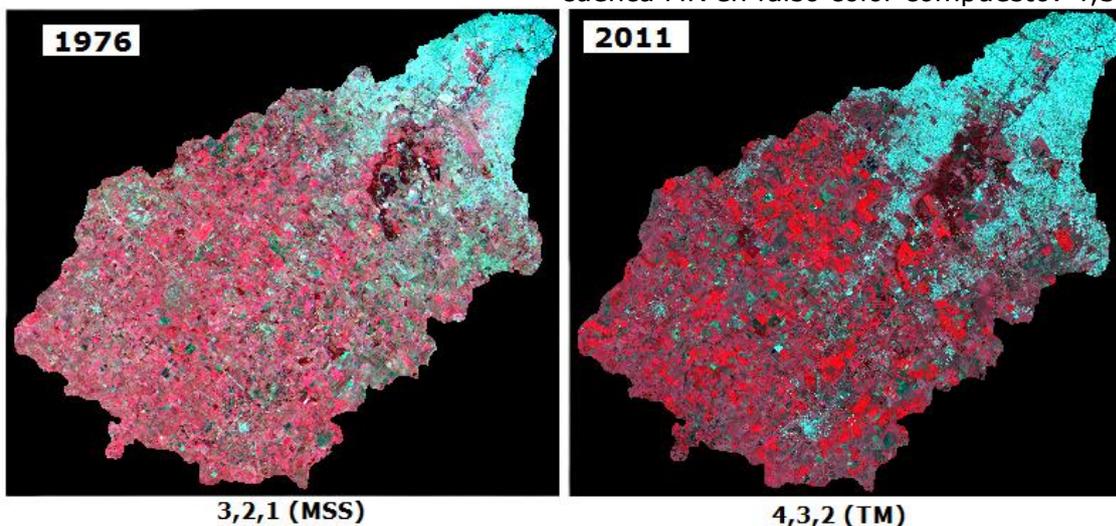


Figura 54 Imagen Landsat falso color compuesto: 1, 2, 4 (MSS 1976) y 2, 3, 4 (TM 2011).

Para conocer la superficie de vegetación en la cuenca MR se utilizó la metodología de la clasificación supervisada descrita anteriormente (pág 28). Para la clasificación de la vegetación se utilizó un grupo de ROIs o *muestras de entrenamiento* de vegetación natural (

Figura 55) y vegetación artificial (Figura 16) como '*verdad de campo*' que fueron seleccionadas observando la imagen Landsat en combinación de color real (RGB: 3,2,1) como se muestra en la figura. Estos ROIs representan muestras de píxeles de los cuales se extrae la estadística para luego encontrar los píxeles con la misma estadística en toda la imagen. Para la clase Vegetación Natural los ROIs de entrenamiento se tomaron de las áreas más conservadas de la cuenca o donde haya incidido menos el hombre, que según bibliografía (SAyDSN-ACUMAR, 2006) y ACUMAR (Villa Uría¹ com per, 2011), los relictos de zonas naturales se encuentran en las cercanías del aeropuerto de Ezeiza (Figura 52).

¹ Villa Uría, Gustavo fue Director Ejecutivo de la ACUMAR.

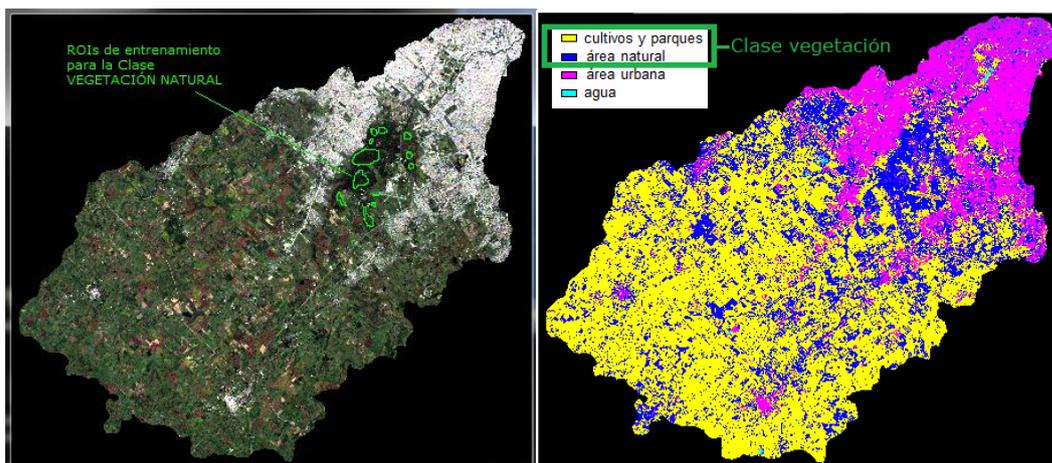


Figura 55 Imágen Landsat 2007 mostrando los ROIs para la clase vegetación natural (izquierda) y producto clasificado (derecha).

Se cuantificaron las áreas con cobertura de vegetación natural (Nat) y vegetación artificial (Artif) para todos los años entre 1976 y 2011.

Para los años anteriores a estas fechas (1900 – 1975) los valores de vegetación total se estimaron teniendo en cuenta la cobertura urbana y la de agua, porque se consideró que con el crecimiento demográfico aumentó el área cultivada a expensas de la vegetación natural. Por ende, se considera que cuando la cobertura urbana era nula también lo era la cobertura de vegetación artificial mientras que la cobertura de vegetación natural era máxima. Por lo tanto, la estimación de cobertura vegetal se obtuvo por diferencia del área total con la urbana.

Para diferenciar *Nat* de la *Artif* se calculó la curva de tendencia de la *Artif* con los datos obtenidos a partir de las imágenes Landsat (Figura 56) (R^2 C_Alta: 0,55; R^2 C_Media: 0,60; R^2 C_Baja: 0,60). Finalmente, dado que las curvas de tendencia para la *Nat* mostraron un ajuste bajo ($R^2 < 0,5$) la *Nat* se obtuvo por diferencia entre la vegetación total y la plantada.

Para las estimaciones se consideró que en los años anteriores a la colonización española la vegetación natural cubría la totalidad del territorio con excepción de una mínima área que pertenece a otras coberturas como agua (río y otros cuerpos de agua) y suelo desnudo.

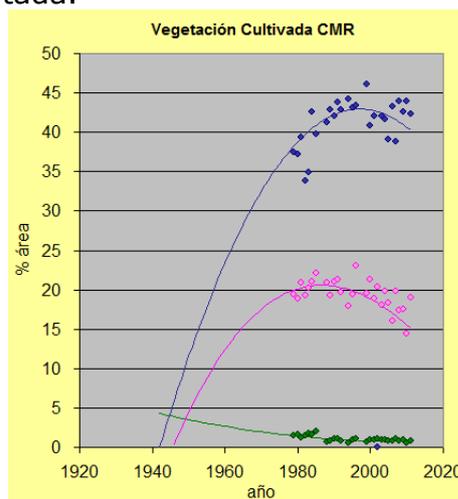


Figura 56 Estimación de la vegetación cultivada.

Dado que los resultados de las estimaciones probablemente están alejadas de los valores reales porque no pudieron validarse por la falta de datos en este periodo, se recomienda para trabajos a futuro, validar dichas estimaciones con otras herramientas como fotografías aéreas (Bertoli *et al*, 2004) y sus productos de procesamiento.

Resultados: vegetación de la CMR

A partir de los datos obtenidos de las clasificaciones de las imágenes Landsat de 1976 a 2011 y estimaciones para los años anteriores, la vegetación natural es máxima hasta aproximadamente 1700 en la cuenca baja y media, y en 1800 en la cuenca alta (año aproximado en que comenzaría la expansión urbana, ver Capítulo Indicador Demográfico) (Figura 57).

En la cuenca baja, relacionado al proceso de urbanización, el área de vegetación natural fue gradualmente reemplazada por área edificada y en menor proporción por vegetación artificial (parques, plazas). Sin embargo, en la cuenca alta, que es la zona rural por excelencia, si bien la cobertura vegetal fue muy alta (mayor al 90%) en los últimos 35 años (1976 a 2011) la mayor parte corresponde a cultivo. Ambos sitios sufren y sufrieron un elevado impacto al ambiente natural, pero dado por distintos procesos de transformación. La cuenca media, presenta un estado de vegetación natural y artificial intermedio entre los otros dos.

Según los datos estimados, la cobertura de vegetación artificial supera la de la vegetación natural aproximadamente en 1913 en la **cuenca baja**, en 1968 en la **cuenca media** y en 1963 en la **cuenca alta** (Figura 57).

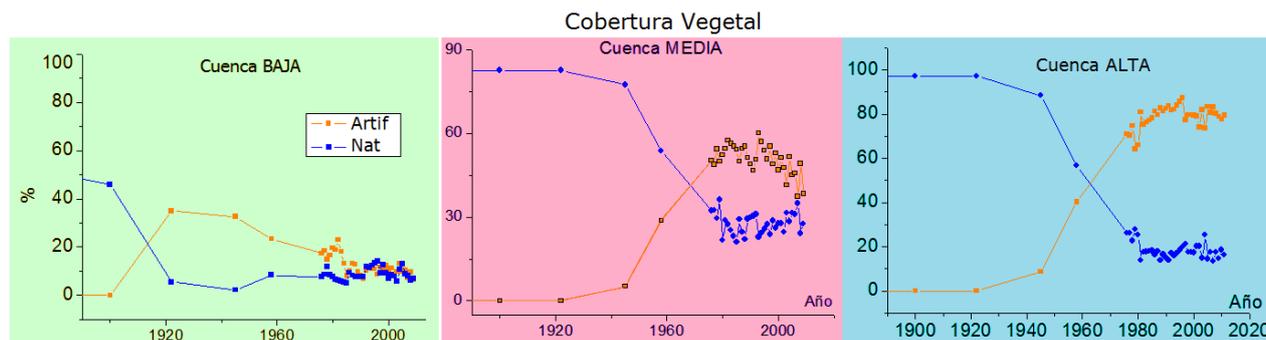
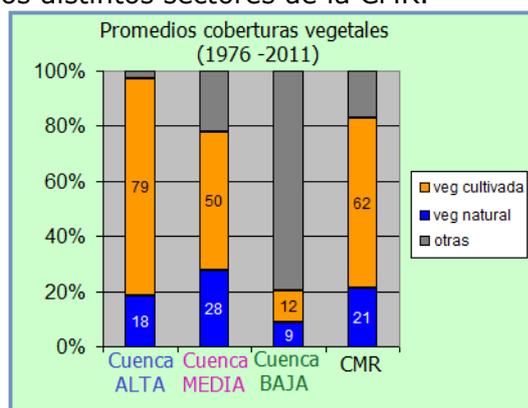


Figura 57 Variación temporal de la cubierta de vegetación: plantada (cultivos y parques) y natural (autóctona) en los distintos sectores de la CMR.

La **cuenca alta** es el sector que siempre presentó mayor cobertura vegetal (promedio entre 1976-2011: **97%**) (Gráfico en barras), mientras que en la **cuenca baja**, que es la zona más urbanizada, se registraron los menores valores de cobertura vegetal (promedio entre 1976-2011: **21%**).



La **cuenca media**, presentó valores intermedios de cobertura vegetal (promedio entre 1976-2011: **78%**). Para la cuenca entera, el promedio entre 1976-2011 de la cobertura vegetal fue del 83%.

Haciendo un análisis entre los años 1976 a la actualidad (2011), la vegetación natural fue siempre la menor cobertura en los tres sectores (promedio cobertura natural: **CB: 9%**, **CM: 30%**, **CA: 17%**, y para toda la **cuenca: 21%**) (gráfico en barras). Mientras que la cobertura artificial, como se observa en el

grafico en barras, fue la cobertura vegetal predominante (promedio cobertura natural: **CB**: 12%, **CM**: 50%, **CA**: 79%, y para toda la **cuenca**: 62% del área de la cuenca). Esto refleja la gran incidencia antrópica en la cuenca.

Con respecto al periodo 1976 - 2011, si bien la dispersión de los datos fue grande, puede identificarse una clara diferencia entre los tres sectores de la cuenca para los dos tipos de vegetación (Figura 57).

Los R^2 para las curvas de tendencia de vegetación (1976-2011) (Figura 56) fueron bajos en general pero más aún en la vegetación natural ($R^2_{NAT} < 0,45$; $R^2_{ARTIF} < 0,50 \rightarrow 0,64$). Esto puede atribuirse al hecho que las imágenes no son del mismo momento del año e incluso en algunas clasificaciones se observó dificultad para separar la vegetación natural de la cultivada. Los resultados muestran que espectralmente, ambas clases no son fácilmente separables y esto se debe a que la vegetación natural y plantada son diferentes a nivel especies pero con un tamaño de pixel entre 30 y 79m (resolución espacial de las imágenes Landsat), es muy posible que sean espectralmente similares (Figura 58). Además, la escasa área natural en la cuenca conduce a tener muestras de entrenamiento chicas (puntos azules en la Figura 58).

A continuación se muestra los gráficos de separabilidad entre las clases para los años 1977, 1987, 1997 y 2007 (Figura 58).

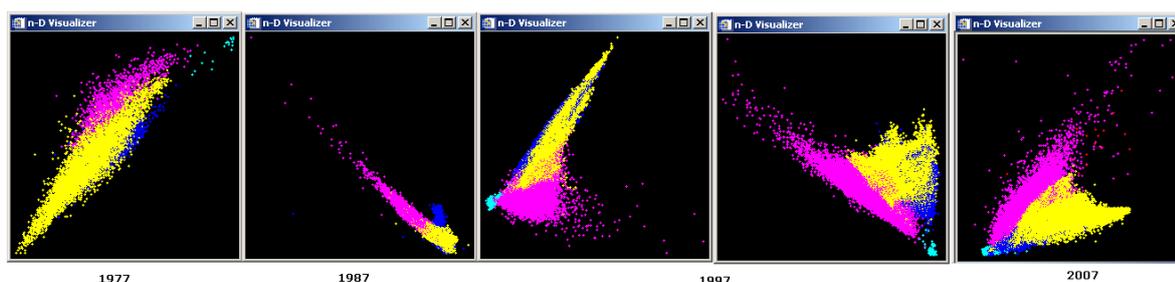


Figura 58 Gráfico 3D de pixeles de los ROIs de entrenamiento. Los ejes corresponden a distintas combinaciones de bandas (clase urbana: magenta; clase vegetación cultivada: amarillo; clase vegetación natural: azul y clase agua: turquesa).

Si bien la separabilidad entre las clases artificial y natural no fue tan precisa en todos los años analizados, se considera que puede ser utilizado en el cálculo del Índice de Incidencia Antrópica. En estudios posteriores se sugieren otros métodos para aumentar la separabilidad entre clases, como por ejemplo uso de firmas espectrales de los cultivos más frecuentes en la zona, utilizar imágenes del mismo momento del año para toda la serie temporal, o aprovechando que una de las diferencias entre ambos tipos de vegetación puede ser la topología, es decir, basándose en que los cultivos y parques tienen un patrón geométrico mientras que las coberturas de la vegetación natural son más azarosas (método de segmentación), entre otros.

Con respecto al área de vegetación artificial (cultivos y parques) mostró ser claramente separable de la clase urbana y agua.

La curva de tendencia del área cultivada en la Figura 59 para **Cuenca Alta** muestra que hubo un aumento de la actividad agrícola desde 1976 hasta mediados de los '90 y desde ese momento disminuye de forma casi asintótica hacia la actualidad (2011). Mientras que en la **Cuenca Media** la actividad agrícola disminuyó desde inicios de los '90 hasta la actualidad. Finalmente, en la **Cuenca Baja** la curva disminuye desde 1976 hasta los '90, y desde ahí se mantiene con valores bajos hasta la actualidad (Figura 52).

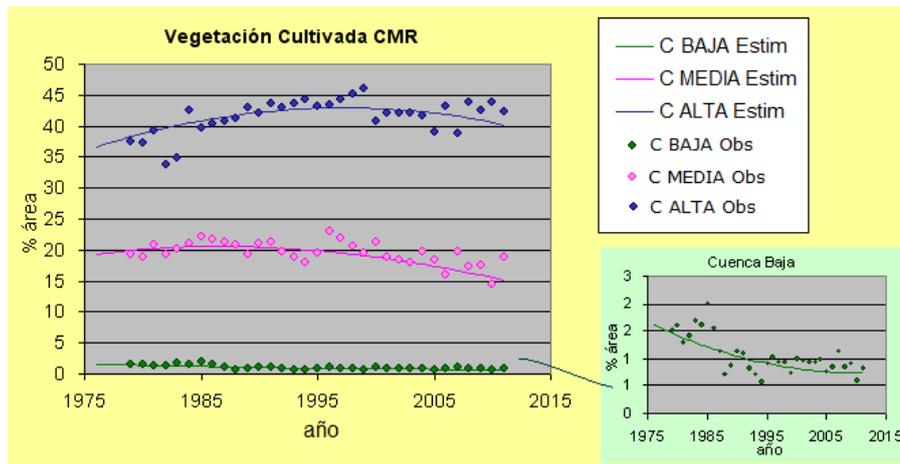


Figura 59 Variación del área cultivada para los 3 sectores de la cuenca (los puntos son los datos observados y las curvas son ajustes).

Con respecto al área natural las curvas de la Figura 57 muestran una tendencia a disminuir en todos los sectores de la cuenca, siendo más marcada en su sector alto, mientras que en la Cuenca Baja ambos tipos de vegetación (natural y plantada), de menor cobertura, presentan valores similares desde la década de los '90, probablemente porque la mayor parte de la cuenca baja está ocupada por área urbanizada (Figura 57 Figura 59).

Indicador de Vegetación (IV)

El Indicador de Vegetación (IV) se creó de forma que indique la proporción de áreas verdes en la cuenca, pero teniendo en cuenta también la proporción de vegetación natural con respecto a la artificial, ambos como medida de la incidencia antrópica sobre el ecosistema fluvial original.

Se considera que cuando **IV=1** cuando el área está completamente cubierta por vegetación natural (autóctona) (Figura 60). El indicador IV disminuye a medida que disminuya la cobertura vegetal con respecto a otras coberturas y/o a medida que disminuya el área natural con respecto a la cobertura artificial. Cuando **IV=0** (cero) el área considerada no tiene espacios verdes en absoluto (Figura 60).

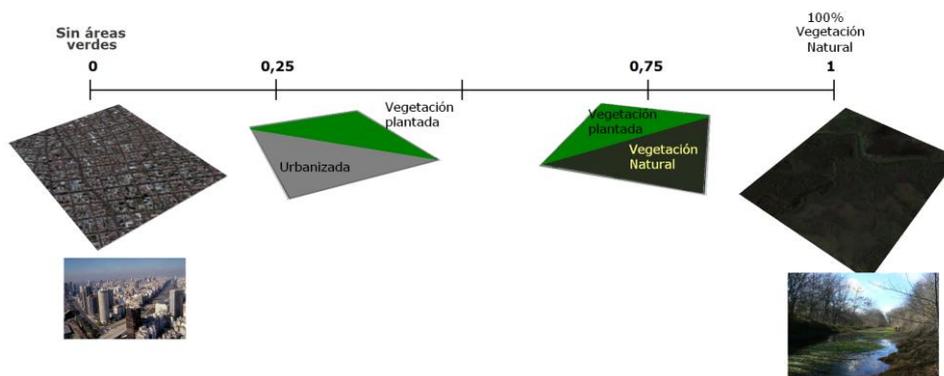
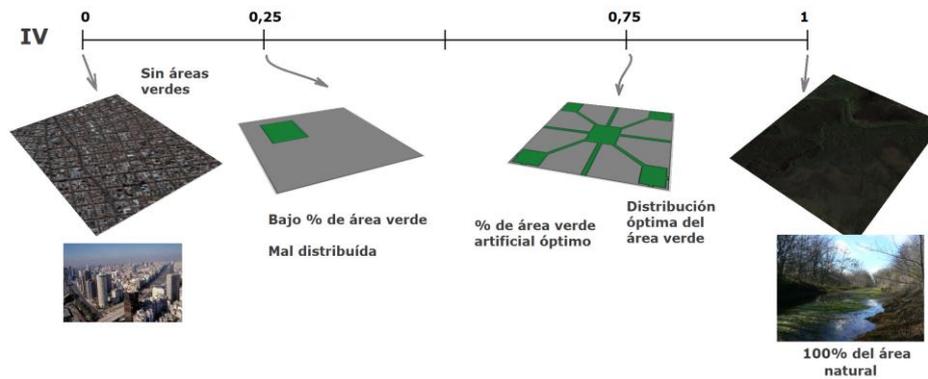


Figura 60 Escala del IV (Indicador de Vegetación)

Un componente importante en la ecuación del IV a tener en cuenta en trabajos futuros, con el aporte de datos de mayor resolución espacial, es la distribución equitativa del área verde, es decir el ordenamiento de las áreas verdes es importante no solo para el hombre sino para la sostenibilidad del ecosistema. La

presencia de una alta cobertura de vegetación, corredores verdes entre zonas urbanizadas es vital para mantener la integridad del ecosistema natural y así permitir que funcione como tal (Ley Nacional Argentina del Ambiente Nº 25.675/02). Además, los espacios verdes presentes en las zonas urbanas cumplen una variedad de funciones ambientales y sociales. La OMS recomienda que las ciudades dispongan, como mínimo, de entre 10 a 15 m² de área verde por habitante, distribuidos equitativamente en relación a la densidad de población (figura abajo).



La ecuación del **Indicador de Vegetación (IV)** se calculó para cada sector de la cuenca (x) y para cada año (t) desde 1976 hasta 2011 y se expone a continuación:

$$IV_{xt} = \frac{2 * (Nat)_{xt} + Artif_{xt}}{2}$$

donde:

x = Sector de la cuenca (Alta, Media y Baja)

t = año

Nat = Área de Vegetación Natural / Área total de x

Artif = Área de Vegetación Artificial / Área total de x

Por ejemplo, el cálculo del IV para el año 1976 para el sector de la cuenca alta, incluye un primer cálculo de la variable cobertura de la vegetación natural, *Nat* y de la cobertura de vegetación artificial, *Artif*:

*Nat*_{CA 1976} = 13,8%/100% = 0,14

*Artif*_{CA 1976} = 37,4%/100% = 0,37

*IV*_{CA 1976} = [(2*0,14) + 0,37]/2 = 0,65

Por lo tanto, el indicador IV refleja no solo la proporción del área cubierta con vegetación sino también el cambio de cobertura vegetal autóctona por vegetación alóctona (cultivos y parques). El cambio de tipos de vegetación tiene gran importancia desde el punto de vista del drenaje de las aguas ya que en ambientes de llanuras aluviales naturales la vegetación está adaptada a absorber y retener grandes volúmenes de agua, mientras que la vegetación introducida (cultivos y parques) no cumple con esta función, lo que resulta en una menor retención de agua desde el punto de vista hidrológico y por lo tanto mayor riesgo de inundaciones, y representa una degradación del ecosistema desde el punto de vista ecológico.

El indicador disminuye tanto a medida que disminuye el área vegetada en general como a medida que la vegetación natural va siendo reemplazada por vegetación alóctona o artificial. Por lo tanto, la incidencia antrópica aumenta cuando disminuye la cobertura vegetal y también cuando aumenta la proporción de cultivos y parques con respecto a la vegetación natural.

A continuación se expone la tabla de valores de las variables Vegetación Natural ('Nat') y Artificial ('Artif') y del Indicador de Vegetación ('IV') para los tres sectores de la cuenca (Alta, Media y Baja) y para la cuenca total (CMR) (Tabla 15).

Tabla 15 Indicador de Vegetación (IV) para los tres sectores de la cuenca y la cuenca total (CMR) en los años 1976 a 2011 (algunos años faltaron imágenes Landsat).

INDICADOR DE VEGETACIÓN (IV)		estado original	1700	1881	1900	1922	1945	1958	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Cuenca ALTA	Nat	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.89	0.57	0.26	0.26	0.23	0.28	0.25	0.14	0.17	0.18	0.18	0.18	0.16	0.18	0.14	0.17
	Artif	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.40	0.71	0.70	0.75	0.64	0.66	0.81	0.75	0.76	0.77	0.78	0.81	0.80	0.83	0.81
	IV	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.93	0.77	0.62	0.61	0.60	0.60	0.58	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.58	0.55	0.57
Cca MEDIA	Nat	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.77	0.54	0.32	0.32	0.30	0.36	0.22	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.29	0.25	0.22	0.29
	Artif	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.29	0.50	0.49	0.54	0.50	0.52	0.55	0.57	0.56	0.55	0.54	0.50	0.55	0.55	0.51
	IV	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.80	0.68	0.57	0.57	0.57	0.61	0.48	0.56	0.56	0.53	0.51	0.48	0.54	0.52	0.50	0.55
Cca BAJA	Nat	0.93	0.93	0.50	0.46	0.06	0.02	0.08	0.08	0.09	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.09	0.08	0.08	0.08
	Artif	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.33	0.23	0.17	0.18	0.15	0.16	0.20	0.19	0.23	0.18	0.13	0.08	0.10	0.13	0.13	0.10
	IV	0.93	0.93	0.50	0.46	0.23	0.18	0.20	0.16	0.18	0.19	0.17	0.17	0.16	0.18	0.15	0.12	0.09	0.14	0.15	0.14	0.12
CMR	Nat	0.91	0.91	0.87	0.87	0.84	0.79	0.51	0.27	0.27	0.24	0.29	0.22	0.19	0.20	0.20	0.19	0.18	0.21	0.20	0.16	0.20
	Artif	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.34	0.58	0.58	0.62	0.55	0.57	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.64	0.66	0.63
	IV	0.91	0.91	0.87	0.87	0.85	0.82	0.69	0.56	0.56	0.55	0.57	0.51	0.52	0.52	0.51	0.50	0.50	0.52	0.52	0.50	0.52

INDICADOR DE VEGETACIÓN (IV)		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Cuenca ALTA	Nat	0.15	0.14	0.17	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.15	0.25	0.15	0.17	0.13	0.18	0.15	0.19	0.16
	Artif	0.83	0.84	0.82	0.82	0.84	0.86	0.87	0.77	0.80	0.80	0.80	0.79	0.74	0.82	0.74	0.83	0.81	0.83	0.80	0.79	0.78	0.79
	IV	0.56	0.56	0.58	0.57	0.59	0.61	0.64	0.60	0.57	0.57	0.57	0.60	0.57	0.56	0.62	0.56	0.58	0.55	0.58	0.54	0.57	0.56
Cca MEDIA	Nat	0.30	0.30	0.31	0.23	0.24	0.26	0.27	0.24	0.29	0.28	0.28	0.28	0.25	0.31	0.28	0.31	0.31	0.35	0.24	0.28	0.26	0.29
	Artif	0.49	0.47	0.51	0.60	0.57	0.54	0.51	0.55	0.49	0.48	0.47	0.51	0.48	0.41	0.51	0.45	0.46	0.37	0.49	0.38	0.43	0.40
	IV	0.54	0.54	0.56	0.53	0.53	0.53	0.53	0.51	0.53	0.52	0.51	0.53	0.49	0.52	0.54	0.54	0.54	0.54	0.49	0.47	0.47	0.49
Cca BAJA	Nat	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.09	0.13	0.10	0.07	0.08	0.08	0.06	0.11	0.13	0.09	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07
	Artif	0.08	0.07	0.10	0.12	0.11	0.11	0.09	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.10	0.13	0.10	0.11	0.07	0.10	0.06	0.09	0.07
	IV	0.12	0.11	0.17	0.17	0.18	0.19	0.18	0.15	0.18	0.15	0.12	0.14	0.12	0.11	0.17	0.18	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10
CMR	Nat	0.20	0.20	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.21	0.21	0.21	0.20	0.22	0.21	0.20	0.25	0.21	0.22	0.21	0.19	0.19	0.20	0.20
	Artif	0.63	0.63	0.63	0.67	0.67	0.67	0.66	0.63	0.62	0.61	0.61	0.62	0.58	0.60	0.60	0.62	0.61	0.59	0.62	0.57	0.58	0.58
	IV	0.51	0.51	0.54	0.52	0.50	0.47	0.45	0.53	0.52	0.52	0.51	0.53	0.50	0.50	0.55	0.52	0.52	0.51	0.50	0.47	0.49	0.49

Los valores del indicador IV están referidos a cada sector como el 100% y no en proporción a lo que cada sector representa para la cuenca total. De esta forma, si el $IV_{CUENCA_BAJA}=1$, significa que la totalidad del territorio de este sector presenta una cobertura de vegetación natural. Esto se realizó así, porque cada sector presenta un porcentaje de la cuenca total muy diferente (Cuenca Baja: 8,5%; Media: 38,5% y Alta: 53%), y para que eso no influya en el IV, se tomó cada sector como el 100%.

Las curvas del indicador IV para la cuenca MR graficados en la Figura 62 muestran que el IV antes del poblamiento era cercano a 1, es decir con una cobertura vegetal natural que cubría casi totalmente cada sector (el indicador valdría 1 si el 100% de su territorio tendría cobertura vegetal).

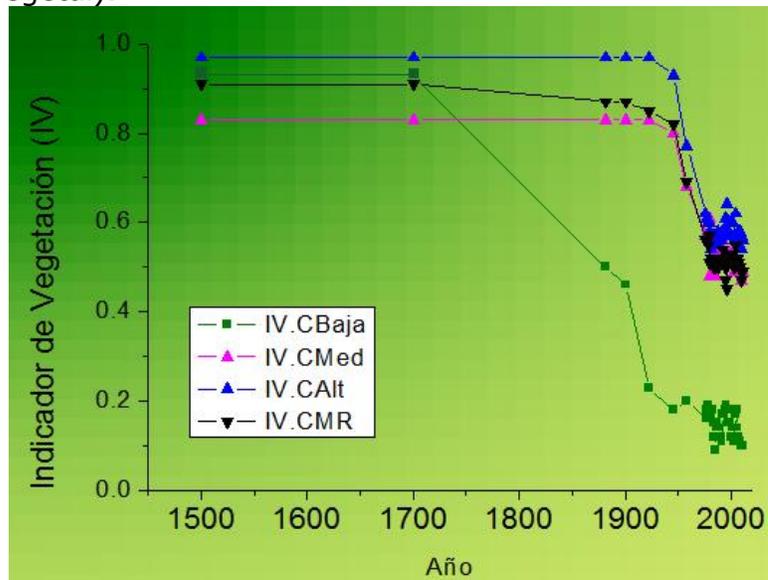


Figura 61 Indicador de Vegetación (IV) en los tres sectores de la Cuenca M-R.

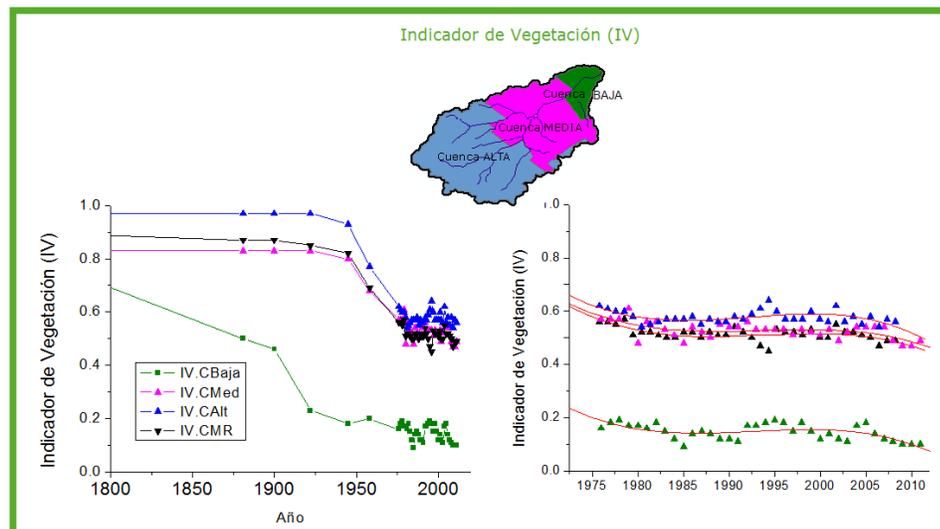


Figura 62 Variación temporal del indicador IV en la cuenca MR

La **cuenca baja**, sector más urbanizado de la cuenca es donde se registraron los menores valores del Indicador IV.

Si bien en los **sectores medio** y **alto** los valores del IV son similares, los de la **cuenca alta** son mayores porque su territorio tiene mayor proporción de vegetación que el de la cuenca media (promedio 1976-2011 **CM**: 78%; **CA**: 97%). Sin embargo, si bien la

cobertura vegetal total en la **cuenca media**, es menor a la del sector alto, presenta una mayor proporción de vegetación natural (cobertura Natural 1976-2011 **CM**: 30%, **CA**: 17%). La **cuenca media** sufre también procesos de reemplazo de su cobertura natural por edificación y agricultura, pero en niveles intermedios a la zona baja y alta respectivamente.

Finalmente, la **cuenca entera**, presenta valores de IV más similares a los de la zona rural que a los de la zona urbanizada, porque los sectores alto y medio representan en conjunto el 91,5% de la cuenca total.

Según las curvas de ajuste obtenidas para cada sector y la cuenca total, la tendencia del IV para todos los sectores en los últimos 5 años es de disminuir (Figura 63).

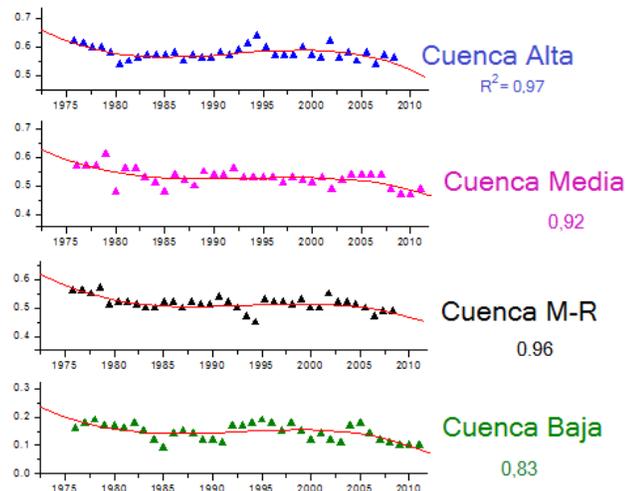


Figura 63 Tendencia del IV para los tres sectores de la cuenca y la cuenca entera.

Conclusiones parciales: Indicador de Vegetación

Con el uso de los **sensores remotos con técnicas de identificación de la vegetación** en el área de la cuenca, y con la más larga serie temporal de imágenes satelitales que abarcó de 1976 a 2011 pueden determinarse la vegetación en el sector total de la cuenca MR y sus tres sectores: bajo, medio y alto.

El área de la cuenca MR ha **cambiado su cobertura natural** marcadamente desde los inicios de los primeros asentamientos hasta la actualidad, por reemplazo de cobertura de vegetación artificial o urbana, según los procesos que preponderaron en los sectores de la cuenca.

El **reemplazo de cobertura vegetal natural por urbana o por vegetación introducida** al ecosistema fluvial tiene gran importancia **desde el punto de vista del drenaje** del agua, principalmente en la planicie de inundación de los ríos de llanura, donde la vegetación natural está adaptada a absorber y retener grandes volúmenes de agua, mientras que la vegetación introducida (cultivos y parques) por lo general no cumple con esta función, lo que resulta en un **mayor riesgo de inundaciones** desde el punto de vista hidrológico, y en la **degradación del ecosistema** desde el punto de vista ecológico.

La **cuenca baja**, fue desde 1976, el sector que menor área verde presentó, y la **cuenca alta** la de mayor proporción, como puede verse claramente en las imágenes Landsat a partir de una combinación de bandas que resalte la vegetación, y eso se mantuvo desde 1976 hasta la actualidad. La **cuenca media** presentó valores intermedios.

En **zonas de alta urbanización** el hecho de poder contar con un **indicador de área verde** es de gran importancia, ya que para mejorar la calidad de vida en las ciudades, la existencia de espacios verdes debe estar en proporción adecuada al número de pobladores. La OMS recomienda entre 10 -15 m² de espacio verde público por habitante, para mantener la higiene social y facilitar la convivencia y esparcimiento. De todas formas, no sólo para el hombre **es importante la presencia de la vegetación** sino para todo el ecosistema, ella contribuye a la oxigenación del aire, retiene partículas nocivas de la atmósfera, absorbe ruidos molestos, regulan la temperatura, drenan excesos hídricos, absorben contaminantes (algunos metales pesados que son comunes en el cauce del Riachuelo), protegen el suelo de la erosión, mejoran el paisaje, entre algunos de sus servicios (Arauz *et al*, 2002), y por eso se considera que **la disminución de la cobertura vegetal es un importante indicador de la incidencia del hombre** en la cuenca.

El **aumento demográfico actual** en la cuenca media y alta -como se mostró en la sección del Indicador Demográfico- enfatiza la importancia de tener en cuenta el área verde para un **planeamiento territorial** que garantice una mejor calidad de vida.

La **necesidad de grandes áreas naturales** en proximidad de la ciudad supera la solución del S XIX de crear jardines públicos como Palermo y la Reserva Ecológica Costanera Sur en la CABA. En este sentido, y en una visión a largo plazo, la reconversión del eje del Riachuelo aparece como una oportunidad de la metrópoli para esta necesidad.

Si bien fue posible detectar las coberturas de vegetación natural y alóctona con **imágenes Landsat, no mostraron ser tan eficaces para la identificación en áreas muy urbanizadas** donde la cobertura verde es muy pequeña. Se recomienda para futuros trabajos sobre la cuenca a menor escala, el uso de imágenes de mayor resolución espacial. Sin embargo cabe aclarar, la técnica podrá mejorarse recién a partir de los últimos años, ya que el problema principal a la hora de hacer un estudio temporal de varios años, es la disponibilidad de imágenes antiguas para identificar vegetación; Landsat es la serie de satélites que presenta la mayor serie temporal de imágenes y con una resolución espacial relativamente alta con respecto a la escala a la que se trabajó.

C.INDICADOR DE LA MODIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL CAUCE (IMDC)

Línea de base del Diseño del cauce de la CMR

Actualmente, el cauce principal del río Matanza-Riachuelo tiene una longitud de unos 62 km, desde su cabecera hasta su desembocadura.

Sin embargo, los mapas antiguos encontrados del río indican que en épocas coloniales (S XVII/ XVIII) su longitud era de unos 76 km, aunque otras fuentes bibliográficas le atribuyen unos 20km más de la actual longitud (Figura 64) (Mey, 2011).

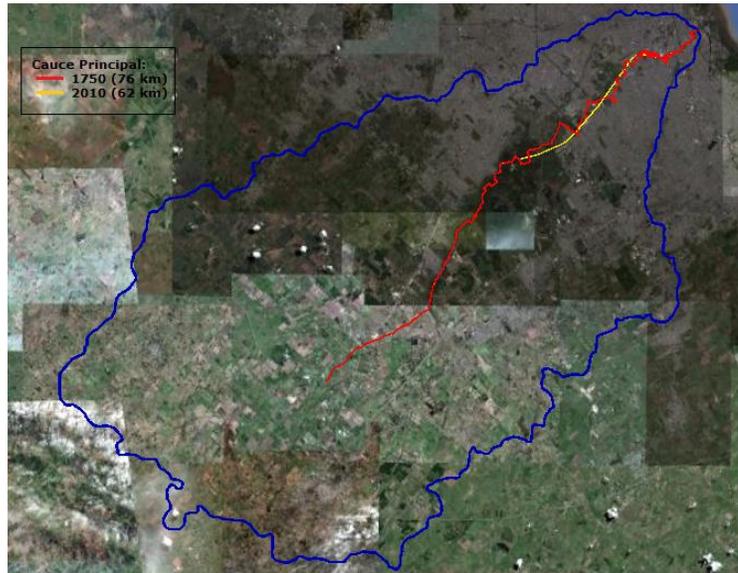


Figura 64 Longitud original (rojo) y actual (amarillo) del cauce principal del río Matanza-Riachuelo.

Los cursos de agua han sido en muchos casos el motivo principal para el emplazamiento de las ciudades en sus márgenes, fundamentalmente de aquellas creadas durante la colonización europea en Argentina.

Los métodos tradicionales de ordenación de áreas fluviales en zonas urbanizadas consiste en incrementar la capacidad de desagüe disminuyendo la rugosidad y la irregularidad del cauce, profundizando o aumentando su sección, canalizándolo o desviándolo, etc. han sido desarrollados con el doble objetivo de protección contra inundaciones y consolidación de los terrenos colindantes, descuidando los aspectos ambientales, así como los usos tradicionales del río. En algunos casos, este tipo de actuaciones ha conseguido, indirectamente, "ordenar" la apariencia de los ríos (Ureña *et al*, 1999).

Con el paso de los años la relación hidrografía-urbanismo se ha ido transformando de manera radical. Como consecuencia de la expansión urbana sin planificación y de la débil conciencia de sustentabilidad, el concepto de "ciudades que se desarrollan a la vera de los cursos de agua" se transformó hacia el de "cursos de agua que atraviesan las ciudades". Esta concepción errónea ligada a la urbanización se explica por diversas falencias que involucra a la especulación inmobiliaria, a fallas de formación de los profesionales urbanistas y a los permanentes problemas socio-económicos de la población. Ello explica la instalación de barrios en zonas naturalmente inundables, hecho típico de diversas localidades argentinas y que atañe a barrios de diferentes estratos socio-económicos, especialmente humildes (Bertoni *et al*, 2004).

La alteración del diseño del cauce natural en meandros por un diseño rectificado de un gran sector del río, enmarcado en uno de los grandes proyectos de ingeniería hidráulica

del país para el control de las inundaciones y el drenaje del suelo, fueron realizados con argumentos que hoy día están siendo replanteados, porque condujeron a una pérdida de las características ecológicas y los patrones estructurales y funcionales del sistema fluvial a través de su historia. El cambio de la geomorfología y dragado del río lleva a la destrucción de multitud de microhabitats así como a la destrucción de la vegetación riparia (de las riberas) (García de Jalón, 2007). Desde el punto de vista ecológico, la pérdida de la comunidad biológica natural y el aumento de la velocidad de flujo por acortamiento del cauce en la cuenca baja y parte del sector medio están íntimamente vinculados con el mínimo poder de autodepuración actual de sus aguas.

En esta sección se pretende demostrar la importancia del ordenamiento de los espacios fluviales urbanos desde una perspectiva conservacionista del ecosistema natural.

Metodología: Morfología del cauce de la CMR

Se encontró escasa información con respecto a las obras de rectificación del río Matanza-Riachuelo y una gran discordancia entre las distintas fuentes de información.

Las fuentes consultadas fueron: 16 mapas antiguos obtenidos de ACUMAR y Ministerio de Desarrollo Urbano de la CABA, Subsecretaría de Planeamiento (Tabla 16 y Tabla 17). Bibliografía (ACUMAR, 2006, Defensor del Pueblo de la Nación et al, 2003 y De Gandía, 1939). Consultas vía mail a distintos especialistas en el tema: Gustavo Andrade (jefe del Dpto GIS de la Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano, Ministerio de Infraestructura de la Pcia de BsAs), Carlos Mey (HistArMar), Elio Brailovsky (Ex Defensor del Pueblo de CABA), Arq. Juan Carlos Borra (HistArMar), Gerardo Paz (GeoDataMaps), Arq. Eduardo Arona (HistArMar), entre otros.

Los mapas utilizados para conocer la morfología de la red hidrográfica de la cuenca La Matanza-Riachuelo desde el año 1882 hasta la actualidad (2011), son mapas que cubren generalmente la Capital Federal y parcialmente la cuenca (ver: nombre y fuente de archivos: Tabla 16, imágenes en miniatura de los mapas históricos utilizados: Tabla 17).

Gran parte de la red hídrica de la cuenca media y la totalidad de la cuenca Alta no se han rectificado.

Tabla 16 Tabla de datos para extracción de la geofoma del cauce principal del Matanza-Riachuelo. (SSPU GCBA, 2011)

Por año	Zona	Archivo	Fuente
1700-1800	Capital Federal		Mapas muy esquemáticos y bibliografía ACUMAR
1878	CABA Ctro-S (Nva Pompeya, Parq Patricios)	1878 San Jose de Flores Plano catastral Boedo Parque Patricios_2.jpg	
1882	Zona costera y central de CABA	1882 Plano Ciudad de BA_2.jpg	SSPU (SSPU GCBA, 2011)
1885	Zona costera y central de CABA	1885 Guia kraft Plano de la guia Kraft_2.jpg	SSPU
1890	Cuenca baja y media	1890 Lamina N 058 Carlos de Chapearouge Plano general del area	SSPU

1892	CABA	metropolitana_2.jpg 1892 Mapa CABA Pablo Ludwig_inf_registrada_jpg.jpg	SSPU
1904	Riachuelo y costa CABA y líneas int	1904 Geografico estadistico Plano estadistico_2.jpg	SSPU
1916	Riachuelo y costa CABA	1916 Plano Cloacas paviment etc.jpg	SSPU
1928	Riachuelo y costa CABA	1928 Plano de urbanizacion y trazado de calles.jpg	
1931	Riachuelo y costa CABA	1931 Plano Mural.jpg	SSPU
1945	Riachuelo, Puerto de CABA y dársenas	1945 Plano mural oficial.jpg	SSPU
1953	Riach en La Salada, parte de La Matanza y Lomas de Zamora	6484 1853 La Salada (plano 6484).JPG	ACUMAR
1954	Riachuelo en El Diamante	6483 1954 Riach - El Diamante (plano 6483).JPG	ACUMAR
1959	Riachuelo y puerto CABA	1959 Plano mural oficial.jpg	SSPU
1968	Riachuelo y puerto CABA	1968 Plano mural oficial.jpg	SSPU
1995	La Boca-Barracas 1	1995 Riach - La Boca-Barracas (plano GE-004-1-4; GE-004-1 2-4; plano GE-004-3-4; GE-004-4- 4.tif	ACUMAR
2000 - 2011	Cuenca La Matanza Riachuelo		Google Earth historico y actual

A continuación se muestran las imágenes en miniatura de los mapas de la Tabla 16 (formatos .tif o .jpg).

Tabla 17 Imágenes en miniatura de los mapas históricos utilizados.

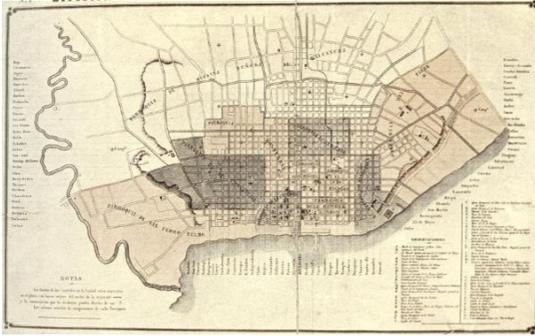
Siglo XIX

Siglo XX

Año imagen vectorial

Año imagen vectorial

1859

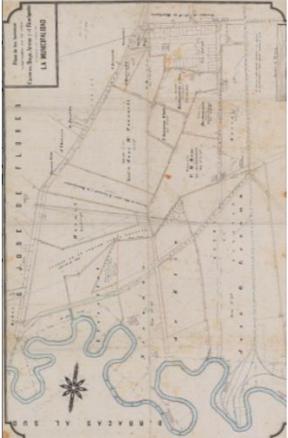
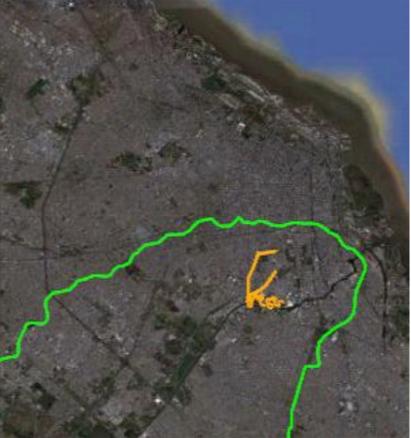


Centro Capital Federal.

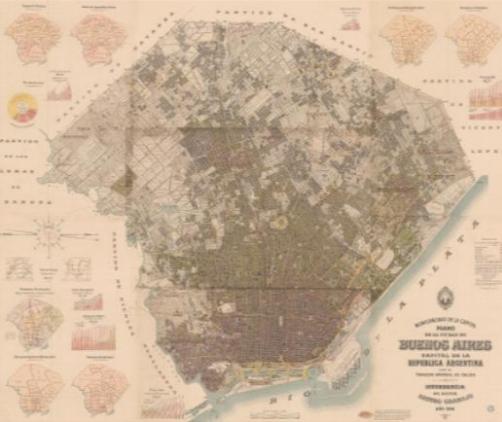
1904



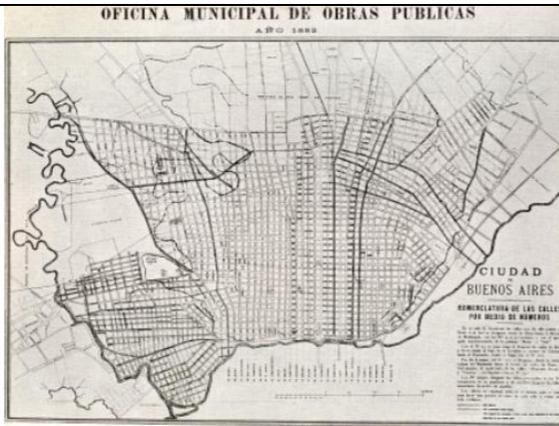

1878

1916



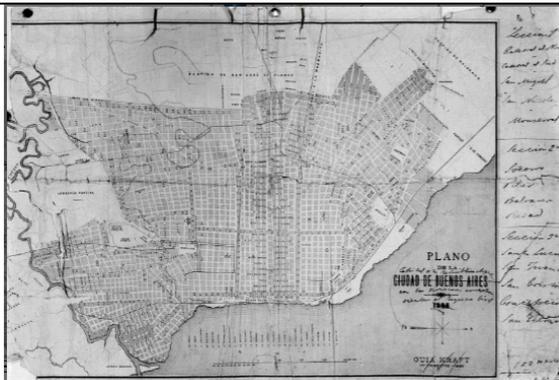

1882



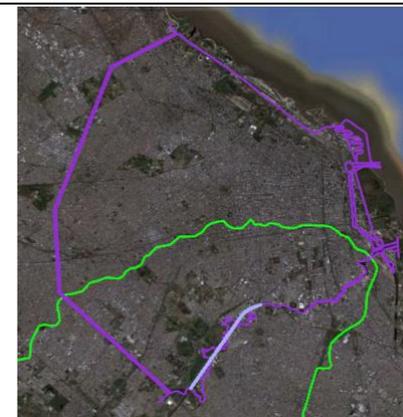
1928



1885



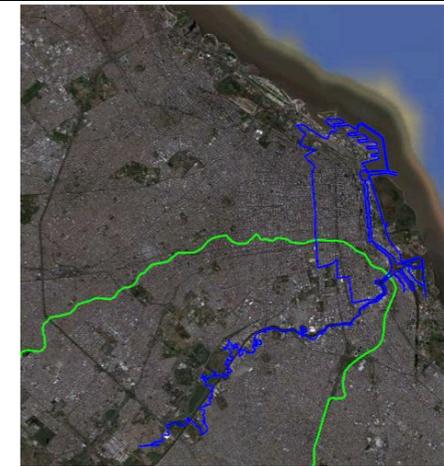
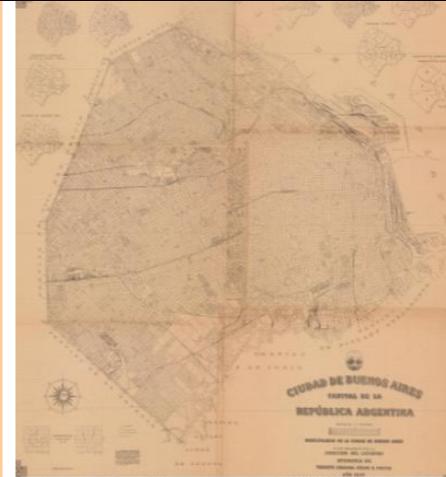
1931



1890



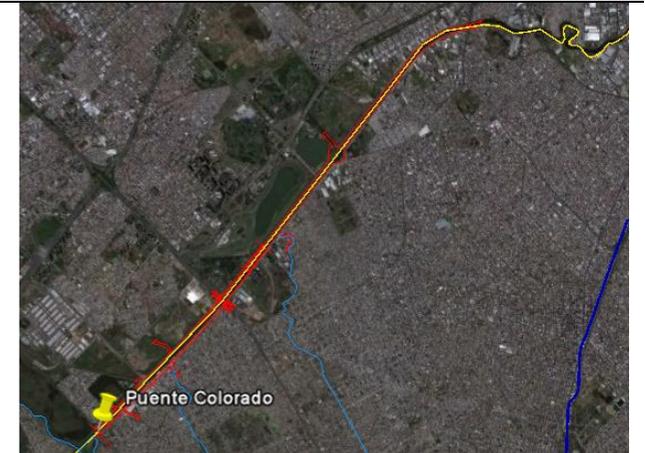
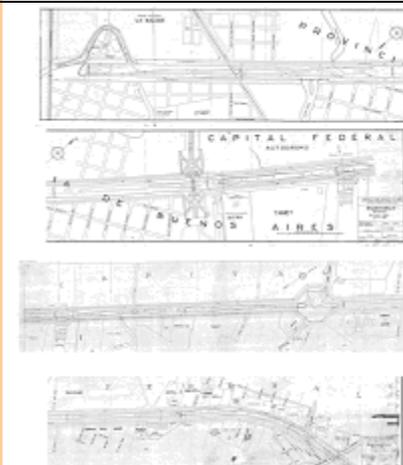
1945



1892



1953



Metodología de procesamiento del mapa para obtener el vector:

(A) Se trabajó con la superposición de los mapas (Tabla 16) en Google Earth (GE).

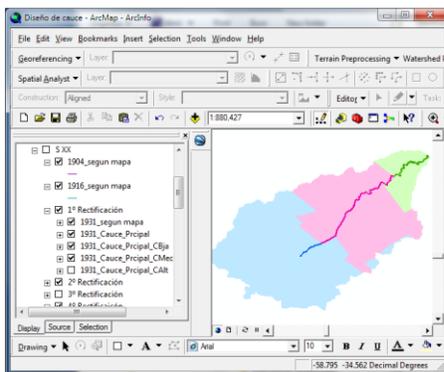
(B) Una vez superpuesta se ubica de forma de coincidir correctamente el mapa en GE.



(C) Se georregistra manualmente, transparentando la imagen de forma de poder visualizar los límites en GE y buscando la coincidencia entre ambos.

Una vez georregistrado el mapa, se dibuja digitalmente la red hídrica de la cuenca sobre el mapa (línea amarilla).

(D) Una vez dibujada se genera un archivo *.kml y finalmente se lo convierte en .shp con ArcMap.



(E) Finalmente, se llevan todos los archivos vectoriales de la morfología del Riachuelo al software GIS ArcMap.

(F) Una vez dibujados el cauce principal y tributarios de los años en que ha sido modificada la red hídrica de la cuenca, su longitud se obtuvo calculándola en ArcMap con la herramienta 'Hawth's Tools' → Table tools → Add Length field to table (arcs).

Debido a que los mapas utilizados desde 1859 hasta 1975 incluyen la cuenca en forma parcial, los sectores sin mapear se calcularon considerando que la morfología del cauce no había cambiado.

Resultados Diseño del Cauce

Antes del 1500

Escenarios prístino del río Matanza Riachuelo (1500): Al ser un río de llanura, el río presentaba un *drenaje típicamente meándrico* porque en su planicie de inundación se generaban curvas pronunciadas conocidas como meandros, y eso contribuyó a que en las partes bajas se formaran zonas pantanosas cubiertas

de juncas y gramíneas y lagunas someras que albergaban una gran biodiversidad perdida totalmente en las zonas más impactadas (ACUMAR, 2006; Barbero, 1973).

Las zonas de tierras más bajas que corresponde al valle de inundación del río, típicamente se inunda en forma intermitente, constituyendo el hábitat para una gran variedad de seres vivos específicos de ese ambiente. Las plantas que allí crecen, denominadas hidrófitas, actúan como filtradoras naturales del agua, gracias a la capacidad de sus tejidos de almacenarla y liberarla. Más adelante en la historia, estos sectores de regulación natural de aguas fueron drenados con el fin de aprovechar el terreno para la agricultura y para la instalación de asentamientos. Sin embargo, hoy se los valora por las funciones que cumplen. En efecto, regulan los excesos y deficiencias hídricas, favorecen la mitigación de crecidas, en este caso por mareas y sudestadas, y por exceso de agua en el Riachuelo y se recargan y descargan del agua subterránea.

Fase 1500-1600

Fundación de Buenos Aires: Tanto Mendoza (1530) como Garay (1580) fundan la Ciudad de Buenos Aires eligiendo este punto por tratarse del único en toda la costa del Río de la Plata que combina un puerto natural, con una barranca elevada libre de inundaciones (Figura 3). Por ello es que el Riachuelo es el principal motivo por el que Buenos Aires esté donde está. Pero la fundación de la ciudad representa una consecuencia negativa para la cuenca, porque con la federalización de Buenos Aires se consolida una división jurídica que fracciona la unidad de la cuenca.

Fase 1600-1700

La población de menores recursos económicos se comienzan a asentar en el valle aluvial del río, y que al ser bajo y anegadizo, era difícilmente habitable por sus eventuales inundaciones ocasionando grandes perjuicios a la población de la cuenca baja, llegando en casos a convertirse en verdaderos desastres (Barbero, 1973).

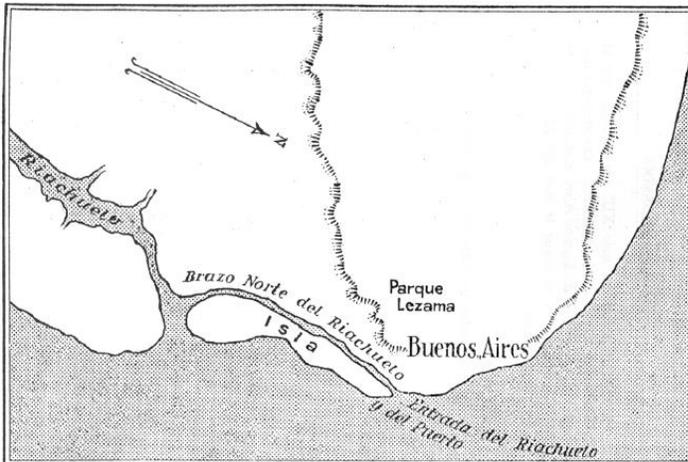
La desembocadura del río corría por ese entonces por una especie de canal que se encontraba donde actualmente se encuentran los Diques de la Dársena Sud, es decir en forma paralela a la costa (ver Figura 65). Los buques de gran calado no podían llegar hasta el Riachuelo por ese canal y anclaban aguas afuera, mientras que las embarcaciones menores, podían sí llegar hasta la barra del Riachuelo siguiendo el canal paralelo a la costa. Pero a veces el río era tan bajo que se necesitaba esperar la creciente (Figura 65).

Sin embargo, con el paso del tiempo se fue produciendo durante el Siglo XVIII la acumulación de limo y otros materiales, taponando la barra del Riachuelo, dificultando aún más la navegación.

Figura 65



Mapa 1786: En el mapa (De Gandía, 1939), se observa el recorrido del Riachuelo original que no salía al Río de la Plata directamente como en la actualidad, sino que hacía una curva hacia el Norte.



1790: la suma de una fuerte correntada y a la sedimentación de su curso Norte, abrieron una nueva boca en la faja de tierra que las separaba del Río de la Plata permitiendo el paso rápido y fácil de la corriente en sentido O-E. Se llamó a la nueva boca Este del Riachuelo, la boca del 'Traginista'.



Imagen 2011: más de dos siglos después, se observa la salida directa del Riachuelo (ex Traginista), el brazo hacia la derecha ahora parte de Dársena Sud (ex Brazo Norte del Riachuelo), el corte del Dock Sud y los rellenos que dejaron la línea de costa original muy dentro de la tierra (Imagen GeoEye).

Históricamente, el curso inferior albergó el primer puerto de la Ciudad de BsAs, el 'Riachuelo de los Navios', mientras que la terraza alta de la planicie sirvió para emplazar el Fuerte y las viviendas de los primeros pobladores.

Progresivamente, el Riachuelo agregó a su función de puerto, la de lugar de trabajo, allí se asentaron los primeros talleres de reparaciones navales, y como llegaban y partían de allí todas las mercaderías en los barcos, también fue donde se asentaron las primeras industrias nativas, que fueron las primeras fuentes de contaminación del curso de agua (ACUMAR, 2006).

Con la autorización para ejercer el libre comercio, en 1778, y sobre todo en la Revolución de Mayo, en 1810, se fortaleció el intercambio era desde el Puerto del Riachuelo que se exportaron al extranjero. Se trataba de cueros, carnes, lanas y cereales, que confluían hacia las márgenes del Riachuelo, donde se almacenaban en depósitos y donde se iniciaron las actividades de los saladeros de carnes, el curado de los cueros, los lavaderos de lanas y los mataderos (ACUMAR, 2006). Todo esto condujo a la contaminación que fue sufriendo desde esos tiempos el río.

Fase 1700-1800

Unos años antes de 1800, el Rey de España envió a Argentina al ingeniero Giannini para resolver varios problemas hídricos. La Boca estaba sometida a los anegamientos de grandes superficies y por sudestadas. Sin embargo, los cambios que propuso él no se desarrollaron y fue Huergo, el primer ingeniero argentino, quién por 1875, proyectó el puerto de Buenos Aires, tomando las mismas ideas que Giannini.

Fase 1800-1900

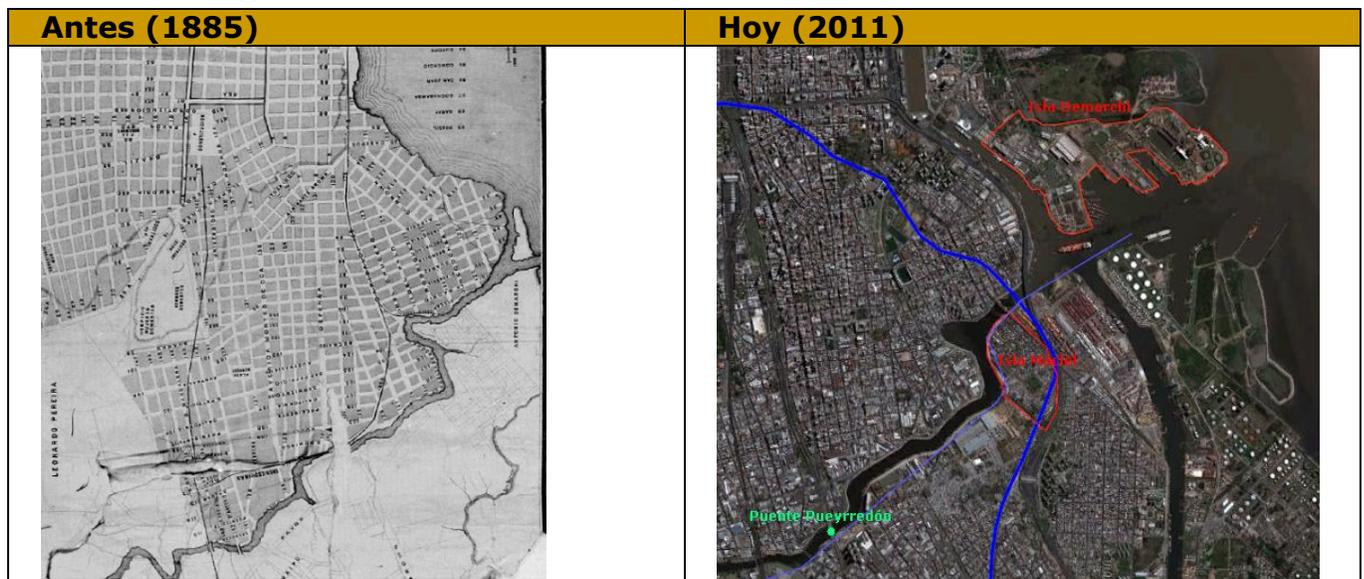
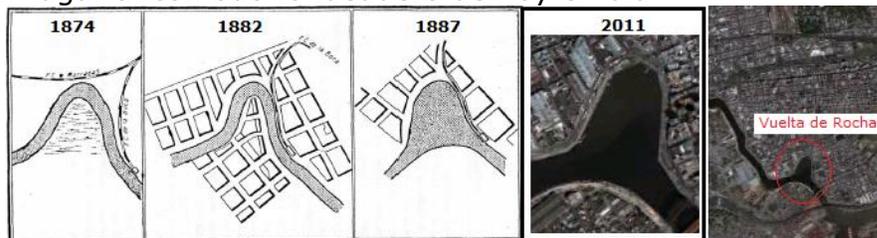


Figura 66 Boca del Riachuelo en el año 1885 (según Plano de la guía Kraft de 1885) y en la actualidad (imagen GeoEye, 2011). Se denota el canal entre las islas Demarchi y Masiel

Las ideas de Giannini eran desplazar el Riachuelo que, según los criterios de esa época, era excesivamente sinuoso y estaba muy cerca de la ribera del Río de La Plata. Además, la ciudad de Buenos Aires necesitaba un puerto para las naves que se anclaban en el Río de La Plata frente a la ciudad y para descargar la mercadería (ACUMAR, 2006; Ameghino, 1985 y Barbero, 1973).

Sin embargo, desde el actual Puente Pueyrredón, el río remontaba sobre un fondo en pendiente, que daba lugar a una leve corriente. Entonces Huergo ideó el puerto con criterios hídricos y siguiendo las ideas de Giannini de abrir un canal entre la Isla Demarchi y la Maciel y su objetivo se cumplió en 1878.

Entre 1881 y 1887, después de largos debates y proyectos, Eduardo Madero comenzó la construcción del gran Puerto de Buenos Aires. El meandro de la Vuelta de Rocha fue cortado para dar lugar al cómodo fondeadero de hoy en día.



Donde antes había corrido el cauce Norte del Riachuelo se excavaron los diques, y la boca del Traginista fue rectificada para darle su posición actual (Figura 65) (De Gandía, 1939).

Para pensar en los problemas de inundación de la ciudad, por un lado debe mencionarse que la zona presenta un clima húmedo (1000 mm anuales de precipitación), pero además, debe tenerse en cuenta el régimen marítimo del Río de La Plata (RLP), que está afectado por dos tipos de mareas: la *marea lunar* y la *meteorológica*. En el RLP se producen todos los días dos pleamar (elevaciones de las aguas) por efecto de la **marea lunar**, y dos bajamar. Pero además, las **mareas meteorológicas** se refieren a que en días de intensa precipitación en el RLP, las tormentas producen olas que aumentan el nivel del mar provocando inundaciones al ingresar desde el RLP hacia adentro por el Riachuelo (Pellizzetti, 2006). Cuando ambos fenómenos son simultáneos y además llueve sobre la cuenca baja se producen eventos que llevan muchas veces a la emergencia nacional. Las sudestadas afectan más intensamente los sectores altamente urbanizados próximos a la desembocadura del Riachuelo, pero sus efectos pueden extenderse hasta aproximadamente las cercanías de Ezeiza en la cuenca media (ACUMAR, 2006).



Figura 67 Mapa antiguo mostrando el valle aluvial del Riachuelo.

Así la solución que propuso Huergo fue de profundizar el canal desde el RLP hacia el interior del Riachuelo para aumentar las aguas y poder pensarse como puerto.

Desde el puente Gálvez (ahora Pueyrredón), donde terminaba el puerto, el Riachuelo se remontaba, pero no favorecía la navegación de pequeñas embarcaciones por cierta sinuosidad y meandros. Fue Huergo quién rectificó el río, cortando los meandros y ampliando su curvatura. En algunas partes lo ensanchó.

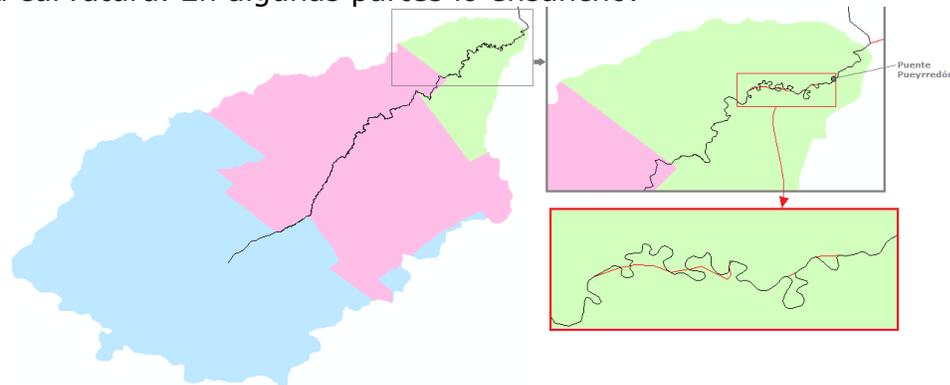


Figura 68 Primera rectificación (aproximadamente 1880)

Fase 1900-2000

Sin embargo, el problema principal de las inundaciones fue los asentamientos en el valle aluvial del río. Para el sistema hídrico esas **inundaciones** son eventos naturales y que fueron clave para la formación del sistema hídrico como tal a través de largos años de evolución (ACUMAR, 2006 y Pellizzetti, 2006).

Además, los problemas de la red de alcantarillado junto con la expansión espacial de la ciudad de Buenos Aires se hacen sentir. Por un lado la ciudad recibió una gran cantidad de inmigrantes y por otro, sufre los retardos de la construcción de las obras de drenaje, que había sido concebido para 400.000 habitantes y que es concluido recién en **1905**, cuando en ese entonces la ciudad ya contaba con 1.000.000 de habitantes. Los problemas asociados al crecimiento de la ciudad continuarían incrementándose con el tiempo (Bertoni *et al*, 2004).

Las crecidas de los años 1884, 1900 y 1911 fueron excepcionales en cuanto a sus consecuencias en las localidades ribereñas y por esto, el Congreso Nacional sanciona en **1913** una ley que dispone la canalización y rectificación del Riachuelo desde el Puente Pueyrredón hasta el Puente de la Noria (Figura 69) y las demás obras que fuesen necesarias para facilitar el desagüe inmediato de las poblaciones expuestas a inundaciones y fue inaugurada en **1922**.



Figura 69 Puentes del Riachuelo

Hubo otras inundaciones excepcionales en 1914, 1936, 1940, 1947, 1957 y finalmente se ensanchó y rectificó el curso del río entre el Puente Alsina y el Puente Colorado (Tabla 18), inaugurada finalmente en **1945**.

En el tramo entre el Puente Pueyrredón y el Puente Alsina había puentes ferroviarios que impidieron una rectificación completa.

Siguieron inundaciones excepcionales en 1958, 1959, 1963 y 1967.



Figura 70 Excavación del Riachuelo en 1927

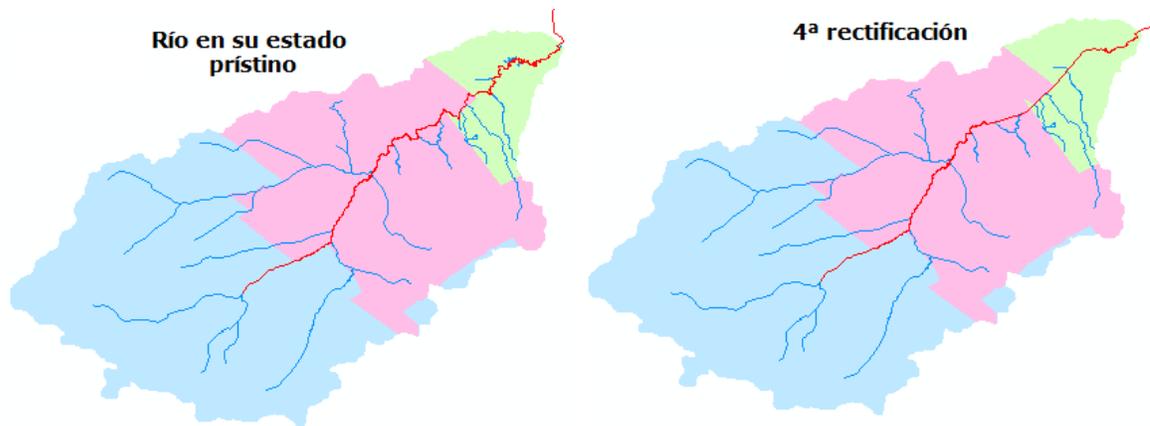
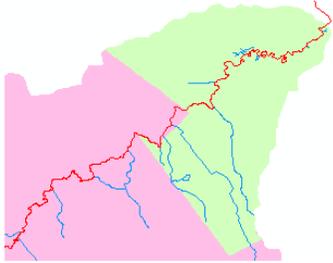
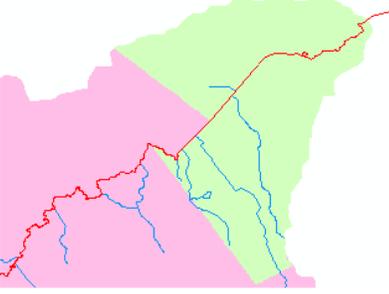


Figura 71 Esquema de la cuenca mostrando la morfología del cauce principal (en rojo) y sus afluentes (en azul) en su estado original (izquierda) y en su estado actual (derecha).

Tabla 18 Longitud original y rectificado del río MR

Rectificación	Cauce principal y tributarios	Longitud			
		Sector	Cauce principal (km)	Tributarios (km)	TOTAL CMR (km)
Diseño original del Cauce (antes de 1880)		Bajo	25.1	45.5	70.5
		Medio	43.1	104.6	147.7
		Alto	8.3	114.6	122.9
		TOTAL	76.5	264.7	341.2
		L			

1ª rectificación del río (1880)		Bajo	20.6	45.5	66.1
		Medio	43.1	104.6	147.7
		Alto	8.3	114.6	122.9
		TOTAL	72	264.7	336
		Desde el Puente Pueyrredón hasta el Puente Alsina			
2ª rectificación (1922)		Sector	Cauce principal	Tributo	TOTAL CMR
		Bajo	16.1	37.4	53.5
		Medio	43.4	104.6	148
		Alto	8.3	114.6	122.9
		TOTAL	68	256.6	324.4
Hasta el Puente La Noria					
3ª rectificación (1945)		Sector	Cauce principal	Tributo	TOTAL CMR
		Bajo	16.1	37.4	53.4
		Medio	41.9	104.1	146
		Alto	8.3	114.6	122.9
		TOTAL	66	256.1	322.4
Hasta el Puente Colorado					
4ª rectificación (1958)		Sector	Cauce principal	Tributo	TOTAL CMR
		Bajo	16.2	37.4	53.4
		Medio	37.7	104	146
		Alto	8.3	114.6	122.9
		TOTAL	62	256	322.4
Hasta La Ferrere					

De la Tabla 18 surge que las rectificaciones fueron mayores en la cuenca baja, nulas en el sector alto, e intermedias en el medio.

La 1ª rectificación en el año 1880 (Mey, 2011) acortó al cauce del Riachuelo en 4,5 km, mientras que el sector de río Matanza no sufrió modificaciones (Tabla 18).

En la 2ª rectificación, en el año 1922 (Tabla 18) el Riachuelo se acorta otros 4,5 km, es decir unos 9 km menos que en su estado natural, y tampoco se modifica el sector del río Matanza. En el año 1945 (Mey, 2011) se realiza la 3ª rectificación, acortando 1,5 km el cauce principal del Matanza pero sin modificar el Riachuelo (Tabla 18). Finalmente, en el

año 1945 (según plano Plano mural oficial de SSPU GCBA, 2011) se realiza la 4ª rectificación, acortando 4,2 km el cauce principal del sector medio de la cuenca (Matanza).

Cabe mencionar que según los resultados obtenidos, **la longitud original del cauce principal era de 76,5 km, y actualmente 62 km**. La **cuenca media** presentó siempre el trayecto mas largo, de 43,1 km en su estado natural y de 37,7 km en su estado actual. Es en el sector alto donde el cauce principal tiene el trayecto mas corto, de unos 8,3 km y que no mostró modificaciones hasta la actualidad. Sin embargo, la red hídrica total es muy superior en este sector alto, con 114,6 km de tributarios, que tampoco son modificados. En el sector medio, la red de tributarios es alta y no sufre modificaciones significativas. Mientras que en el sector bajo, algunos tributarios son rectificadas y además entubados, es decir que pasan de estar en superficie para estar subterráneos.

Indicador de Modificación del Diseño del Cauce (IMDC)

El indicador de la Modificación del Diseño del Cauce (*IMDC*), se construyó de forma que refleje la lejanía de la longitud del cauce principal con respecto a la longitud en el estado natural (long máxima). A continuación se expone la ecuación del Indicador IMDC:

$$IMDC = 1 - \frac{long_río_x}{long_MAX}$$

donde:

long_río_x: longitud del río en el año x

long_máx: longitud del río en su estado prístino

Cuando **IMDC=0** → significa que no hubo cambio en el diseño del cauce.

Cuando **IMDC=1** → significa la máxima transformación del diseño del cauce.

La magnitud del indicador refleja la magnitud del cambio.

En base a las longitudes obtenidas de la red hidrográfica (Tabla 18) se obtuvo el indicador IMDC del río Matanza-Riachuelo y sus tributarios de la cuenca total y en sus tres sectores separadamente en los momentos en los que se realizaron obras de canalización de sus cursos, desde 1750 hasta la actualidad.

Se calculó para la *Red Hídrica Total* (cauce principal + tributarios) y también para el *Cauce Principal* únicamente, ya que la rectificación de los tributarios fue muy escasa y por lo tanto el valor del indicador no se veía afectado significativamente por los tributarios.



Tabla 19 Indicador del Diseño de Cauce

Estado del diseño del cauce	Red Hídrica Total (cauce principal + tributarios)				Cauce Principal			
	CUENCA TOTAL	Cuenca Baja	Cuenca Media	Cuenca Alta	CUENCA TOTAL	Cuenca Baja	Cuenca Media	Cuenca Alta
Estado Pristino	0	0	0	0	0	0		0
1ª rectific (1880)	0.01	0.06	0	0	0.06	0.18	0	0
2ª (1922)	0.05	0.24	0	0	0.11	0.36	0.03	0
3ª (1945)	0.06	0.24	0.01	0	0.13	0.36	0.03	0
4ª (1958)	0.07	0.24	0.04	0	0.19	0.35	0.13	0

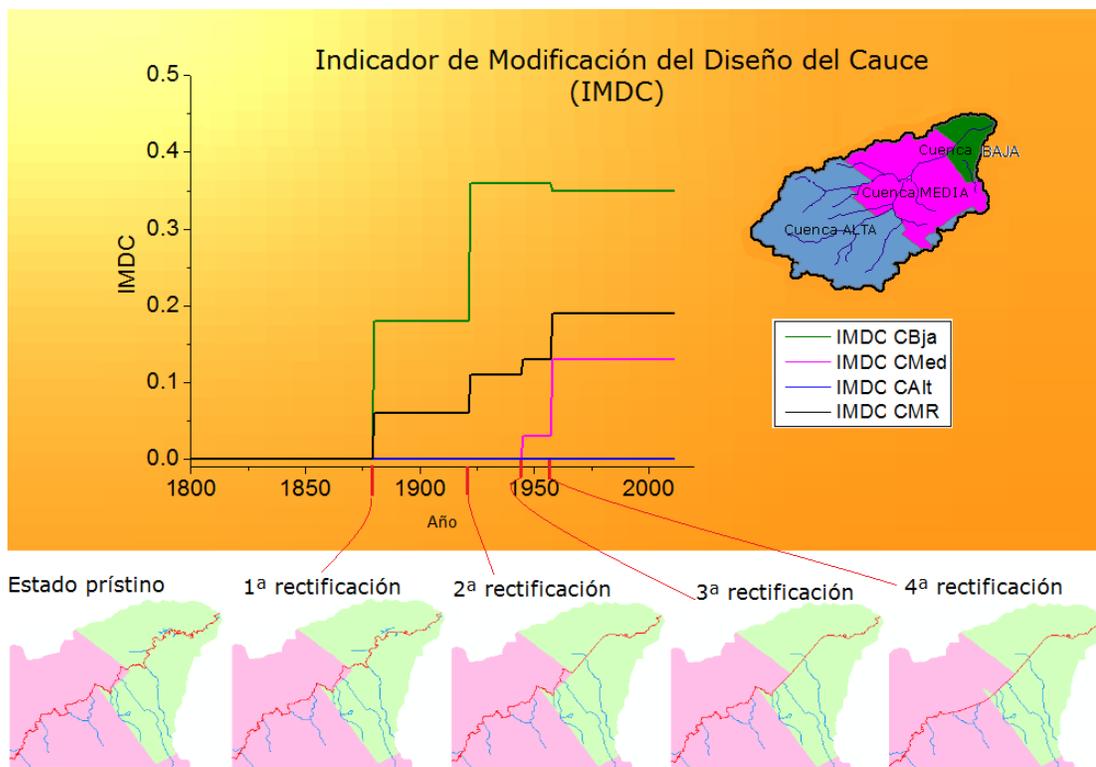


Figura 72 Gráfico IMDC del cauce principal para los tres sectores de la CMR y la cuenca íntegra.

Como puede observarse en la Tabla 19 y en la Figura 72 el indicador IMDC ha aumentado claramente con las rectificaciones del río, encontrándose los valores mas altos para el caso de la **cuenca baja**, más aún teniendo en cuenta sólo el cauce principal, ya que es éste el que ha sufrido mayores modificaciones.

En el caso de la cuarta rectificación, el IMDC ha disminuido en la cuenca baja con respecto a la tercera rectificación, debido a que al rectificar nuevamente el río parte del trayecto que hacía en la cuenca media pasa a la cuenca baja, y por lo tanto el trayecto en esta última parte aumenta levemente con respecto a la longitud del trayecto anterior (la figura a la derecha muestra la 3ª y 4ª rectificación respectivamente). El sector rosa representa la cuenca media y la verde la cuenca baja. Se puede observar que el trayecto del cauce principal (en rojo) en la cuenca baja es mayor en la 4ª rectificación que en la 3ª.



Como también ocurre con el resto de los indicadores evaluados, es en el sector más urbanizado donde el indicador presenta los mayores valores y aumenta a una velocidad mayor a la del resto de la cuenca.

Teniendo en cuenta la longitud original del cauce de la cuenca baja se puede decir que en la actualidad (2011) éste fue acortado en un 35,5% de su longitud original.

El **sector alto** de la CMR no ha sufrido modificaciones hasta la actualidad, mientras que el **sector medio** lo hace a partir de la 2ª rectificación y en la actualidad su longitud ha disminuido un 12,5%.

Finalmente, la longitud del cauce principal de toda la CMR es hoy en día (2011) el 81,3% de su longitud original (original: 76,5 km, original: 62,2%).

Conclusiones parciales: Modificación del diseño del cauce

Con el uso de mapas antiguos digitalizados e imágenes satelitales de la cuenca MR y bibliografía complementaria se pudo digitalizar la geomorfología del cauce principal en las distintas etapas de su rectificación así como también calcular las distintas longitudes con herramientas del software ArcMap, y así poder realizar el análisis del consecuente impacto sobre el sistema fluvial natural.

Las **obras de ingeniería** realizadas en distintas etapas (1880, 1922, 1945 y 1958) en el río Matanza-Riachuelo se han hecho bajo una concepción hidráulica con el objetivo de aumentar la capacidad de drenaje para disminuir los problemas derivados de las inundaciones así como también facilitar la navegación. El resultado de dichas obras ha sido la transformación del diseño natural sinuoso con meandros, a un diseño rectificado, con un acortamiento de un 18,7% con respecto a su longitud original.

Sin embargo, desde un punto de **vista ecológico** el resultado de estas obras fue la **pérdida características naturales** del río, generando **cambios en el flujo natural del agua y en la acumulación de sedimentos** sobre el lecho del río alterando también sus márgenes (ACUMAR, 2011; Defensor del Pueblo de la Nación et al, 2003).

Dentro de los cambios más significativos relacionados a las obras de rectificación son la **pérdida de funcionalidad hidráulica**, de la vegetación riparia, de la calidad de las aguas por pérdida de comunidades biológicas (muchas de las cuales son autodepuradoras del agua) y aumento de la velocidad de flujo, entre otros. Si bien para el hombre las inundaciones representan perjuicios, para el río como ecosistema las inundaciones son un elemento clave en su conformación y mantenimiento de sus funciones.

Esto estaría indicando que con la rectificación, **se pierde gran parte de la capacidad autodepuradora**, y dado que la rectificación fue mayor en la cuenca baja, y es justamente en este sector donde se produce la mayor contaminación hídrica, la rectificación ha devenido en otro problema.

El río en su estado prístino presentaba cuerpos de agua asociados, cercanos al cauce principal que se unían en momentos de inundaciones. La rectificación condujo a una merma en las inundaciones del valle aluvial y consecuente pérdida de estas conexiones.

Sin embargo, **en un momento el gobierno propuso la creación de una cadena de lagunas artificiales reguladoras** en el tramo medio de la cuenca y el aumento del caudal en el tramo inferior para facilitar el escurrimiento y autodepuración y dilución de contaminantes, lo que estaría representando una transformación a lo natural de lo modificado por el hombre, demostrando la importancia de mantener el ecosistema en su estado natural.

De lo expuesto se desprende la **importancia de la gestión de la cuenca** a la hora de evaluar los problemas que puedan representar para la población el drenaje natural u otros vinculados a la geomorfología de la cuenca, en hacerse **desde un punto de vista sistémico e integrado**. Más aún en los sectores que aún no han sido tan modificados (zona rural) y que actualmente se encuentran en fase de expansión demográfica, y así no repetir los errores cometidos en el sector urbano donde la longitud del cauce principal fue reducida más del 35%.

CAPÍTULO III. Serie temporal del índice IIA de la cuenca La Matanza-Riachuelo

Análisis Temporal del Índice IIA

El IIA (Índice de Incidencia Antrópica) muestra el impacto antrópico resultante de variables que reflejan el cambio del drenaje a gran escala en la cuenca La Matanza-Riachuelo.

Las variables de entrada para el índice están involucradas en el drenaje de la cuenca, como la disminución de la cobertura vegetal y su reemplazo por cultivos y parques con otras especies vegetales alóctonas y que no están adaptadas a absorber y almacenar grandes volúmenes de agua como lo hacen las especies autóctonas (**Indicador de Vegetación, IV**), o el reemplazo por una cobertura impermeable que es la zona urbana construida (**Indicador Demográfico, ID**), y por último el **Indicador de Modificación de Diseño del Cauce (IMDC)**, que mide básicamente el acortamiento del cauce principal por rectificación.

En base a los indicadores obtenidos en las secciones anteriores, se expone a continuación la ecuación del IIA y la tabla (Tabla 20) con los resultados finales del índice de la cuenca a través del tiempo.

$$IIA = ID * (1 - IV) * IMDC$$

		Estado Natural	Estado de máximo impacto antrópico
Indicadores	IIA Índice de Incidencia Antrópica	IIA=0	IIA=1
	ID Demográfico	ID=0 → sin habitantes y/o sin cobertura urbana, condición aproximada al ambiente natural	ID=1 → tamaño poblacional y cobertura urbana máximos
	IV de Vegetación	IV=1 → máxima cobertura vegetal natural	IV=0 → sin cobertura vegetal
	IMDC de Modificación de Diseño del Cauce	IMDC=0 → diseño del cauce en meandros	IMDC=1 → máxima modificación del diseño del cauce

Tabla 20 Índice de Incidencia Antrópica (IIA) para los tres sectores de la cuenca y la cuenca total (CMR).

Año	1500	1881	1900	1922	1945	1958	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Cca BAJA	0.02	0.24	0.29	0.57	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.65	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66
Cca MEDIA	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.16	0.21	0.21	0.21	0.20	0.24	0.22	0.22	0.23	0.24
Cca ALTA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.08	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
CMR	0.03	0.06	0.11	0.10	0.12	0.19	0.24	0.24	0.24	0.24	0.26	0.25	0.25	0.26	0.26
Año	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Cca BAJA	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64	0.65	0.64	0.65
Cca MEDIA	0.25	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25
Cca ALTA	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.13	0.12	0.14	0.14	0.14
CMR	0.26	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.26	0.26	0.26
Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011			
Cca BAJA	0.66	0.66	0.67	0.67	0.66	0.65	0.67	0.67	0.67	0.67	0.68	0.67			
Cca MEDIA	0.26	0.25	0.27	0.26	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.28			
Cca ALTA	0.14	0.14	0.14	0.15	0.13	0.15	0.14	0.15	0.14	0.16	0.14	0.15			
CMR	0.27	0.26	0.27	0.27	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28			

A continuación se expone el gráfico del índice de incidencia antrópica para la cuenca La Matanza-Riachuelo y para sus tres sectores.

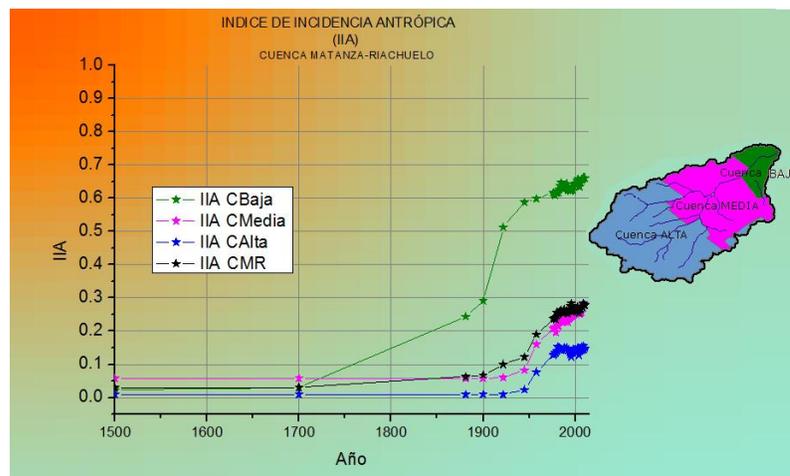


Figura 73 Gráfico del Índice de Incidencia Antrópica (IIA) para la Cuenca La Matanza-Riachuelo.

Estado prístino (IIA=0)

Se considera estado prístino del ecosistema al estado equilibrado e integrado, con una composición de especies y organización funcional comparable a la de los ecosistemas naturales. En este estado original y sin incidencia negativa por parte del hombre, la cuenca La Matanza-Riachuelo presentaba el mínimo valor del índice de Incidencia Antrópica (IIA = 0), sin presión urbana (ID = 0), con un cauce que presentaba su diseño original en meandros (IMDC = 0) y con la máxima cobertura vegetal (IV = 1). Si bien estos valores se infieren sin datos observados, y pueden aparentar una mayor artificialidad, sirven para contrastar con los valores del IIA a través de las transformaciones históricas que ha sufrido la cuenca.

Cómo puede verse en la Figura 73 en el estado prístino (año 1500), el índice presenta un valor de 0 o cercano a 0. El sector de la cuenca media por ejemplo, presenta un valor algo mayor a 0 porque el componente de la vegetación (IV) es levemente menor a 1 en ese momento (Figura 74 gráfico IV) porque el área de cobertura vegetal no era la máxima sino levemente menor, sin embargo, es un estado natural sin incidencia antrópica.

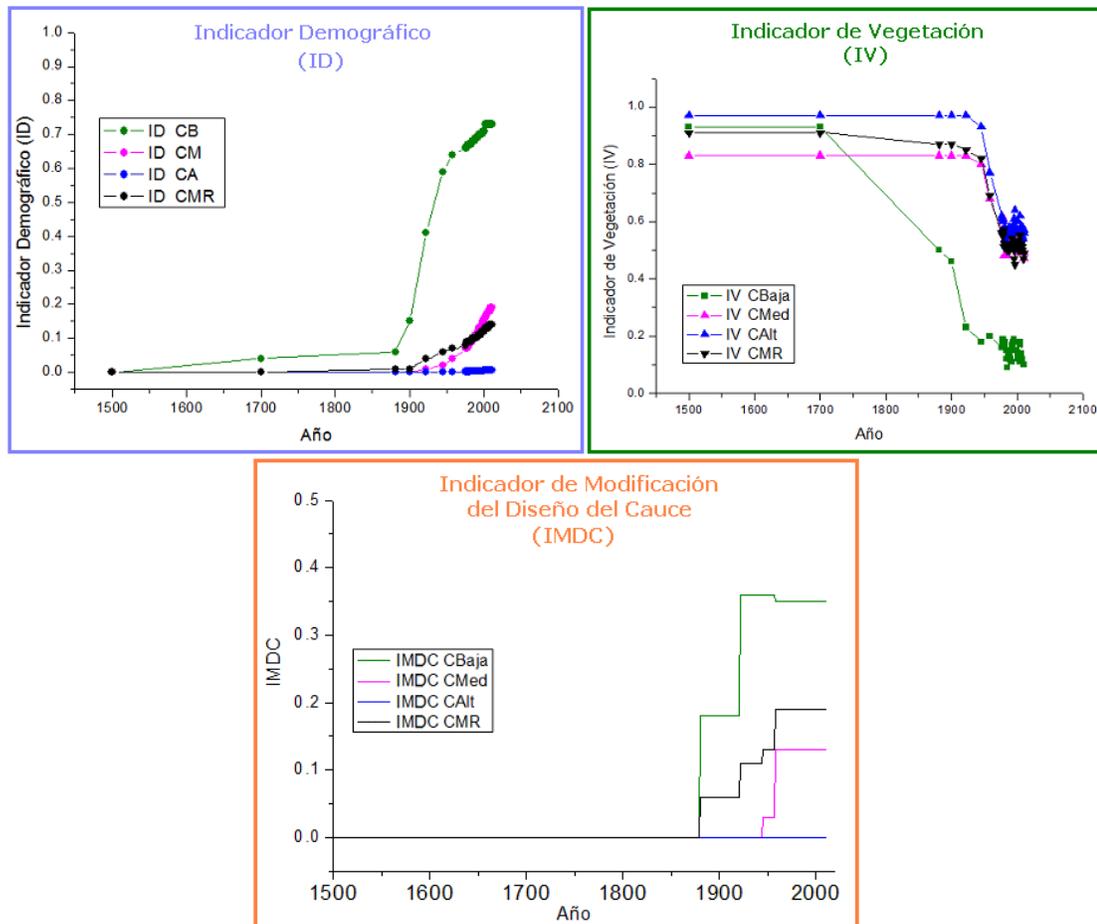


Figura 74 Indicadores entre 1500-2011.

Inicio de la transformación antrópica de la cuenca (IIA > 0)

En base al análisis visual del gráfico del IIA (Figura 75) en el sector de la **cuenca baja** se estimaron los primeros indicios de incidencia antrópica aproximadamente entre 1700 y 1880 (sin determinarse exactamente por falta de datos de los indicadores), mientras que

en la **cuenca media** y **alta** el comienzo de incidencia antrópica aparece unos 245 años después, entre 1922 y 1945 (Figura 75).

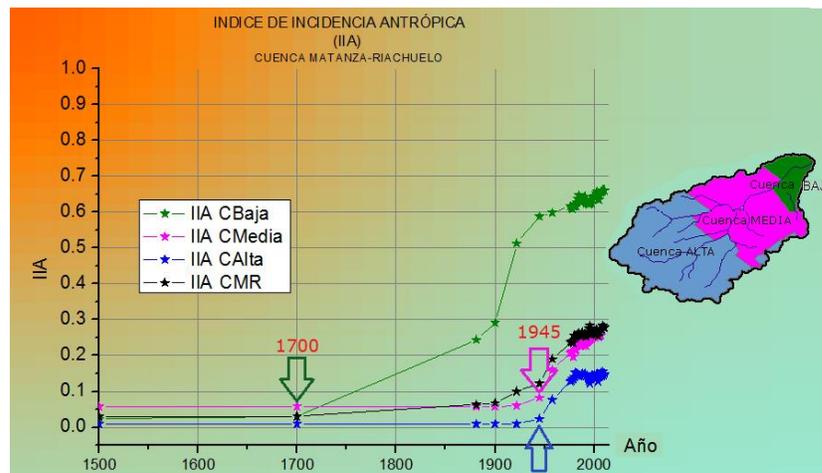


Figura 75 IIA

El aumento del IIA en la **cuenca baja** se debe a que ya en 1700 se estimó un indicador ID en aumento, y ya en 1880 se estimó una abrupta disminución del IV (Figura 76, gráficos verde o 1ª fila de gráficos). Para ese momento se estimó una cobertura urbana de casi un 50% del total de ese sector que es el más urbanizado, por lo que la vegetación fue reemplazada en gran medida por área construida. El ID es mayor a 0 pero no se ve tan afectado porque si bien la mancha urbana era grande, el tamaño poblacional era relativamente pequeño.

De los sectores más rurales de la cuenca, el índice IIA del **sector medio** mostró valores intermedios entre los respectivos del sector bajo y el sector alto, y su aumento se debe al aumento de los indicadores ID y IMDC y disminución del IV que, como se ve en la Figura 75, comienza paulatinamente en 1945, pero se acelera aproximadamente en 1960 debido tanto a la componente demográfica como a la de vegetación y de modificación del diseño del cauce (Figura 76, gráficos fucsia o 2ª fila), sin embargo, todos los valores de los indicadores son menores a los registrados en la cuenca baja (Figura 76). En la **cuenca alta**, fue donde se registraron los menores valores del IIA en el periodo analizado (Figura 75), y su aumento, que inicia también en 1945, se debe únicamente a la disminución del IV, mientras que los restantes indicadores no muestran cambios significativos (ID e IMDC) (Figura 76, gráficos turquesa o 3ª fila de gráficos).

Finalmente, el aumento del IIA de la **cuenca total** comienza al mismo momento que el sector que primero sufre impacto, es decir en 1880 como la cuenca baja (IIA_CM R en la Figura 75). Sin embargo el aumento es mucho menos marcado porque la cuenca baja representa solo el 8,5% del área total de la cuenca. De la misma forma, los altos valores de los tres indicadores de la cuenca baja se diluyen considerablemente cuando se analiza la cuenca enteramente (Figura 76, gráficos celestes o 3ª fila de gráficos).

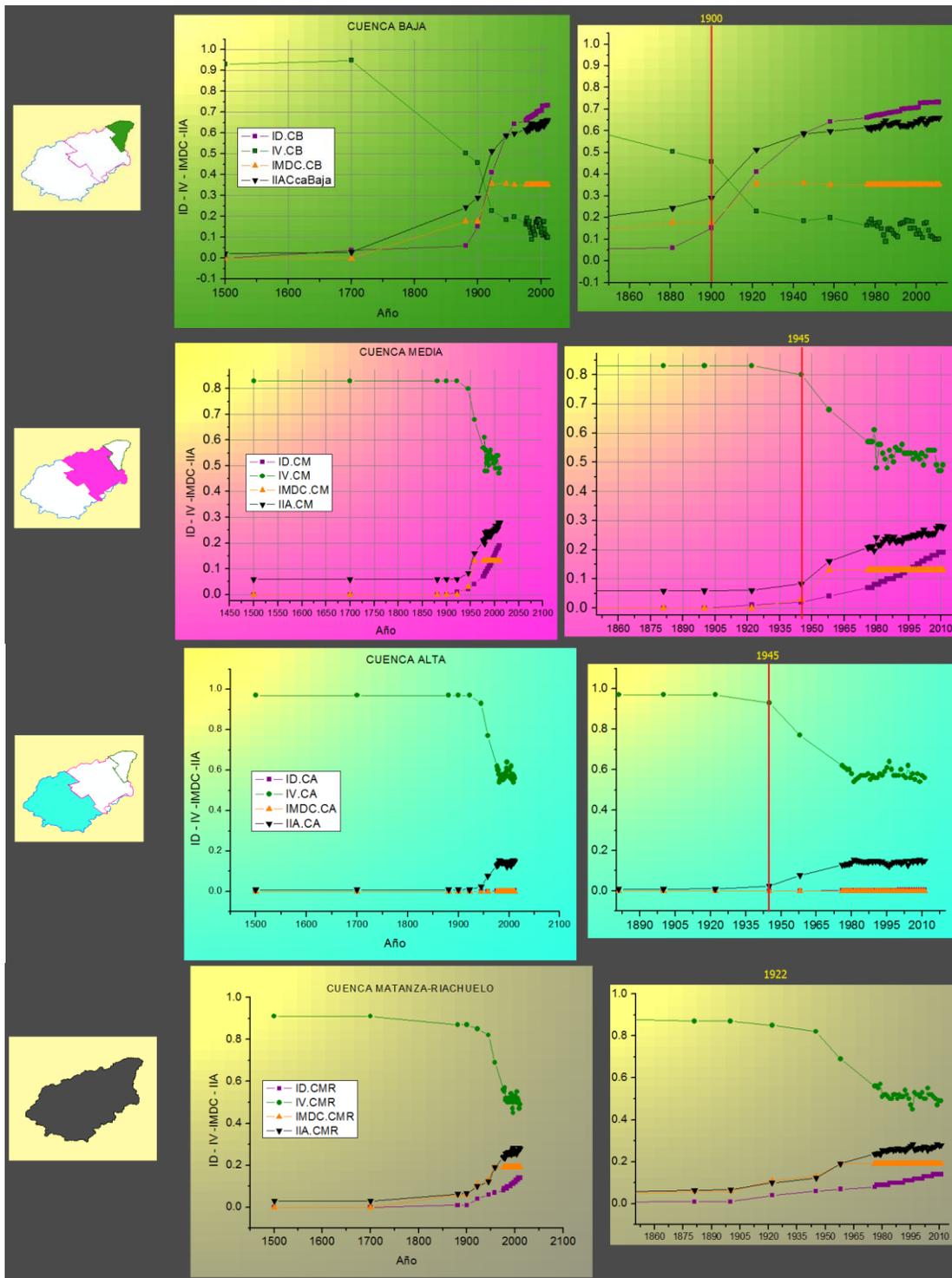


Figura 76 Dinámica temporal de los tres indicadores (ID, IV e IMDC) e índice (IIA) en los tres sectores de la cuenca y la cuenca total desde 1500 (izq) y desde 1700 (der) hasta 2011.

Tendencias futuras del índice IIA

Las tendencias del índice IIA desde el 1500 a la actualidad muestran un comportamiento sigmoideo (ajuste Boltzmanniano según Origin7), encontrándose en la actualidad en el inicio de la fase de desaceleración, excepto en la cuenca media, que crece a mayor velocidad (figura adyacente).

Haciendo un análisis más detallado de los últimos años (1976 -2011) la tendencia del índice IIA es aumentar en todos los casos pero a mayor velocidad en la **cuenca media** (Figura 78) (ver valor de pendiente de la recta de ajuste), luego le sigue la **cuenca baja** y finalmente, el **sector alto** de la cuenca no tiene una tendencia clara (coeficiente de determinación R^2 bajo) y si bien no se puede hablar de tasa de aumento, su rango de valores IIA para ese periodo es muy bajo (0,12-0,15). Tomando a la cuenca enteramente (**CMR**), ésta presenta una velocidad de aumento de impacto antrópico levemente inferior al del sector medio.

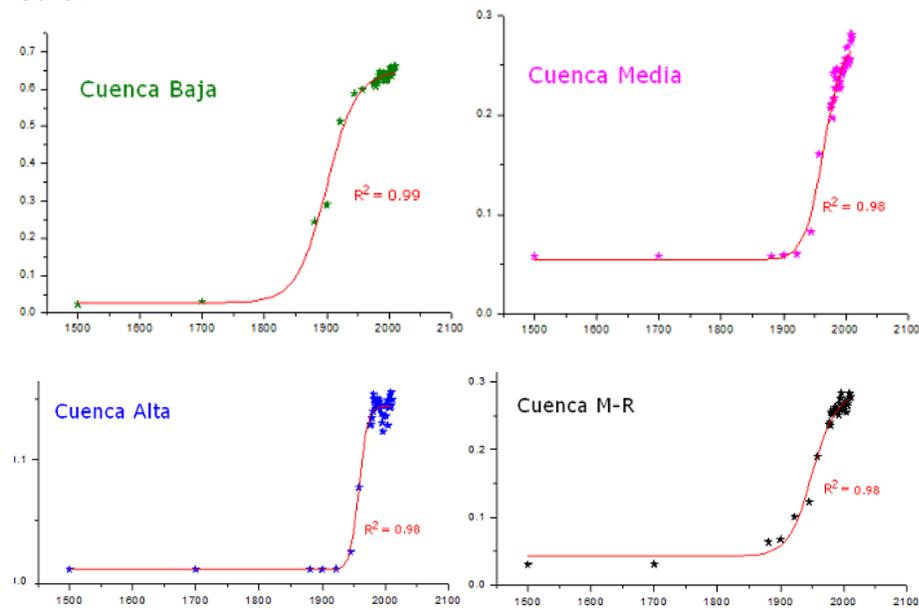


Figura 77 Tendencia del IIA (1500-2011)

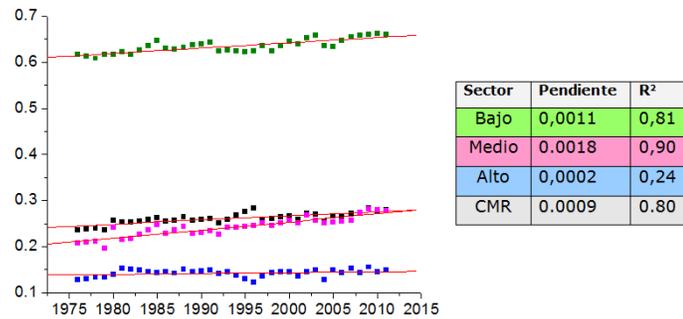


Figura 78 Rectas de tendencia del índice IIA con datos de 1976-2011 (absisa: año; ordenada: IIA).

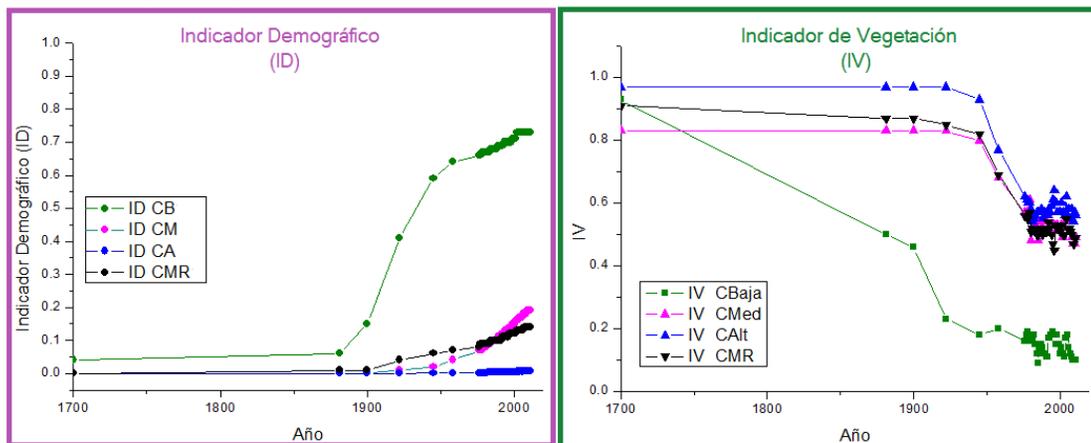
Análisis Espacial de los Indicadores sobre el Índice IIA

Comparación entre sectores de la cuenca

Como se mencionó mas arriba, la **cuenca baja** fue el sector que presentó los valores del IIA más altos, porque todos sus indicadores presentaron siempre valores de alta incidencia antrópica: elevados valores del ID, bajos del IV y elevados del IMDC (Figura 74). En el momento que el ecosistema estaba en su estado natural (año 1500) el IV se estimó menor en la **cuenca media**, ya que la proporción del área vegetal era menor en este sector con respecto a la cuenca baja, sin embargo es una condición natural, en el resto del área se estimó habrían otras coberturas naturales (suelo desnudo, agua, otras).

Peso de los indicadores sobre el índice IIA

Si bien se les dio a los tres indicadores el mismo peso en la conformación del índice IIA, el reemplazo de la cobertura vegetal natural por otras coberturas así como la modificación del diseño del cauce, son consecuencia del aumento de la población, y por lo tanto la **componente demográfica (ID) es determinante en la ecuación del índice** porque su variación condiciona las componentes de vegetación (IV) y de modificación del diseño del cauce (IMDC).



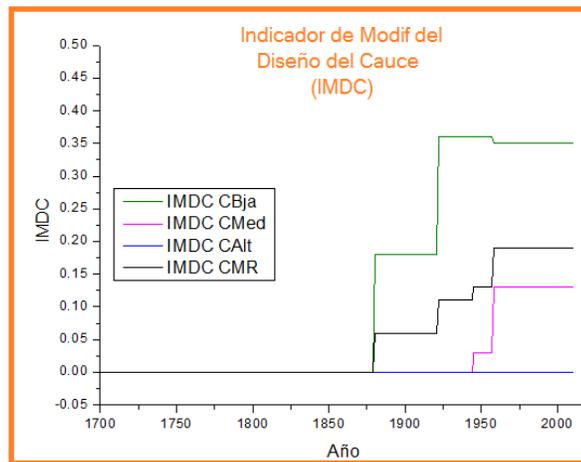


Figura 79 Indicadores 1700-2011.

Importancia del IIA

La **importancia de contar con una medida cuantitativa de la incidencia antrópica sobre la cuenca La Matanza-Riachuelo**, reside en que es posible identificar **especialmente** aquellos sitios de mayor impacto donde priorizar las acciones de recomposición ambiental, teniendo en cuenta que los costos de saneamiento son en general elevados, representando una herramienta útil para el uso eficiente de los recursos económicos. Por otro lado, la identificación de sitios de mínimo impacto o incidencia antrópica es vital para determinar áreas protegidas.

Desde el punto de vista del análisis temporal del índice, conocer su **dinámica en el tiempo** nos permite comparar distintas situaciones a través de la historia para no repetir lo ocurrido en aquellas zonas que han sufrido una alta incidencia antrópica (cuenca baja); además, permite monitorear la evolución del índice luego de haber tomado medidas de recuperación ambiental, y por último la importancia de estimar tendencias a futuro.

Los enfoques actuales de gestión y conservación se basan en que los ecosistemas con mayor integridad o con mayor salud ecológica tienen una mayor capacidad de resistir a las perturbaciones antropogénicas (resiliencia) (Montes *et al*, 1998). A su vez, **los organismos de gestión y control del agua y ambientes naturales en general, encaran cada vez más la planificación desde un aspecto cuantitativo, cualitativo y desde un enfoque sistémico** (Bianucci *et al*, 2005).

Diagnóstico del grado de incidencia antrópica

Teniendo en cuenta que el sistema natural posee **resiliencia ecosistémica**, es decir, capacidad propia de tolerar perturbaciones impuestas (naturales o antrópicas) para volver a su estado original, se puede afirmar que las perturbaciones sostenidas desde inicios del siglo XVII, en el sector bajo de la cuenca parecen haber sobrepasado estos límites de tolerancia, transformando el ecosistema en uno muy lejano al natural. Por esto, actualmente se están tomando medidas de gestión para sanear y recomponer este sector de la cuenca (PISA-ACUMAR, 2011).

Teniendo en cuenta este punto, una vez obtenidos los valores del índice IIA el próximo paso sería **identificar el valor de IIA umbral** que indique el límite hasta el cual el ecosistema es capaz de retornar a su estado original y a partir del cual cambia irreversiblemente, de forma de conocer si serán necesarias acciones adecuadas para recomponerlo.

Sin embargo, este deseo trasciende las posibilidades de este trabajo de tesis debido a la disponibilidad de tiempo y falta de varios de estos datos.

El concepto de umbral es complejo para dicho índice ya que teniendo en cuenta su ecuación, un único valor de IIA puede involucrar diversos valores de sus componentes (los indicadores ID, IV e IMDC), y por lo tanto se debería definir un umbral IIA resultante de los umbrales de sus indicadores. Todos los umbrales estarían definidos por el valor al cual el ecosistema pierde su capacidad de volver a su estado original, o dicho de otro modo, el valor al cual el sistema cambia irreversiblemente. Partiendo de este concepto de umbral, el **umbral del ID** estaría definido como aquel valor que incluye el máximo tamaño poblacional y máxima área edificada a partir de los cuales el ecosistema cambiaría de forma permanente; el **umbral del IV**, aquel valor que incluya una cobertura natural mínima y una artificial máxima tal que garantice la integridad del ecosistema fluvial, y por último, el **umbral del IMDC**, aquel valor que incluya la longitud mínima del cauce tal que no cause un cambio permanente en el funcionamiento del río.

Cabe destacar además, que para la determinación de umbrales se debe ser muy cuidadoso y su cálculo debe incluir una visión holística y no sólo el punto de vista hidrológico o ecológico. Para afirmar cuál es el tamaño poblacional máximo que tolera el ecosistema, debemos conocer el estilo de vida de la población, índice de NBI, educación ambiental, calidad de vida de los habitantes, entre otras.

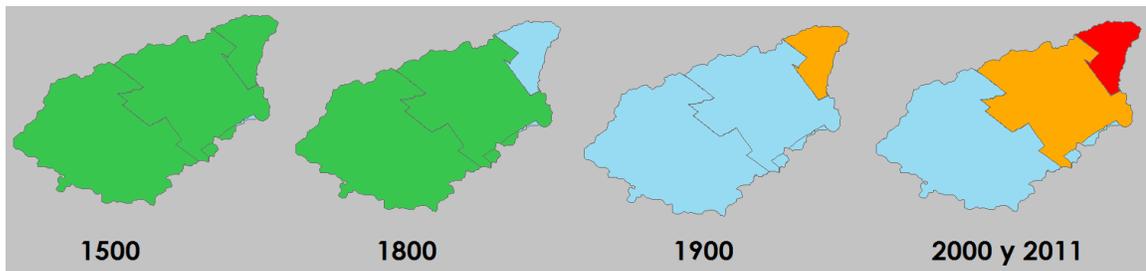
Para la determinación de estos umbrales se hace necesaria una gran cantidad de información, lo que resalta la importancia de los trabajos de investigación de base sobre el ecosistema en su estado natural (basándose en relictos naturales y áreas protegidas que son los más próximos al estado natural original) y de los cuales deberían basarse para el saneamiento ambiental de la cuenca.

Por esto, para efectuar un diagnóstico y establecer el grado de incidencia antrópica del río sin contar con los umbrales se definió una gama del índice IIA de 0 a 4 que se presenta a continuación:

Tabla 21 Grados de Incidencia Antrópica (IA), estado al que pertenecen y rango de IIA.

Grado IA	Estado de Incidencia Antrópica	Rango IIA
0	Natural (sin IA)	0
1	Baja	>0-0,25
2	Media	>0,25 - 0,50
3	Fuerte	0,50 -0,75
4	Muy fuerte	0,75-1

Para ejemplificar la incidencia antrópica de la CMR según el índice IIA se muestran en el gráfico los esquemas de la cuenca con los colores respectivos del grado de IIA. Si bien el IIA en estado natural da levemente mayor a 0 porque el indicador IV daba levemente menor a 1 (se explica en la sección de IV) el estado de los tres sectores de la cuenca en el 1500 era natural, como se muestra en el esquema a continuación:



Si se tomara en cuenta la cuenca enteramente, los grados de IIA serían '1' de 1500 a 1900 y '2' en 2000 y 2011.

Conclusiones parciales del índice IIA

La combinación de datos espaciales con datos *in situ* a dado como resultado un sistema de indicadores ambientales que a su vez han dado origen al índice IIA que aporta una **medida cuanti- y cualitativa del impacto antrópico** que ha recibido el ecosistema fluvial tanto a nivel espacial como a nivel temporal, y por lo tanto permite evaluar el grado de degradación de un sitio para por ejemplo priorizar las medidas a tomar para protegerlo o restaurarlo, así como permite conocer las tendencias futuras, respectivamente, y de a muy bajo costo (Santana Rodríguez et al, 2010). También sería **aplicable para evaluar la eficiencia de las acciones de recomposición** que en la actualidad está llevando a cabo ACUMAR.

Según el **análisis espacial** de los resultados del índice IIA **el sector más afectado antrópicamente** es el **sector bajo** de la cuenca MR, que es el de mayor urbanización. Esto se explica **porque las tres componentes del índice IIA** (el indicador demográfico ID, el de vegetación, IV y el de modificación del diseño del cauce principal, IMDC) **fueron siempre los de mayor incidencia antrópica** con respecto a los sectores más alejados del núcleo urbano. Desde el análisis temporal, también el sector bajo fue el que siempre presentó los mayores valores de incidencia antrópica. Se estimó que este sector comenzaba a dar señales de impacto antrópico ya a **inicios de 1700 aproximadamente**, mientras que **los restantes lo hicieron mucho después**, a partir de 1945 y con una menor tasa de cambio, principalmente en la cuenca alta.

Los resultados del índice IIA reflejan **un claro gradiente de incidencia antrópica desde la cuenca baja altamente urbanizada hasta la cuenca alta, básicamente rural**. En la actualidad la cuenca alta (la cabecera del río), tiene un grado 1 de incidencia, la cuenca media grado 2 y la baja grado 3, y la tendencia a futuro para los tres sectores es a aumentar si la presión antropogénica no se modifica.

Si bien la cuenca baja es la más afectada antrópicamente, las **tendencias a futuro indican que es el sector que aumenta más rápidamente el nivel de impacto antrópico es la cuenca media**, dado por la componente demográfica (un aumento exponencial de su población así como también del área edificada), además también la tendencia del indicador de vegetación para este sector refleja una mayor incidencia antrópica a futuro.

Esto demuestra por un lado, la **necesidad inmediata de tomar medidas de acción** para la **recomposición de la cuenca baja**, y por otro, tomar medidas de acción para **frenar o al menos desacelerar el marcado proceso de degradación en el sector medio de la cuenca, y planificar un correcto ordenamiento territorial en la cuenca alta**, de forma de no repetir lo ocurrido en el sector más afectado, el sector bajo. Si algo puede rescatarse de la intensa transformación que ha sufrido el sector bajo es justamente tomar como ejemplo para no repetir los errores en otros sitios, más aún sabiendo que los sectores medio y alto están en crecimiento demográfico.

El sector más alejado de la capital federal (cuenca alta, con la cabecera del río) es el sector que **menor degradación ha sufrido** pero las tendencias muestra un paulatino aumento a futuro y acá debe resaltarse la **importancia ecológica de la cabecera**. Cuanto más cerca de la cabecera sea la degradación, mayor es el riesgo de una incidencia irreversible, porque afectará al resto de la cuenca aguas abajo. Por esto, es conocido que las cabeceras representan el sector de mayor valor ecológico de la cuenca, y de esto se desprende la necesidad de **proteger estas áreas**.

Cabe recordar que el índice IIA es básicamente una medida cuantitativa de la lejanía del ecosistema de su estado original natural, por lo que, dado que las tendencias actuales en la gestión de cuencas son de retornar estos ambientes a un estado lo más aproximado al natural posible, **el IIA representaría una herramienta útil para conocer los sitios más vulnerables y por lo tanto prioritarios para intervenir para su saneamiento**. Debe tenerse en cuenta el alcance de la escala espacial de este trabajo es una escala media y por lo tanto debe servir como una primera aproximación en la identificación aproximada de las áreas más vulnerables. Además sería **útil también para evaluar y monitorear las acciones realizadas por la autoridad de cuenca (ACUMAR)**, así como también cuantificar la eficiencia de dicha acción, como ocurre con otros índices (Bianucci *et al*, 2005).

Cabe destacar que son escasos los trabajos sobre índices ambientales a partir de información espacial y censal para grandes zonas urbana y que si bien ellos trabajan con una gran cantidad de variables (Escobar, 2006; Santana Rodríguez *et al*, 2010) no incluyen la componente temporal, y por lo tanto, estiman el índice solo en el presente. Si bien éste trabajo **es la primer aproximación a un análisis temporal de un indicador ambiental en una cuenca fluvial**, tiene la contraparte de basarse en unas pocas variables ambientales.

Si bien los tres indicadores poseen un mismo peso en la conformación del índice IIA, **es el indicador demográfico el determinante** ya que influye sobre los otros dos indicadores, porque el reemplazo de la cobertura vegetal en la cuenca y la rectificación del cauce principal del río aumentan de forma directa con el aumento de la población.

Como se demostró en los resultados, tener en cuenta **la escala espacial** es de suma importancia en la interpretación de los datos. **Si analizamos la cuenca enteramente**, los efectos marcadamente **negativos que ocurren en el sector bajo son diluidos** porque este sector sólo representa el 8,5% del territorio de la cuenca. Por esto y para aumentar su precisión, creo imprescindible aumentar la resolución espacial en el caso que dicha herramienta sea utilizada por la ACUMAR en la toma de decisiones. Si bien aumentar la resolución espacial aumenta la complejidad del análisis, los tiempos de procesamiento de datos y los costos para la obtención de los datos, sería recomendable hacer el análisis en forma estratificada, es decir, en los **sectores identificados a gran escala como los prioritarios y no en toda la extensión de la cuenca**. Para citar un ejemplo, para la identificación del área construida con imágenes de mayor resolución, se identificaría primero la 'mancha urbana' a gran escala y en ellas se identificarían con mayor precisión con las imágenes de mayor resolución pero únicamente en los sectores de la mancha urbana, lo que ahorrará tiempo, trabajo y recursos económicos. Cabe señalar, que si bien el costo de los análisis a escala local es mayor, ello resultaría en un ahorro económico importante porque se intervendría los sitios identificados más localmente y no sobre una extensa área.

Cabe mencionar que si bien **este trabajo de tesis se realizó a una escala espacial media**, por ser un estudio histórico, se trata de la resolución espacial más detallada, dado que en estos casos es muy frecuente la falta de datos antiguos o si existen su resolución es demasiado baja porque la tecnología no era tan sofisticada, o su

disponibilidad limitada (porque muy frecuentemente su fin era militar). Con el paso del tiempo, la tendencia de los datos espaciales es la de aumentar tanto la resolución espacial como la temporal y también la resolución espectral, y las investigaciones científicas a nivel mundial y la tecnología desarrollada aumentan de la mano de estas herramientas para la aplicación en problemas concretos, con el objetivo adicional de reducir costos y tiempos y aumentar la precisión. En la actualidad la teledetección tiene un papel protagonista en un amplísimo espectro de temas de interés global por la cobertura espacial exhaustiva, sistemática y global que registran los satélites (Chuvieco, 2007).

CAPÍTULO IV. *Discusión y Conclusiones*

Se destaca que para el estudio de cuencas hídricas, **fue posible evaluar grandes áreas afectadas por la actividad antrópica mediante el uso de una serie temporal de imágenes satelitales**. Este análisis espacial y temporal constituye un documento de base para el conocimiento de la evolución del sistema y conocer el origen de su estado actual y así la Autoridad de Cuenca La Matanza-Riachuelo (ACUMAR) decida por propuestas de restauración ambiental largo plazo. Este estudio contempla los sectores que, a gran escala, serán los prioritarios a restituir. Asimismo constituye un antecedente de información histórica para otros sistemas fluviales urbanos altamente impactados para no repetir los mismos errores.

La **obtención de la serie temporal de los mapas de coberturas del suelo** y las simulaciones para los años en que no se poseían datos, permitió observar la evolución de la ocupación del suelo y cómo se afectaron las áreas naturales por reemplazo de área urbana y agrícola.

Dada la **escala espacial** a nivel cuenca el presente trabajo representa una **primera aproximación al conocimiento del impacto antrópico a gran escala**. El siguiente paso sería abordar un enfoque a escala espacial detallada de aquellos sitios que en este trabajo han sido identificados como prioritarios por su alto grado de incidencia antrópica. Existe una amplia gama de imágenes satelitales de alta resolución y técnicas de teledetección para cumplir con esos objetivos.

Aunque no siempre se les otorgue un valor económico en los sistemas de mercado, los ecosistemas naturales y seminaturales producen beneficios indispensables para la economía, la salud pública y el bienestar general de los seres humanos, y de esta premisa surge la **importancia de contar con un índice** que refleje el nivel de incidencia antrópica en un ecosistema que ha sufrido una fuerte presión antrópica a lo largo de más de 300 años de historia y que continua actualmente.

Según los resultados del **índice IIA** obtenidos, los efectos iniciales de incidencia antrópica en la cuenca baja ha sido aproximadamente a principios del siglo XVIII, mientras que en el resto de la cuenca se registrarían aproximadamente más de dos siglos después. Según la evolución de este índice **la tasa de crecimiento disminuye con la distancia desde la Capital Federal**. Por esto, los valores de IIA son claramente diferentes en los tres sectores de la CMR, los más elevados en el sector bajo, los menores en el alto e intermedios en el medio. Se observó un claro **gradiente de impacto antrópico** desde la desembocadura de la cuenca hasta la cabecera.

Debido a que actualmente la SCJN controla la implementación de varias medidas que tienen por objetivo el saneamiento de la cuenca, principalmente del sector más urbanizado, el **índice IIA podría representar una herramienta** objetiva cuali-cuantitativa **tanto para la ACUMAR** para focalizar esfuerzos en

zonas prioritarias y hacer un seguimiento post-intervención para saber si las acciones realizadas fueron beneficiosas, así **como también para la SCJN** en la evaluación de la gestión de la cuenca.

Los resultados del índice IIA revelaron que **el sector bajo de la CMR es el que se encuentra más alejado del estado natural del ecosistema fluvial**. Esto estuvo relacionado a su alto nivel de urbanización, al rápido crecimiento demográfico que llevó a la **falta de ordenamiento y fiscalización en la ocupación y zonificación del suelo en la planicie de inundación**, durante la historia del poblamiento, a comienzos del siglo XVIII. Por otro lado, si bien la **cuenca media y alta presentan un menor grado de impacto antrópico**, el crecimiento poblacional actual obliga rigurosamente a tener en cuenta las **políticas de ordenamiento territorial** para no repetir lo ocurrido en la cuenca baja.

Si bien **para un análisis más preciso del área cultivada y natural hubiese sido óptimo utilizar imágenes del mismo momento del año** para los 35 años analizados, los problemas de cobertura nubosa o falta de datos en esos momentos, imposibilitaron ese deseo. Sin embargo, para estudios a futuro se recomienda complementar con el uso de imágenes radar con las cuales se soluciona este problema.

Si bien se encontraron ciertos **problemas para obtener las coberturas vegetal natural y cultivada antes de 1976** y la solución fue limitada por los tiempos de realización del trabajo, las herramientas de teledetección brindan un amplio espectro de soluciones a este tipo de problemas que **en estudios a futuro se recomienda utilizar** (procesamiento de fotografías aéreas antiguas para la obtención de las coberturas, uso de imágenes radar que permiten visualizar con cobertura nubosa o de noche la superficie terrestre, uso de imágenes de mayor resolución).

De los problemas principales que se manifiestan en la cuenca es el del **aumento de área edificada (impermeable)** que resulta en una transformación muy importante con respecto al drenaje natural. Se conocen ciertas alternativas de este problema como el uso de pavimento permeable que permite la infiltración del agua en el suelo pero controlando que el nivel de la napa para que no ocurra anegamiento (Lira Astudillo & Torres Godoy, 2007). Por otro lado, como alternativa **en zonas de elevada actividad agropecuaria (cultivos)** está la adopción de sistemas agroforestales que son sistemas de producción sostenible.

Otro de los **principales problemas se presenta en el valle aluvial**, que es una **zona crítica en la integridad de la cuenca** porque tiene la función hidráulica de retener el agua en periodos de exceso hídrico, por lo que, su transformación tendrá efectos importantes en el drenaje del agua. Si bien se habla del 'problema de la inundación' del valle aluvial, esta es una visión antropocéntrica y se convierte en un problema porque se han asentado personas allí. Sin embargo, si bien se tomaron medidas constructivas para su mitigación (rectificación del cauce principal) es muy difícil transformarlo, más aún sabiendo

que la parte baja está expuesta a inundaciones no solo por efecto de precipitaciones fuertes en el área, sino también por las Sudestadas.

La **falta de información de base de la CMR** en su estado natural imposibilita fijar objetivos claros del estado al que se la pretende transformar. Esto resalta la importancia por un lado, de contar con **estudios de base** del ecosistema natural y por otro lado, de crear **áreas protegidas** en la cuenca por ser ejemplos del estado natural (o aproximado a él) o por ser zonas clave en la integridad del ecosistema.

El **uso de índices como herramienta objetiva de diagnóstico ambiental** está creciendo significativamente a la par con la disponibilidad de datos satelitales (Escobar, 2006) lo que demuestra el potencial de los productos satelitales y SIG en esta tarea, más aún teniendo en cuenta que también aumenta la aparición de muchos satélites de observación de la tierra, más aún teniendo en cuenta, que Argentina está dentro de los principales países con tecnología satelital (lanzó el último satélite en 2011).

Para la aplicación del índice y los indicadores por parte de la **ACUMAR sería de gran utilidad contar con umbrales de los indicadores** de forma de contar con un valor que garantice el área natural mínima que debe preservarse de la cuenca para que mantenga su integridad funcional. Sin embargo, los umbrales deben ser cuidadosamente definidos, con un análisis a una mayor escala de detalle y desde un punto de vista integrado (hidrológico, ecológico y social).

La **experiencia pasada de gestionar la cuenca de forma desintegrada** fue el resultado de múltiples acciones divididas, sin criterios compartidos (nacionales, provinciales y locales), y sin tener en cuenta el hecho que el comportamiento de los ríos no reconoce límites jurisdiccionales, resalta la necesidad, por un lado, de considerar la cuenca desde el punto de vista integrado, como un sistema complejo, dinámico y abierto. En este marco de integración de la cuenca se crea la Autoridad de cuenca MR (ACUMAR). Sin embargo, cabe recordar que la delimitación del sistema fluvial es solo con el fin de simplificar su estudio y comprensión, pero todos los sistemas naturales son parte de su entorno y los efectos que se produzcan en él lo afectarán y viceversa.

Si bien las intervenciones en la cuenca están siendo llevadas a cabo por la Autoridad de Cuenca (ACUMAR), **la calidad de los resultados será óptima si la gestión se basa en estudios de base objetivos que encaren la cuenca desde un punto de vista integral**. La aplicación de las **técnicas de teledetección y SIG tiene un alto potencial en este tipo de estudios** porque permiten combinar información ambiental y elaborar herramientas de diagnóstico de impacto antrópico para evaluarlo tanto espacial como temporalmente.

Referencias bibliográficas

- ACUMAR (2006) Evaluación Ambiental del Proyecto de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Hídrica Matanza – Riachuelo, Capítulo 5: Línea de base y Diagnóstico Ambiental Cuenca La Matanza Riachuelo. Disponible online en: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/ACUMARSiSaClo/File/borrador/CAP5_Linea_Base_DACMR.pdf
- ACUMAR (2011) PISA (Plan Integral de Saneamiento Ambiental). [Disponible online en: http://www.acumar.gov.ar/Informes/Control/CalAmb/Abril2011/Abril2011_link.pdf]
- Agostino HN (2004) Breve Historia de la Matanza en Imágenes, UNLaM.
- Ameghino F (1985) Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de BsAs. Argentina. Pp 64.
- Aragonés D, Díaz-Delgado R & J Bustamente (2005) Tratamiento de una serie temporal larga de imágenes Landsat para la cartografía de la inundación histórica de las marismas de Doñana. En Teledetección: Avances en la observación de la Tierra, Eds. Arbelo M, González A y JC Pérez. Proceedings del XI Congreso Nacional de Teledetección organizado por AET, Pp. 407- 410, Tenerife.
- Arauz M, Arca G, Barcat B, Caraballo A, Ferrarazzo A, Gowland M & C Manfredi (2002) Foro Desarrollo Sostenible de la Cuenca La Matanza-Riachuelo. Guía de trabajo. Fundación Ciudad, Capital Federal, BsAs. Argentina.
- Barbero J (1973) Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Matanza. Dirección de Hidráulica, Ministerio de Obras Públicas de la Pcia de BsAs. La Plata, Argentina.
- Bertoni J, Maza J & C Paoli (2004) Inundações e drenagem urbana nos países da America do Sul. Parte II. Capítulo 4. Argentina Libro: "Inundações Urbanas na America do Sul". Asociación Brasileira de Recursos Hídricos. Brasil. [Disponible online en español en: http://www.iph.ufrgs.br/pop_ups/LivroInundacoes/cap4-1.pdf]
- Bianucci SP, Ruberto AR, Depettris CA & Clemente MT (2005). Aplicación de indicadores de impacto ambiental al estudio de calidad de las aguas continentales: caso de la laguna Los Lirios, Resistencia, Argentina. Comunicaciones científicas y Tecnológicas, Resumen T-038. Facultad de Ingeniería UNNE, Resistencia, Chaco, Argentina.
- CAU (Centro de Arqueología Urbana) (2010) Aspectos geológicos del fondo de valle de la Cuenca inferior del Riachuelo. [Disponible online en: <http://www.primerabuenosaires.com.ar/?p=67>]
- Chuvieco E (2006) Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Barcelona: Ed Ariel. Ciencia. ISBN-13: 97884333-80728.
- Chuvieco E (2007) Mirar desde el espacio o mirar hacia otro lado: Tendencias en teledetección y su situación en la geografía española. Doc. Anàl. Geogr. 50: 75-85. España
- Cosmelli Ibáñez JL (1968) Historia Argentina. Ed Troquel. 536 pp.
- De Gandía E (1939) Historia de la Boca del Riachuelo: 1536 – 1840. Ateneo Popular de la Boca. Buenos Aires. Pp 255.
- Defensor del Pueblo de la Nación, Asociación Vecino La Boca, Centro de Estudios Legales y Sociales, Defensoría Adjunta de la Ciudad de BsAs, Fund Ambiente y RRNN, Fund Ciudad, Poder Ciudadano y UTN-FRBA (2003) Informe especial sobre la Cuenca La Matanza-Riachuelo
- Domínguez LL (1861) HistoRIA Argentina. Imprenta del Orden. 519 pp.
- EEE/AMAE (2002) Towards an urban atlas: Assessment of spatial data on 25 European cities and urban areas. Environmental issue report, 30. Copenhagen.*
- Escobar L (2006) Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. Eure, XXXII (96): 73:98.
- García de Jalón D (2007) Obras hidráulicas y ecosistemas fluviales. Trabajo de Maestría en Ingeniería Medioambiental y Gestión del agua [Disponible online en: http://www.eoi.es/savia/pubman/item/eoi:45458:2/component/eoi:45456/D_ObrasHidraulicasEcosistemasFluviales_DiegoGarcia.pdf]
- García D (2006) La escala y su importancia en el análisis espacial. Ecosistemas 15 (3): 7-18. ISBN 1697-2473. Universidad de Oviedo. [Disponible online en [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7700/1/ECO_15\(3\)_02.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7700/1/ECO_15(3)_02.pdf)]
- Gómez-Limón García J, Atauri Mezquida JA, Múgica de la Guerra M, de de Lucio FernándezJV & Puertas Blázquez J (2008) Planificar para gestionar los espacios protegidos. Manuales EUROPARC-España, 120 pp.

- Greenpeace (2010) Riachuelo, 200 años de contaminación. [Disponible online en: <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/contaminaci%C3%B3n/riachuelo-doscientos-contaminacion-informe.pdf>]
- Hinrichsen D (2000) Población y medio ambiente: un reto global. Population reports, Population Information Program, Center for Communication Program XXVIII (3) M 15
- INDEC (2010) Dirección General de Estadística y Censos. Ministerio de Hacienda, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. [Disponible online en: http://www.observatoriodegobierno.buenosaires.gov.ar/Indicadores_Ciudad/espacio.asp#04]
- Kreimer et al, 2001 → Kreimer A, Killock D & JB Valdés (2001) Inundaciones en el área metropolitana de Buenos Aires. The World Bank, Washington DC, EEUU. [Disponible online en: <http://www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/buenosaires.pdf>]
- Maciel & Groisman (2001) Cuenca hídrica Matanza–Riachuelo, En: La Gran Ciudad N° 1. Buenos Aires, Fundación Metropolitana.
- Malpartida AR (2010) La cuenca del río Matanza-Riachuelo. Revisión de Antecedentes de Recursos Naturales. Compuestos xenofóbicos y otros polutantes en la cuenca. UTN. Argentina [Disponible online en: <http://www.bav.agenciaambiental.gob.ar/repositorio/files/riachuelo/informeriachuelo.pdf>]
- Mey C (2011) Historia y Arqueología Marítima. Puerto de Buenos Aires. El Riachuelo 1700 – 1904. [Disponible online en: <http://www.histarmar.com.ar/Puertos/BsAs/Riachuelo-1898-1904.htm>]
- Montes C, Borja F, Bravo MA & JM Moreira (1998) Reconocimiento biofísico de espacios protegidos. Junta de Andalucía, España. Pp 51-60.
- Nápoli AM (2009) Informe ambiental anual 2009. Una política de estado para el Riachuelo. FARN. [Disponible online en: http://www.farn.org.ar/riachuelo/documentos/informe_riachuelo_abr09.pdf]
- Observatorio de Resultados de GCBA (2011) Relación m2 de espacio público verde por habitante, CABA 1995-2009. [Disponible online en: http://www.observatoriodegobierno.buenosaires.gov.ar/Indicadores_Ciudad/espacio.asp]
- Pellizzetti B (2006) *Saneamiento del Riachuelo*. Boletín del Centro Naval. N 815, p 377– 392. [Disponible online en: <http://www.bav.agenciaambiental.gob.ar/repositorio/files/variados/saneamientoriachuelo.pdf>]
- Pereyra FX (2004) Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental. Rev. Asoc. Geol. Argent, 59 (3): 394-410. ISSN 1851-8249.
- Santana Rodríguez LM, Escobar Jaramillo LA & PA Capote (2010) Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. Revista de Geografía Norte Grande, 45: 77-95. [Disponible online en: http://www.geo.puc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N45/art06.pdf]
- SAyDSN – ACUMAR (2006). Evaluación Ambiental del Proyecto de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo. Capítulo 5: Línea de base y diagnóstico ambiental Cuenca MR. [Disponible online en: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/ACUMARSiSaClo/File/borrador/CAP5_Linea_Base_DACMR.pdf]
- SSPU GCBA (Subsecretaría de Planeamiento Urbano del Ministerio de Desarrollo Urbano del Gobierno de la Ciudad de BsAs). [Disponible online en: <http://ssplan.buenosaires.gov.ar/media/gallery/jalbum/flashmapasantiguos/index.html>.]
- Tappan GG, Hadj A, Wood EC & RW Lietzow (2000) Use of Argon, Corona and Landsat imagery to assess 30 years of land resource changes in west-central Senegal. PE&RS (Photogrammetric Engineering & Remote Sensing) 66(6): 727-735.
- Ureña Francés JM, Ascorbe A, Canteras JC, Garmendia C, García Cerdón JC, Liaño A, de la Puente L, Rivas V & A Sainz Borda (1999) Ordenación de las áreas fluviales en las ciudades: un enfoque metodológico. OP Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Río y Ciudad 46 (I). [Disponible online en: http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo//op/46/op46_1.htm]
- Valerio Filho M, Serafim CR & LA Vierira Dias (2000) Temporal analysis of urban expansion in erosion risk areas using remote sensing and geoprocessing techniques. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7. Amsterdam.

Índice de acrónimos

ACUMAR	Autoridad de Cuenca La Matanza-Riachuelo	NBI	Necesidades Básicas Insatisfechas
AMBA	Área Metropolitana de BsAs	NDVI	Índice Normalizado de Vegetación
AOI	Ciudad Autónoma de BsAs	PISA	Plan Integral de Saneamiento Ambiental
ASTER	Área de interés (area of interest)	ROI	Región de Interés
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer	RMS	Errores Medio Cuadrático
CABA	Ciudad Autónoma de Buenos Aires	RPL	Río de La Plata
CMR	Cuenca La Matanza-Riachuelo	SCJN	Suprema Corte de Justicia de la Nación
DEM	Modelo Digital de Elevación	SRNyAHN	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de la Nación
GCBA	Gobierno de la Ciudad de BsAs	SIG	Sistema de Información Geográfico
IA	Incidencia antrópica	SSPU	Subsecretaría de Planeamiento Urbano
ID	Indicador Demográfico	UHI	Islas de calor urbano
IMDC	Indicador de Modificación del Diseño del Cauce	WWF	World Wild Foundation
IV	Indicador de Vegetación		
Kp	Capacidad de Carga máxima de habitantes		
LWCI	Índice de humedad de las hojas		
MR	Matanza-Riachuelo		
N	Tamaño poblacional		

Glosario

Antrópica: se refiere a los efectos producidos por la acción del hombre.

Área Mínima: se define como la menor superficie en donde la composición de flora y fauna de la comunidad está representada adecuadamente. Sabemos que para mantener cualquier función de un ecosistema se necesita una composición mínima de organismos que permita que se establezcan las relaciones entre productores primarios, consumidores y descomponedores para que, de esta forma, se posibilite el flujo de energía y el ciclo de nutrientes.

Camino de sirga (o camino de ribera): espacio de terreno que se debe dejar liberado a ambas márgenes de un río (vía navegable en general) para permitir el paso por allí, libremente.

Canalización: Modificación de la sección transversal del cauce hacia una sección de forma fija, generalmente trapezoidal. Las orillas y el lecho pueden compactarse e incluso cementarse mediante las llamadas "obras de defensa".

Cuenca: conjunto de cursos de agua superficial que drenan una determinada superficie de terreno en un punto de vuelco o desembocadura. Sus límites están definidos por la **línea divisoria de aguas**, línea imaginaria resultante de la unión de los puntos más altos que definen el aporte de las aguas hacia una u otra cuenca al escurrir en distintas direcciones.

Especies clave: es una especie que juega un papel crítico en el mantenimiento de la estructura de la comunidad ecológica y cuyo impacto en la comunidad es mayor que el de cualquier otra.

Partido parcial: sector del partido incluido en la cuenca La Matanza-Riachuelo.

Raster: Una imagen en mapa de bits, también conocida como imagen matricial, bitmap o raster image (estos dos tomados del inglés), o imagen ráster (un calco del inglés), es una estructura o fichero de datos que representa una rejilla rectangular de píxeles o puntos de color, denominada matriz, que se puede visualizar en un monitor, papel u otro dispositivo de representación.

Resiliencia: La resiliencia o estabilidad relativa de un sistema se refiere a la capacidad o velocidad a la que un ecosistema vuelve a un estado de referencia dinámico después de una perturbación temporal de origen natural y/o humano.

Rectificación: Cambio del trazado longitudinal del río por un trazado más recto y más corto. Suele realizarse para evitar desbordamientos en curvas del río. Debido a la disminución del recorrido del río, implica un aumento de la pendiente longitudinal. La rectificación del cauce también se denomina encauzamiento. Es frecuente que se produzca una canalización y rectificación del cauce simultáneas.

Riparia: referente al área que se encuentra en los bancos naturales de un río.

Tosquera: explotación minera a cielo abierto para la obtención de tosca -suelo calcáreo usado como material de construcción-, y que como generalmente se llega al nivel de la napa freática, se llenan de agua dando lugar a lagunas artificiales

Apéndice

Tabla 22 Matrices de Confusión de las Clasificaciones de los años 1977, 1987, 1997 y 2007

Matriz de Confusión (1977)						Matriz de Confusión (1987)																																																																																									
Confusion Matrix: E:\KARI Ou\RIACHUELO - ACUMAR\Datos Toshi\IMAGENES - VECTORES \Clasificación Landsat\1976-1979\nueva clasificación 1977 Landsat ent \ClasMahalaDist 1977_241-84_CMR						Confusion Matrix: E:\KARI Qu\RIACHUELO - ACUMAR\Datos Toshi\IMAGENES - VECTORES \Clasificación Landsat\1980-1989\nueva clasificación 1987 Lands entera \ClasMahalaDist 1987_CMR_gegrf																																																																																									
Overall Accuracy = (81931/102549) 79.8945%						Overall Accuracy = (94066/106332) 88.4644%																																																																																									
Kappa Coefficient = 0.6047						Kappa Coefficient = 0.7650																																																																																									
Ground Truth (Pixels) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>agua_control</th> <th>ciudd_controlveg</th> <th>cultvda_cveg</th> <th>nat_contr</th> <th>Tot</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unclassified</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1977_agua</td> <td>28</td> <td>0</td> <td>236</td> <td>0</td> <td>264</td> </tr> <tr> <td>1982 Ciudd</td> <td>7</td> <td>17407</td> <td>452</td> <td>95</td> <td>17922</td> </tr> <tr> <td>1978 veg cult</td> <td>19</td> <td>1002</td> <td>58349</td> <td>2380</td> <td>61700</td> </tr> <tr> <td>1982 veg nat</td> <td>103</td> <td>268</td> <td>16055</td> <td>6147</td> <td>22513</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>157</td> <td>18678</td> <td>75092</td> <td>8622</td> <td>102549</td> </tr> </tbody> </table>						Class	agua_control	ciudd_controlveg	cultvda_cveg	nat_contr	Tot	Unclassified	0	1	0	0	2	1977_agua	28	0	236	0	264	1982 Ciudd	7	17407	452	95	17922	1978 veg cult	19	1002	58349	2380	61700	1982 veg nat	103	268	16055	6147	22513	Total	157	18678	75092	8622	102549	Ground Truth (Pixels) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>EVF: agua_CMREVF:</th> <th>veg nat</th> <th>EVF: veg cult</th> <th>EVF: ciudd_CM</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unclassified</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>421</td> <td>118</td> <td>201</td> <td>211</td> <td>951</td> </tr> <tr> <td>Veg Nat</td> <td>0</td> <td>7024</td> <td>6725</td> <td>1020</td> <td>14769</td> </tr> <tr> <td>Veg Artif</td> <td>0</td> <td>1298</td> <td>66276</td> <td>911</td> <td>68485</td> </tr> <tr> <td>Ciudd</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>1773</td> <td>20345</td> <td>22120</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>421</td> <td>8442</td> <td>74975</td> <td>22494</td> <td>106332</td> </tr> </tbody> </table>						Class	EVF: agua_CMREVF:	veg nat	EVF: veg cult	EVF: ciudd_CM	Total	Unclassified	0	0	0	7	7	Agua	421	118	201	211	951	Veg Nat	0	7024	6725	1020	14769	Veg Artif	0	1298	66276	911	68485	Ciudd	0	2	1773	20345	22120	Total	421	8442	74975	22494	106332
Class	agua_control	ciudd_controlveg	cultvda_cveg	nat_contr	Tot																																																																																										
Unclassified	0	1	0	0	2																																																																																										
1977_agua	28	0	236	0	264																																																																																										
1982 Ciudd	7	17407	452	95	17922																																																																																										
1978 veg cult	19	1002	58349	2380	61700																																																																																										
1982 veg nat	103	268	16055	6147	22513																																																																																										
Total	157	18678	75092	8622	102549																																																																																										
Class	EVF: agua_CMREVF:	veg nat	EVF: veg cult	EVF: ciudd_CM	Total																																																																																										
Unclassified	0	0	0	7	7																																																																																										
Agua	421	118	201	211	951																																																																																										
Veg Nat	0	7024	6725	1020	14769																																																																																										
Veg Artif	0	1298	66276	911	68485																																																																																										
Ciudd	0	2	1773	20345	22120																																																																																										
Total	421	8442	74975	22494	106332																																																																																										
Ground Truth (Percent) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>agua_control</th> <th>ciudd_controlveg</th> <th>cultvda_cveg</th> <th>nat_contr</th> <th>Tot</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unclassified</td> <td>0.00</td> <td>0.01</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>1977_agua</td> <td>17.83</td> <td>0.00</td> <td>0.31</td> <td>0.00</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>1982 ciudd</td> <td>4.46</td> <td>93.20</td> <td>0.60</td> <td>1.10</td> <td>17.36</td> </tr> <tr> <td>1978 veg cult</td> <td>12.10</td> <td>5.36</td> <td>77.70</td> <td>27.60</td> <td>60.76</td> </tr> <tr> <td>1982 veg nat</td> <td>65.61</td> <td>1.43</td> <td>21.38</td> <td>71.29</td> <td>22.51</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table>						Class	agua_control	ciudd_controlveg	cultvda_cveg	nat_contr	Tot	Unclassified	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	1977_agua	17.83	0.00	0.31	0.00	0.18	1982 ciudd	4.46	93.20	0.60	1.10	17.36	1978 veg cult	12.10	5.36	77.70	27.60	60.76	1982 veg nat	65.61	1.43	21.38	71.29	22.51	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Ground Truth (Percent) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>EVF: agua_CMREVF:</th> <th>veg nat</th> <th>EVF: veg cult</th> <th>EVF: ciudd_CM</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unclassified</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.03</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>100.00</td> <td>1.40</td> <td>0.27</td> <td>0.94</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>Veg Nat</td> <td>0.00</td> <td>83.20</td> <td>8.97</td> <td>4.53</td> <td>13.89</td> </tr> <tr> <td>Veg Artif</td> <td>0.00</td> <td>15.38</td> <td>88.40</td> <td>4.05</td> <td>64.41</td> </tr> <tr> <td>Ciudd</td> <td>0.00</td> <td>0.02</td> <td>2.36</td> <td>90.45</td> <td>20.80</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table>						Class	EVF: agua_CMREVF:	veg nat	EVF: veg cult	EVF: ciudd_CM	Total	Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	Agua	100.00	1.40	0.27	0.94	0.89	Veg Nat	0.00	83.20	8.97	4.53	13.89	Veg Artif	0.00	15.38	88.40	4.05	64.41	Ciudd	0.00	0.02	2.36	90.45	20.80	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Class	agua_control	ciudd_controlveg	cultvda_cveg	nat_contr	Tot																																																																																										
Unclassified	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02																																																																																										
1977_agua	17.83	0.00	0.31	0.00	0.18																																																																																										
1982 ciudd	4.46	93.20	0.60	1.10	17.36																																																																																										
1978 veg cult	12.10	5.36	77.70	27.60	60.76																																																																																										
1982 veg nat	65.61	1.43	21.38	71.29	22.51																																																																																										
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00																																																																																										
Class	EVF: agua_CMREVF:	veg nat	EVF: veg cult	EVF: ciudd_CM	Total																																																																																										
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01																																																																																										
Agua	100.00	1.40	0.27	0.94	0.89																																																																																										
Veg Nat	0.00	83.20	8.97	4.53	13.89																																																																																										
Veg Artif	0.00	15.38	88.40	4.05	64.41																																																																																										
Ciudd	0.00	0.02	2.36	90.45	20.80																																																																																										
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00																																																																																										
Commission Omission Commission Omiss (Percent) (Percent) (Pixels) (Pixe) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Commission (Percent)</th> <th>Omission (Percent)</th> <th>Commission (Pixels)</th> <th>Omiss (Pixe)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1977_agua</td> <td>89.39</td> <td>82.17</td> <td>236/264</td> <td>129/264</td> </tr> <tr> <td>1982 ciudd</td> <td>3.08</td> <td>6.80</td> <td>554/17961</td> <td>1271/18678</td> </tr> <tr> <td>1978 veg cult</td> <td>5.51</td> <td>22.30</td> <td>3401/61750</td> <td>16743/75092</td> </tr> <tr> <td>1982 veg nat</td> <td>72.77</td> <td>28.71</td> <td>16426/22573</td> <td>2475/8622</td> </tr> </tbody> </table>						Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omiss (Pixe)	1977_agua	89.39	82.17	236/264	129/264	1982 ciudd	3.08	6.80	554/17961	1271/18678	1978 veg cult	5.51	22.30	3401/61750	16743/75092	1982 veg nat	72.77	28.71	16426/22573	2475/8622	Commission Omission Commission Omiss (Percent) (Percent) (Pixels) (Pixe) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Commission (Percent)</th> <th>Omission (Percent)</th> <th>Commission (Pixels)</th> <th>Omiss (Pixe)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agua</td> <td>55.73</td> <td>0.00</td> <td>530/951</td> <td>0/421</td> </tr> <tr> <td>Veg Nat</td> <td>52.44</td> <td>16.80</td> <td>7745/14769</td> <td>1418/8442</td> </tr> <tr> <td>Veg Artif</td> <td>3.23</td> <td>11.60</td> <td>2209/68485</td> <td>8699/74975</td> </tr> <tr> <td>Ciudd</td> <td>8.02</td> <td>9.55</td> <td>1775/22120</td> <td>2149/22494</td> </tr> </tbody> </table>						Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omiss (Pixe)	Agua	55.73	0.00	530/951	0/421	Veg Nat	52.44	16.80	7745/14769	1418/8442	Veg Artif	3.23	11.60	2209/68485	8699/74975	Ciudd	8.02	9.55	1775/22120	2149/22494																																		
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omiss (Pixe)																																																																																											
1977_agua	89.39	82.17	236/264	129/264																																																																																											
1982 ciudd	3.08	6.80	554/17961	1271/18678																																																																																											
1978 veg cult	5.51	22.30	3401/61750	16743/75092																																																																																											
1982 veg nat	72.77	28.71	16426/22573	2475/8622																																																																																											
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omiss (Pixe)																																																																																											
Agua	55.73	0.00	530/951	0/421																																																																																											
Veg Nat	52.44	16.80	7745/14769	1418/8442																																																																																											
Veg Artif	3.23	11.60	2209/68485	8699/74975																																																																																											
Ciudd	8.02	9.55	1775/22120	2149/22494																																																																																											
Prod. Acc. User Acc. Prod. Acc. User A (Percent) (Percent) (Pixels) (Pixe) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Prod. Acc. (Percent)</th> <th>User Acc. (Percent)</th> <th>Prod. Acc. (Pixels)</th> <th>User A (Pixe)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1977_agua</td> <td>17.83</td> <td>10.61</td> <td>28/157</td> <td>28/157</td> </tr> <tr> <td>1982 ciudd</td> <td>93.20</td> <td>96.92</td> <td>17407/18678</td> <td>17407/17922</td> </tr> <tr> <td>1978 veg cult</td> <td>77.70</td> <td>94.49</td> <td>58349/75092</td> <td>58349/61700</td> </tr> <tr> <td>1982 veg nat</td> <td>71.29</td> <td>27.23</td> <td>6147/8622</td> <td>6147/22513</td> </tr> </tbody> </table>						Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User A (Pixe)	1977_agua	17.83	10.61	28/157	28/157	1982 ciudd	93.20	96.92	17407/18678	17407/17922	1978 veg cult	77.70	94.49	58349/75092	58349/61700	1982 veg nat	71.29	27.23	6147/8622	6147/22513	Prod. Acc. User Acc. Prod. Acc. User A (Percent) (Percent) (Pixels) (Pixe) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Prod. Acc. (Percent)</th> <th>User Acc. (Percent)</th> <th>Prod. Acc. (Pixels)</th> <th>User A (Pixe)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agua</td> <td>100.00</td> <td>44.27</td> <td>421/421</td> <td>421/951</td> </tr> <tr> <td>Veg Nat</td> <td>83.20</td> <td>47.56</td> <td>7024/8442</td> <td>7024/14769</td> </tr> <tr> <td>Veg Artif</td> <td>88.40</td> <td>96.77</td> <td>66276/74975</td> <td>66276/68485</td> </tr> <tr> <td>Ciudd</td> <td>90.45</td> <td>91.98</td> <td>20345/22494</td> <td>20345/22120</td> </tr> </tbody> </table>						Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User A (Pixe)	Agua	100.00	44.27	421/421	421/951	Veg Nat	83.20	47.56	7024/8442	7024/14769	Veg Artif	88.40	96.77	66276/74975	66276/68485	Ciudd	90.45	91.98	20345/22494	20345/22120																																		
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User A (Pixe)																																																																																											
1977_agua	17.83	10.61	28/157	28/157																																																																																											
1982 ciudd	93.20	96.92	17407/18678	17407/17922																																																																																											
1978 veg cult	77.70	94.49	58349/75092	58349/61700																																																																																											
1982 veg nat	71.29	27.23	6147/8622	6147/22513																																																																																											
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User A (Pixe)																																																																																											
Agua	100.00	44.27	421/421	421/951																																																																																											
Veg Nat	83.20	47.56	7024/8442	7024/14769																																																																																											
Veg Artif	88.40	96.77	66276/74975	66276/68485																																																																																											
Ciudd	90.45	91.98	20345/22494	20345/22120																																																																																											

Matriz de Confusión (1997)

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: I:\KARI Qu\RIACHUELO - ACUMAR\Datos Toshi\IMAGENES - VECTORES\

Overall Accuracy = (103622/124427) **88.1015%**
 Kappa Coefficient = **0.7961**

Ground Truth (Pixels)

Class	EVF: ciudd_coEVF: veg nat_EVf: Agua_cntEVF: veg cult	Total
Unclassified	331	331
Ciudd	31376	32832
Veg Nat	741	23085
Agua	292	1653
Veg Artif	732	66526
Total	33472	124427

Ground Truth (Percent)

Class	EVF: ciudd_coEVF: veg nat_EVf: Agua_cntEVF: veg cult	Total
Unclassified	0.99	0.27
Ciudd	93.74	26.39
Veg Nat	2.21	18.55
Agua	0.87	1.33
Veg Artif	2.19	53.47
Total	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Ciudd	4.43	6.26	1456/32832	2096/33472
Veg Nat	43.18	13.38	9967/23085	2027/15145
Agua	57.65	0.00	953/1653	0/700
Veg Artif	3.15	14.22	2098/66526	10682/75110

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Ciudd	93.74	95.57	31376/33472	31376/32832
Veg Nat	86.62	56.82	13118/15145	13118/23085
Agua	100.00	42.35	700/700	700/1653
Veg Artif	85.78	96.85	64428/75110	64428/66526

Matriz de Confusión (2007)

Confusion Matrix: [Memory10] (3539x3933x1)

Overall Accuracy = (96043/110220) 87.1375%
 Kappa Coefficient = 0.7618

Ground Truth (Pixels)

Class	EVF: agua_CMREVF: ciudd_CMEVF: veg cultEVF: veg nat	Total
Unclassified	0	10
Agua	418	1160
Ciudd	0	21186
Veg Artif	0	64345
Veg Nat	0	23519
Total	418	110220

Ground Truth (Percent)

Class	EVF: agua_CMREVF: ciudd_CMEVF: veg cultEVF: veg nat	Total
Unclassified	0.00	0.01
Agua	100.00	1.05
Ciudd	0.00	19.22
Veg Artif	0.00	58.38
Veg Nat	0.00	21.34
Total	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Agua	63.97	0.00	742/1160	0/418
Ciudd	0.66	8.30	139/21186	1904/22951
Veg Artif	1.36	15.32	878/64345	11478/74945
Veg Nat	52.76	6.68	12408/23519	795/11906

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Agua	100.00	36.03	418/418	418/1160
Ciudd	91.70	99.34	21047/22951	21047/21186
Veg Artif	84.68	98.64	63467/74945	63467/64345
Veg Nat	93.32	47.24	11111/11906	11111/23519