



**PROGRAMA DE FOMENTO DE CAPACIDADES PARA
EL DESARROLLO BAJO EN EMISIONES - CHILE**
Low Emission Capacity Building Programme
LECB- Chile

Informe Final

**Propuesta metodológica para la estimación de
datos incoherentes de la serie temporal 2000-
2011 sobre Residuos Sólidos Municipales
eliminados en sitios de disposición final a nivel
regional**

Inés Guerrero Santana
Jeanette Navarro López
Instituto de Estadística
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso



INDICE DE CONTENIDOS

ANTECEDENTES.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
▪ Objetivo General	5
▪ Objetivos Específicos	5
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	6
▪ Cálculo de los RSM para las nuevas regiones, período 2000-2005.....	7
▪ Análisis gráfico de los RSM, a nivel país y regional, período 2000-2011	9
▪ Análisis gráfico de la información, por región	12
▪ Resultado del análisis de las series de RSM, a nivel regional, período 2000-2011, proporcionado por expertos del MMA.....	20
▪ Propuesta para imputación de datos atípicos	22
(1) Modelo de Regresión con series de datos originales:	22
(2) Modelo de Regresión con series de datos suavizada:	23
CONCLUSIONES.....	26
ANEXO:	27
CÁLCULO DE LAS MEDIAS MÓVILES CENTRADAS.....	27

ANTECEDENTES

Respecto a los INGEI que se deberán presentar cada dos años ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), es que se hace relevante actualizar el inventario sectorial de gases de efecto invernadero (ISGEI) de Chile para el sector Residuos, construyendo y recalculando una serie de tiempo de emisiones de GEI desde el año 1990 hasta el año 2010 (o hasta el año que exista información disponible), desagregada por cada una de las regiones administrativas del territorio nacional y según las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GL2006).

El inventario del sector residuos incluye distintas categorías, entre estas la disposición de residuos sólidos, en la que se deben reportar las cantidades anuales de residuos eliminados en sitios de disposición final, por lo que se debe acceder a la información histórica de los catastros anuales que reportan esta información a nivel regional, sin embargo los registros existentes reflejan una serie histórica con incoherencia e inconsistencias además de años con vacíos de datos.

Considerando la variedad de este tipo de información en el caso de Chile, se identificó la necesidad de realizar una revisión de todos los datos recolectados, establecer criterios y parámetros para los datos a corregir y complementar, para transformar toda esta información en un documento oficial sobre la disposición final de residuos sólidos municipales en Chile. Este documento será la base para nuevos estudios y base de referencia para información a entregar a nivel internacional, como la OCDE y el Inventario nacional de gases de efectos invernaderos (INGEI) de Chile. El cual se elaborará en el marco del Sistema Nacional de Inventarios (SNI) de Chile bajo el mandato de la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA) a través del financiamiento del programa Low Emission Capacity Building (LECB) de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Este estudio, además de estar a cargo de un especialista en residuos, con conocimiento en el manejo de este tipo de información, necesitará del apoyo de un profesional estadístico que aporte con este tipo de expertiz en el análisis de los datos disponibles para la serie histórica y propuesta metodológica para el ajuste, el trabajo realizado por este último profesional, se encuentra detallado a través de este informe.

INTRODUCCIÓN

El origen de los residuos sólidos municipales (RSM) corresponde a hogares y sus asimilables; comercio, oficinas, entidades como escuelas y edificios públicos y, finalmente, servicios municipales como podas, limpieza de calles y otras.

Entre los años 2000 y 2006, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), elaboró anualmente un catastro de la disposición final de residuos sólidos municipales. Para este efecto, invitaba a todas municipalidades, autoridades sanitarias y direcciones regionales de CONAMA a enviar los datos de los residuos depositados en sus comunas. Con las respuestas recibidas se elaboró el catastro nacional.

En los primeros años, las respuestas incluían basurales y microbasurales. Luego se limitó la información a las instalaciones formalmente utilizadas por las municipalidades para depositar los residuos generados. En el año 2004 se limitó la información de la Región Metropolitana a los residuos domiciliarios, eliminando las cantidades de residuos industriales depositados en los rellenos sanitarios. Entre los años 2007 y 2008 CONAMA realizó una revisión de los datos del catastro de 2006. En esta revisión se detectaron varios problemas, entre otros, la falta de información de varios municipios, especialmente en caso de municipios que depositaban sus residuos en una instalación ubicada en otra región, y valores de PPC (producción per cápita) probablemente incorrectos, por ser muy bajos o muy altos. En esta revisión se identificaron criterios para estimar los datos faltantes y los erróneos.

En el año 2009, se tomó una nueva iniciativa, se contrató a una consultora para elaborar el catastro (en este caso incluyendo todos los residuos y todas las alternativas de manejo). La consultora envió encuestas a municipalidades, de las cuales cerca de 35% respondieron. Esta información se publicó en el "Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile".

"La generación estimada de Residuos Sólidos Municipales a nivel nacional para el año 2009 fue de 6,5 millones de toneladas, presentando desde el año 2000 un crecimiento anual cercano al 2,5%. La generación de RSM aumenta año a año, debido al crecimiento de la población y al incremento en el nivel de vida, pasando de 326 kg por habitante el año 2000 a 384 kg por habitante el año 2009, cifra menor a la que presentan en promedio los países miembros de la OCDE que corresponde a 550 kg por habitante por año"¹.

Los resultados de la encuesta de 2009 generaron nuevas dudas sobre la confiabilidad de los datos. En 2012 el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) solicitó a todos municipios a informar sobre las cantidades de residuos depositados en 2010 y 2011, respectivamente. En este caso, se evaluaron los datos recibidos, y en caso necesario se solicitó su revisión. En

¹ *Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos de Chile*. Año 2010. CONAMA. Gobierno de Chile

este proceso participaron los SEREMIs de Medio Ambiente y de Salud.

A partir de los antecedentes descritos, el MMA construyó las series temporales de los RSM para el período 2000-2011, tanto a nivel regional como nacional, que sirven de base para el presente informe.

OBJETIVOS

Objetivo General

Apoyar estadísticamente el ajuste de los datos de la serie temporal 2000-2012, correspondiente al Catastro de Residuos Sólidos Municipales (RSM) eliminados en sitios de disposición final a nivel regional.

Objetivos Específicos

1. Identificar, mediante técnicas estadísticas, los datos que presenten incoherencias en las series temporales de Residuos Sólidos Municipales eliminados en sitios de disposición final, para las distintas regiones del país, período 2000-2011.
2. Estimar los datos de las series temporales de Residuos Sólidos Municipales eliminados en sitios de disposición final, para las distintas regiones del país, período 2000-2011, identificados estadísticamente como incoherentes, que fueron ratificados como tal mediante el juicio de expertos del MMA.
3. Apoyar estadísticamente en el ajuste de datos hasta llegar a obtener una serie de tiempo coherente según la visión de ambos profesionales a cargo de la elaboración del catastro.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El desarrollo de este estudio, se basó en la información proporcionada por la Sección Residuos del Ministerio del Medio Ambiente, corregida al 24 de Octubre del 2013, cuyo origen se desglosa como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Fuentes de Información de los Residuos Sólidos Municipales, por año

Año	Fuente de Información
2000	Catastro de Sitios de Instalaciones de Disposición Final de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD), año 2000. Sub-departamento Residuos, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).
2001 a 2004	Informe Anual Medio Ambiente 2005, Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y Departamento de Descontaminación, Planes y Normas. CONAMA.
2005 2007 2009	Estadísticas Demográficas Compendio Estadístico 2010, Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y Departamento Control de la Contaminación. Área Residuos Sólidos. Catastro de Instalaciones de Disposición Final de RSM.
2006	Catastro de Sitios de Instalaciones de Disposición Final de RSD, año 2008. Sub-departamento Residuos, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).
2008	CONAMA. Departamento Control de la Contaminación. Áreas Residuos Sólidos. Catastro de Instalaciones Final de Residuos Sólidos Domiciliarios.
2010 - 2011	Ministerio del Medio Ambiente 2012. Reporte de generación y recolección de residuos municipales, OCDE 2012.

Para todo el período bajo estudio, la contraparte proporcionó los RSM para las 15 regiones del país. Como la creación de las regiones XIV y XV data desde el año 2007, la contraparte informó que los datos de las regiones I, XV, X y XIV, desde el 2000 al 2005 y 2007, se calcularon aplicando una ponderación por el número de habitantes de las provincias que constituían la región respectiva. Para el caso del año 2006, se disponía de los RSM desagregado por provincia², por lo que el RSM de las nuevas regiones se calculó como la suma de los RSM para las provincias correspondientes.

Considerando que la contraparte proporcionó además archivos con información desagregada por provincia para los años 2010-2011³ la cual permite una estimación más real de la contribución de cada provincia al total de la cantidad de RSM de las antiguas regiones I y X, para el desarrollo de este estudio se recalculó la información de las actuales regiones I, XV, X y XIV para el período 2000 – 2005 y 2007, utilizando como ponderador el porcentaje promedio de los RSM obtenido desde los archivos.

² *Resumen2008datos 2006*

³ *Catastro disposición final residuos domiciliarios 2010 - 2011 actualizado Agosto 2013*

✚ Cálculo de los RSM para las nuevas regiones, período 2000-2005

Tabla 1. RSM (1000 ton) para nuevas regiones, años 2000-2005

Región	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007
XV	39,98	50,29	49,44	48,63	56,39	57,49	76,06
I actual	50,62	65,63	66,44	67,25	80,20	84,05	75,75
I antigua	90,6	115,92	115,88	115,88	136,59	141,54	151,81
XIV	59,64	57,70	85,28	107,33	90,45	93,21	109,11
X	120,36	117,50	175,20	222,36	189,00	196,37	201,48
X antigua	180	175,2	260,48	329,69	279,45	289,58	310,59

Fuente: Datos Históricos RSM oct-010-2.0. MMA, Sección Residuos

Tabla 2. RSM (1000 ton) de las nuevas regiones, años 2006, 2010, 2011.

Región	2006	2010	2011	Total
XV	73,49	51,76	52,66	177,91
I actual	73,19	86,59	97,90	257,68
I antigua	146,68	138,36	150,56	435,59
XIV	105,42	122,00	135,00	362,42
X actual	194,67	225,22	225,22	645,11
X antigua	300,09	347,22	360,22	1007,53

Fuente: Resumen2008datos 2006, Catastro disposición final residuos domiciliarios 2010 - 2011 actualizado Agosto 2013. MMA, Sección Residuos

Tabla 3. Contribución porcentual de RSM de las regiones nuevas a regiones antiguas, años 2006, 2010-2011

Región	2006	2010	2011	Promedio
XV	50,10%	37,41%	34,98%	40,83%
I actual	49,90%	62,59%	65,02%	59,17%
I antigua	100%	100%	100%	100%
XIV	35,13%	35,14%	37,48%	35,91%
X actual	64,87%	64,86%	62,52%	64,09 %
X antigua	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. RSM (1000 ton) estimada para nuevas regiones, años 2000-2005

Región	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007
XV	36,99	47,33	47,31	47,31	55,77	57,79	61,99
I	53,61	68,59	68,57	68,57	80,82	83,75	89,83
XIV	64,65	62,92	93,55	118,41	100,36	104,00	111,55
X	115,35	112,28	166,93	211,28	179,09	185,58	199,04

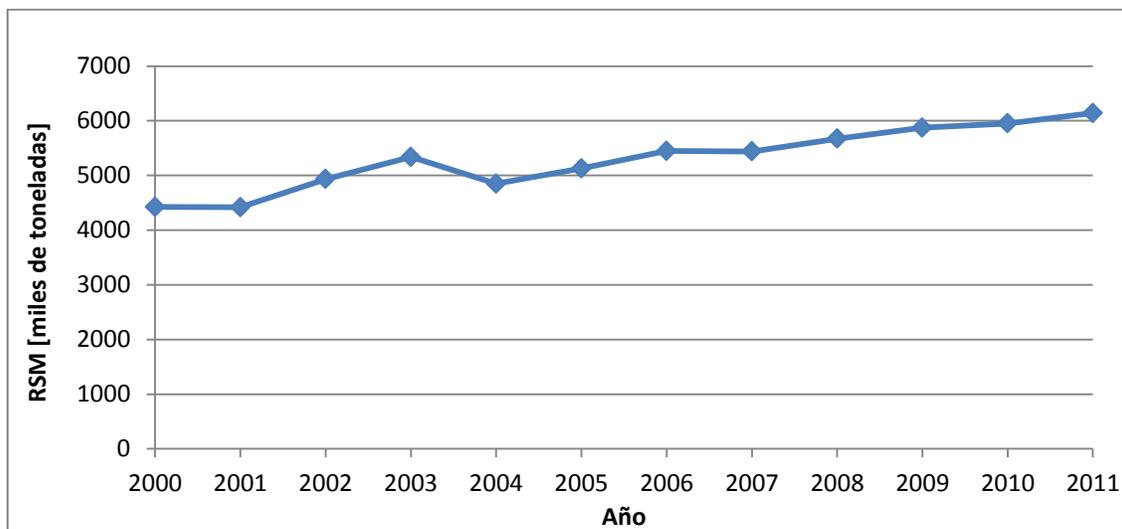
Tabla 5. RSM (1000 ton) corregidos, período 2000-2011

Región	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
XV	36,99	47,33	47,31	47,31	55,77	57,79	73,49	61,99	78,72	110,00	51,76	52,66
I	53,61	68,59	68,57	68,57	80,82	83,75	73,19	89,83	78,40	181,66	86,59	97,90
II	222,00	223,44	309,78	299,87	169,37	175,51	181,87	188,24	194,83	195,41	207,65	212,29
III	79,80	79,80	98,66	98,66	79,12	81,99	56,87	87,94	91,01	103,68	79,05	91,78
IV	139,20	152,16	200,10	231,68	216,66	224,52	232,66	240,80	249,23	153,49	216,65	224,48
V	420,00	420,24	514,57	691,64	542,92	562,62	546,82	603,43	624,55	592,17	664,00	655,08
XIII	2405,43	2227,02	2140,90	2291,80	2326,35	2514,19	2691,02	2523,78	2658,19	2641,61	2763,44	2885,25
VI	195,60	202,44	208,21	155,18	226,64	234,86	243,37	251,89	260,71	211,95	284,37	304,95
VII	144,00	142,68	236,71	236,71	188,72	195,56	185,69	209,75	217,09	298,38	277,84	282,68
VIII	324,00	324,24	490,51	547,13	431,31	446,95	460,00	589,83	610,47	589,76	627,22	637,70
IX	76,80	168,84	202,64	187,94	170,14	176,31	186,74	189,10	195,72	319,86	202,28	205,59
XIV	64,65	62,92	93,55	118,41	100,36	104,00	105,42	115,55	112,93	126,21	122,00	135,00
X	115,35	112,28	166,93	211,28	179,09	185,58	194,67	199,04	208,53	249,19	227,71	227,71
XI	24,00	58,80	26,40	23,04	28,44	29,47	63,90	31,61	32,71	40,15	48,24	48,65
XII	121,20	127,56	127,55	127,56	51,82	53,70	152,66	56,58	60,13	61,20	94,25	80,41

✚ Análisis gráfico de los RSM, a nivel país y regional, período 2000-2011

El Gráfico 1 representa a la serie temporal nacional de los RSM, para el período 2000-2011, en tanto que los gráficos siguientes corresponden a la misma serie pero desagregada a nivel regional.

Gráfico 1: Residuos Sólidos Municipales anuales, a nivel país, período 2000-2011



Como se puede observar a través del gráfico 1, la tendencia de la generación de residuos sólidos municipales a nivel nacional, parece adecuarse a un modelo lineal. Sin embargo, la disminución de la cantidad de RSM que se presenta desde el año 2003 al 2004, podría estar evidenciando la existencia de dos funciones lineales que ajustan a los datos observados: una que modela la situación hasta el año 2003 y la otra a partir del año 2004.

Para investigar si este comportamiento es similar cuando se considera la información desagregada por regiones, se construyó el gráfico 2. La gran diferencia de RSM generados por la Región Metropolitana, respecto al generado por el resto de las regiones del país, hace que a través de este gráfico sólo se visualice, con algún nivel de detalle, la situación de la Región Metropolitana. Por tal razón se construyeron los gráficos 3, 4 y 5 que describen la generación de RSM en el período 200-2011, para grupos de regiones, sin considerar a la Región Metropolitana.

Gráfico 2: Residuos Sólidos Municipales anuales, a nivel regional, período 2000-2011

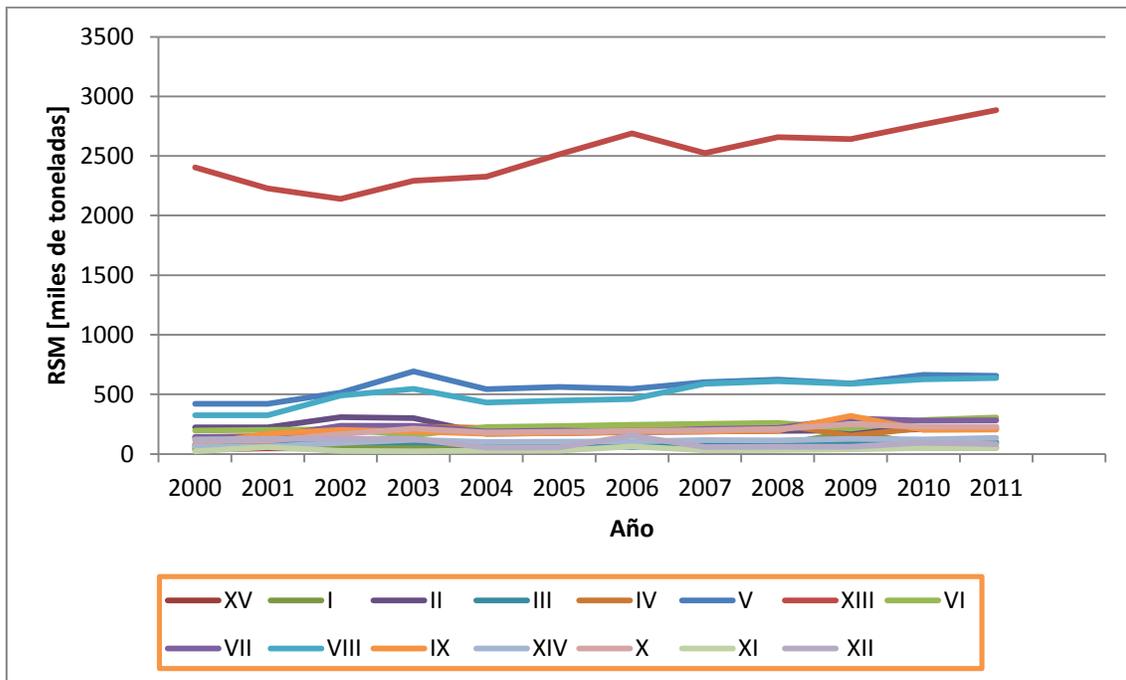


Gráfico 3: RSM anuales, período 2000-2011, Regiones XV, I, II y III

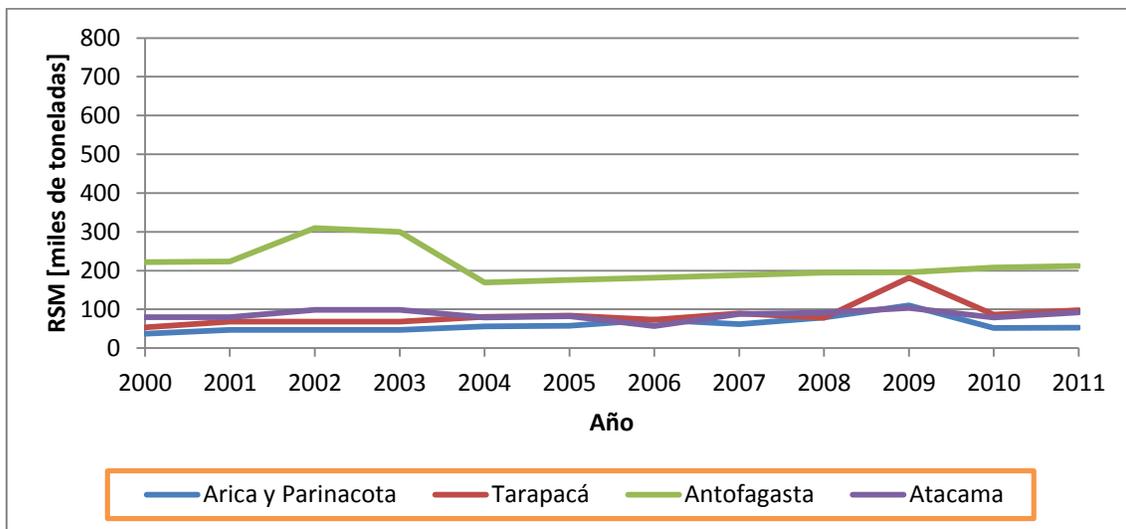


Gráfico 4: RSM anuales, período 2000-2011, Regiones IV, V, VI, VII y VIII

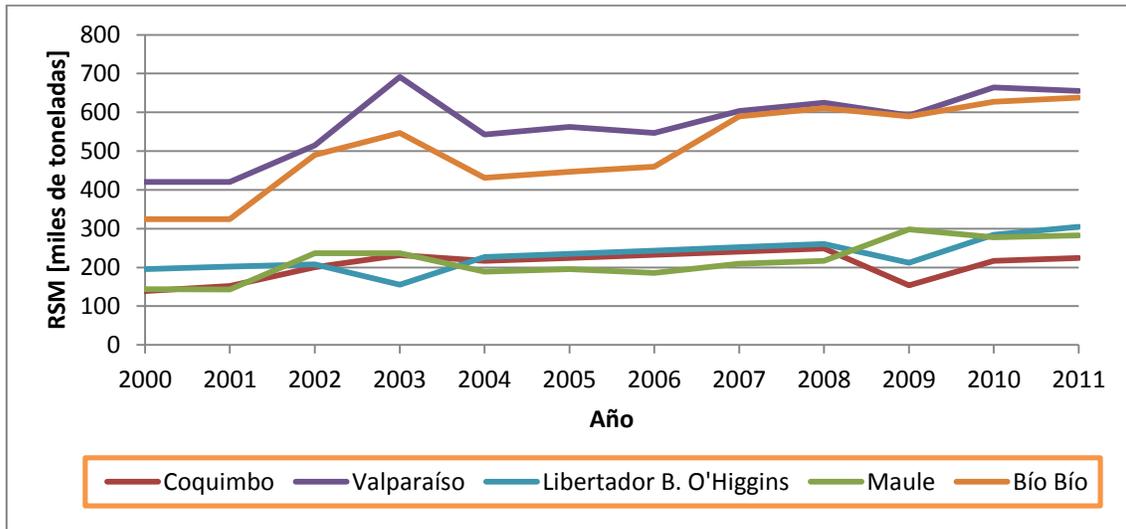
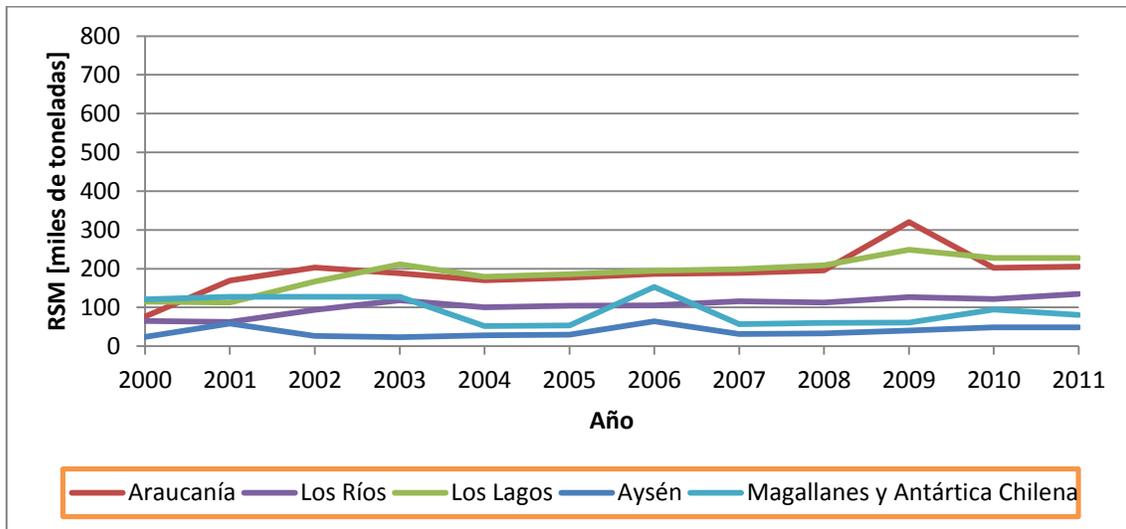


Gráfico 5: RSM anuales, período 2000-2011, Regiones IX, XIV, X, XI y XII



Desde los gráficos 3, 4 y 5, se puede apreciar que, aunque los RSM en las diferentes regiones, presentan un comportamiento bastante similar durante el período de estudio, es notorio que en algunos casos hay valores que se escapan a la tendencia, los que, por lo general se presentan en los años 2003, 2006 y 2009.

✚ Análisis gráfico de la información, por región

El gráfico 6 presenta gráficos de caja (Box-Plots) que resumen la información correspondiente a los RSM durante el período 2000-2011, para cada región. Dado que la influencia de la región XIII en la escala del eje de las ordenadas no permite apreciar los datos fuera de norma de las otras regiones, el gráfico 7 presenta la misma situación del gráfico 6, pero excluyendo a la Región Metropolitana.

Gráfico 6: Box Plot de los RSM [1000 ton] anuales, por región.

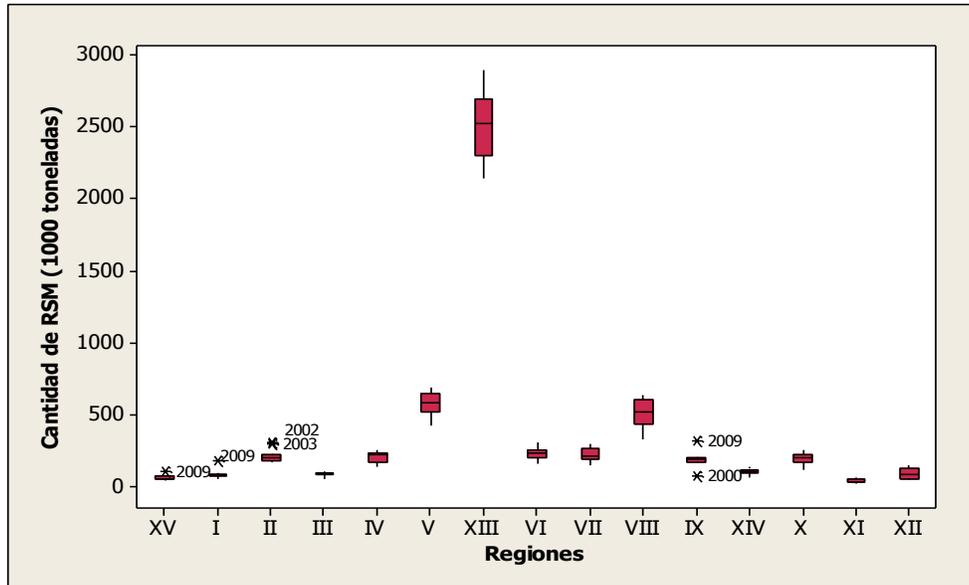
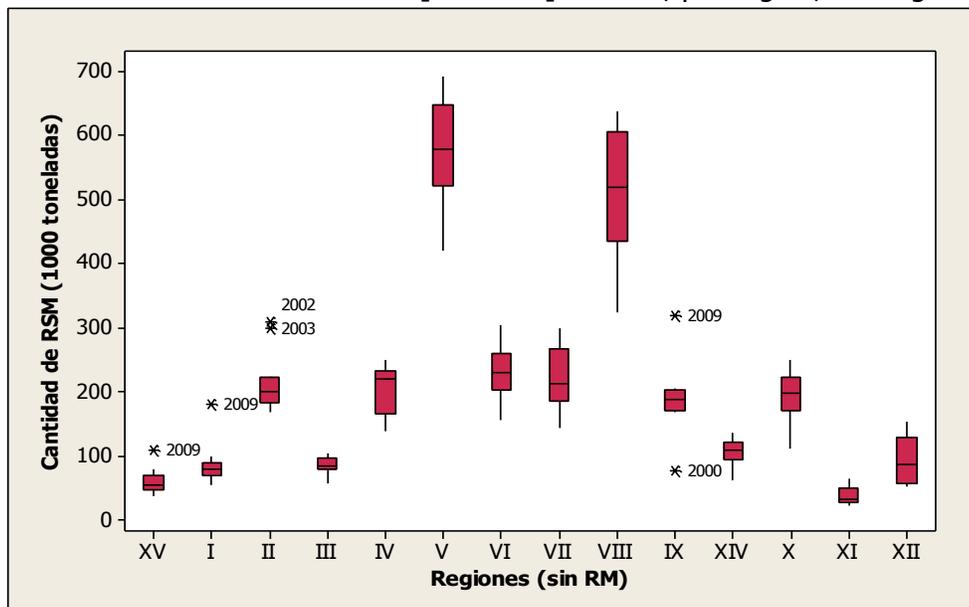
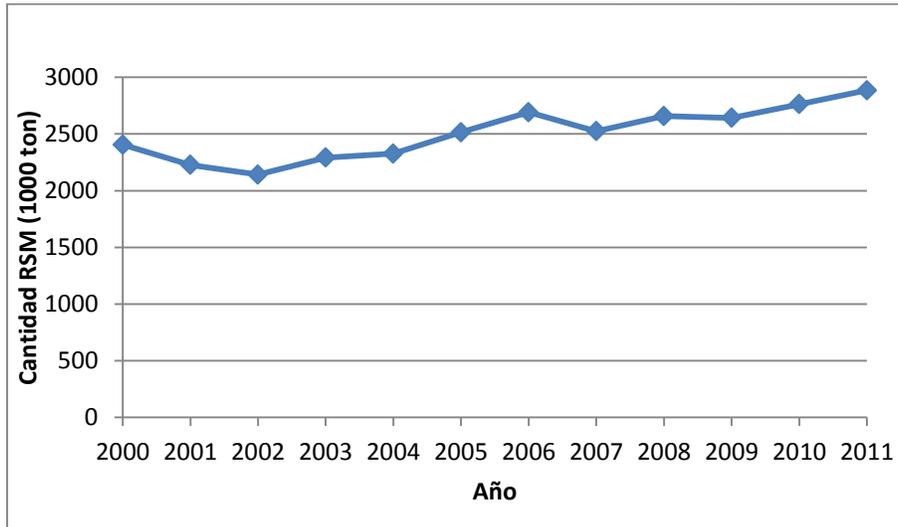


Gráfico 7: Box Plot de los RSM [1000 ton] anuales, por región, sin Región XIII



De acuerdo al gráfico 6, los RSM de la Región XIII (Metropolitana) durante el período 2000-2011, constituyen una serie sin datos outliers, con poca variabilidad, como se puede apreciar también en el gráfico 8. Este gráfico muestra también que la tendencia de la serie temporal de los RSM, en el período bajo estudio, podría modelarse a través de un modelo de regresión lineal simple.

Gráfico 8: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, Región XIII



El gráfico 7 muestra también que, aunque que no se detectan datos fuera de norma, las regiones con mayor variabilidad de RSM son la V y la VIII, regiones que, después de la Metropolitana, tienen la generación de RSM más altos. Los gráficos 9 y 10 muestran además que la alta variabilidad de estas regiones puede deberse al brusco cambio en la tendencia que se produce desde el año 2003 al 2004, lo que podría estar indicando algún problema con los registros de los años anteriores al 2004.

Gráfico 9: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, V Región

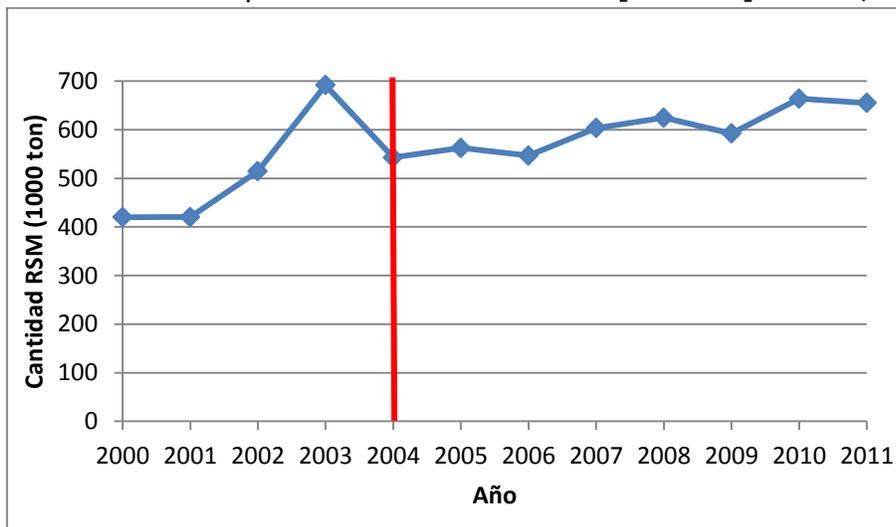
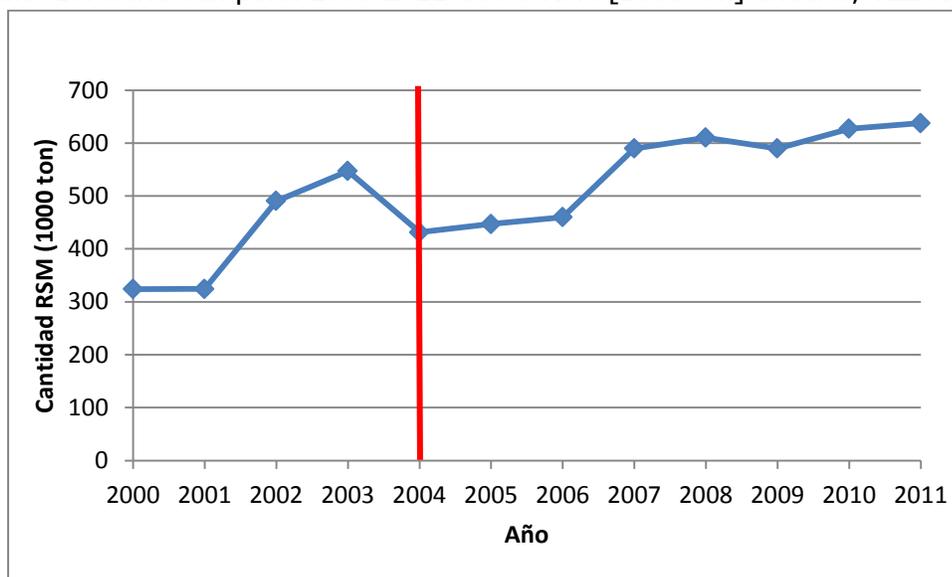


Gráfico 10: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, VIII Región



El gráfico 7 muestra también que entre las regiones que presentan menor variabilidad en cuanto a los RSM anuales, se destacan la XV, I, III, XIV y XI. Pese a ello se puede apreciar que tanto en la XV como en la I región, el registro correspondiente al año 2009 se reconoce como outliers, lo que también se aprecia en los gráficos 11 y 12, respectivamente. En la región III, el gráfico 13 muestra un descenso en los registros desde el año 2003 al 2006, que sería conveniente analizar. Respecto a la región XIV, el gráfico 14 muestra un cambio en la tendencia de la serie entre los años 2003 y 2004; por su parte, el gráfico 15 muestra que, aunque la cantidad de RSM anuales de la región XI son bastante estables en el período, con una leve tendencia al aumento a contar del año 2007, los valores de los años 2001 y 2006, parecieran no responder a ese perfil.

Gráfico 11: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, XV Región

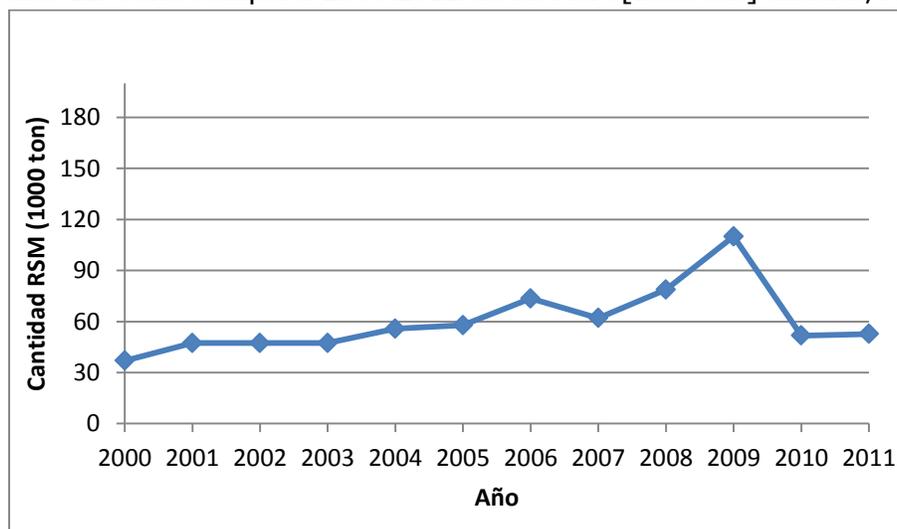


Gráfico 12: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, I Región

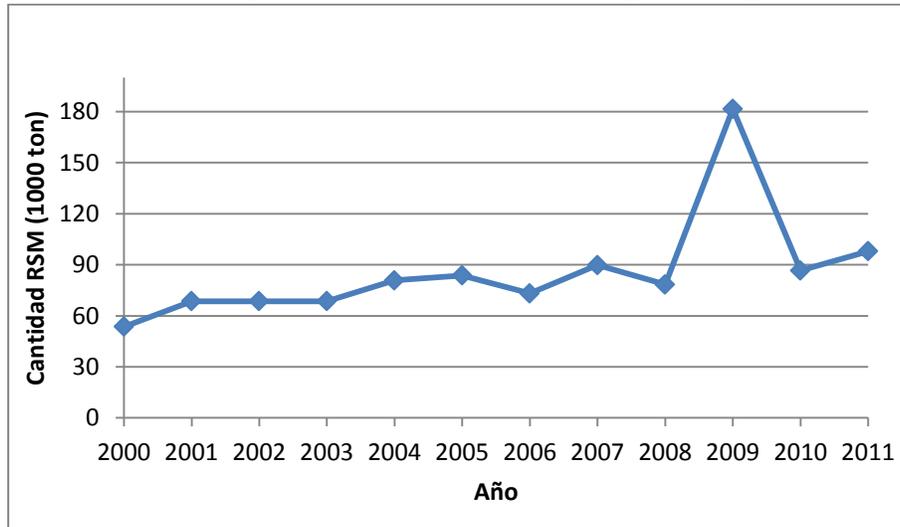


Gráfico 13: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, III Región

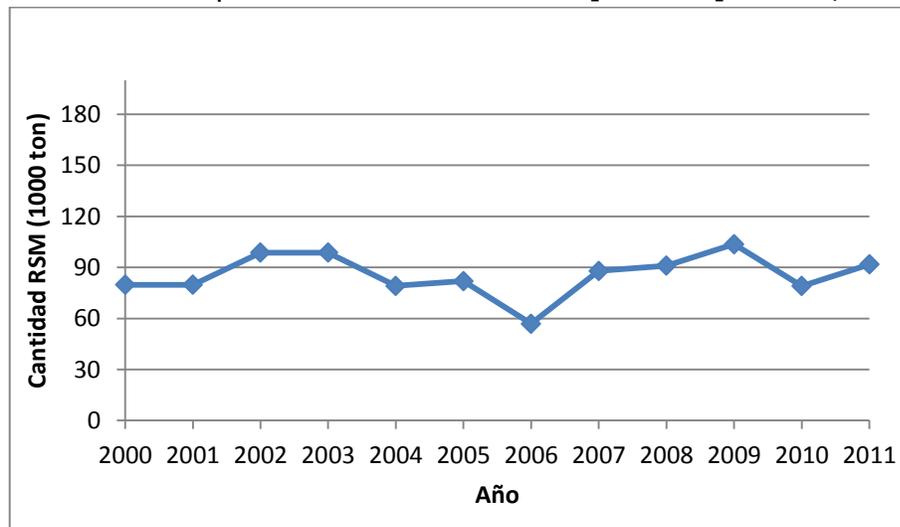


Gráfico 14: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, XIV Región

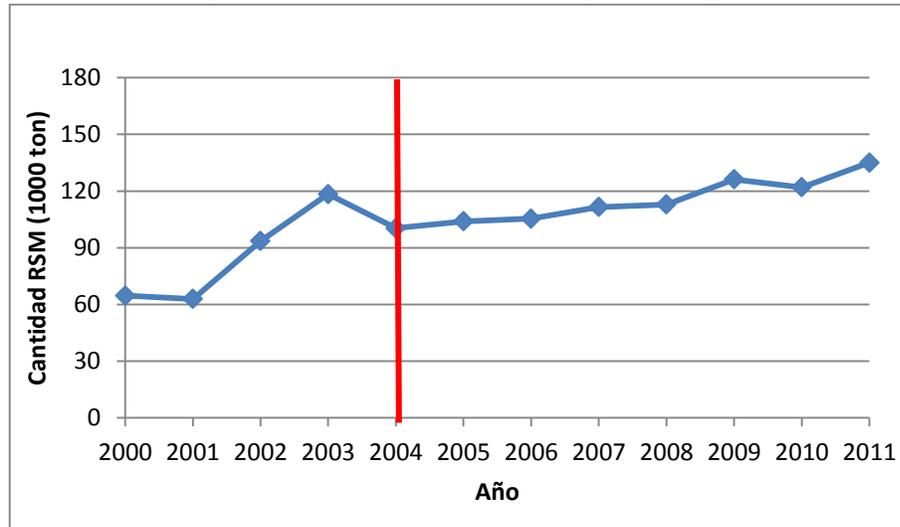
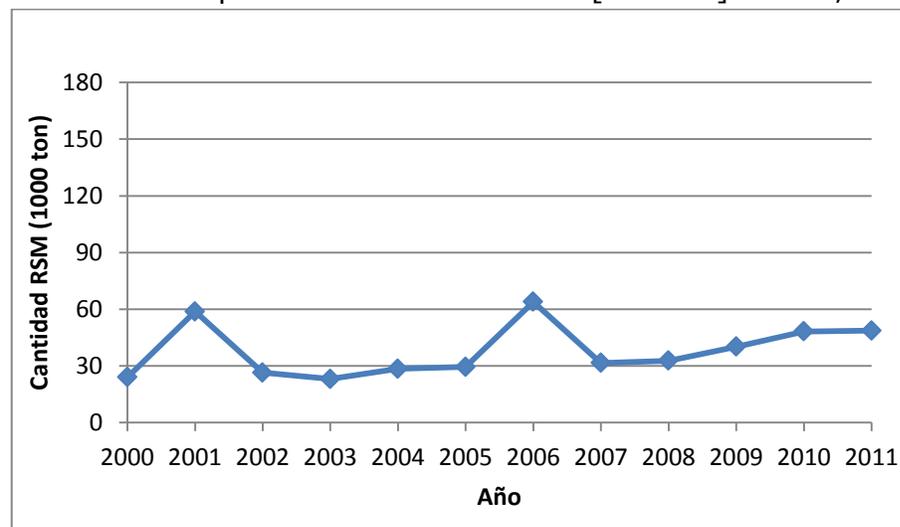


Gráfico 15: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, XI Región



El gráfico 7 muestra también que tanto en la región II como en la IX, se detectan dos registros fuera de norma. Para el caso de la región II, estos corresponden a los RSM de los años 2002 y 2003, mientras que para la región IX, corresponden a los años 2000 y 2009. A la vista del gráfico 16, se puede apreciar que la justificación de los outliers para la II región podría ser el brusco cambio de comportamiento de la serie entre el año 2003 y el 2004. Para el caso de la IX región, el gráfico 17 deja en evidencia que los registros de los años 2000 y 2009 no son consistentes con el resto de los valores de la serie.

Gráfico 16: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, II Región

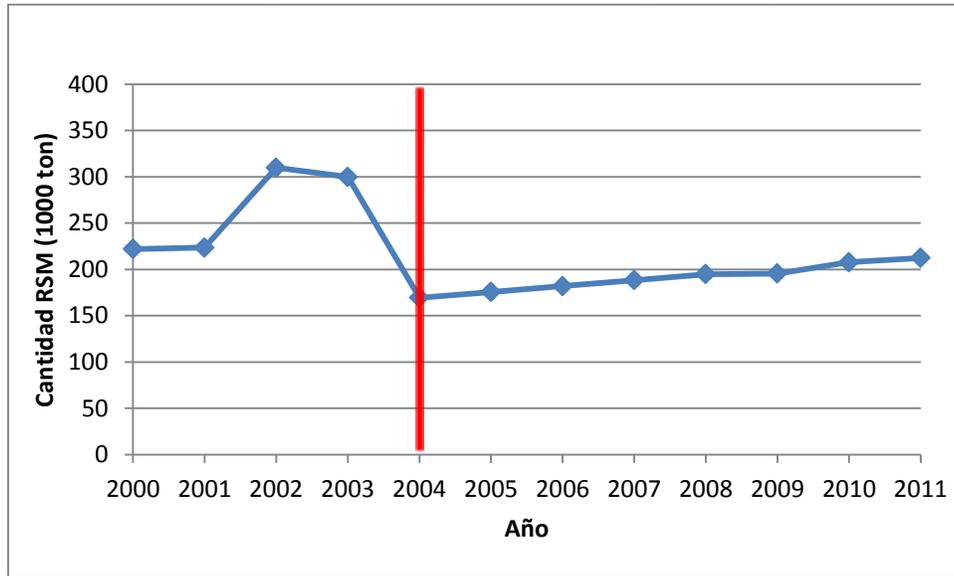
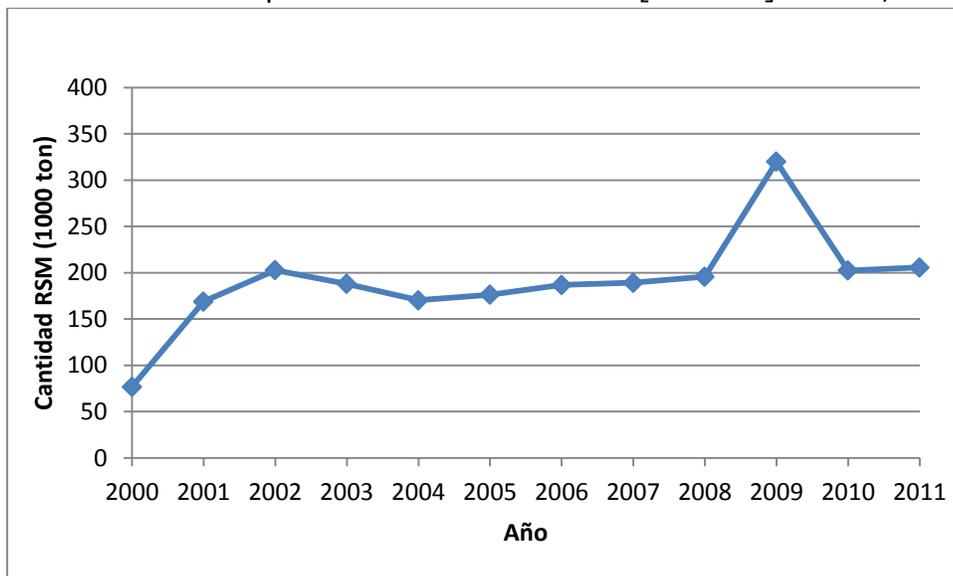


Gráfico 17: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, IX Región



Finalmente, el gráfico 7 muestra que para las restantes regiones (IV, VI, VII, X y XII) los RSM anuales presentan un comportamiento similar en cuanto a variabilidad, sin datos outliers. Los gráficos 18 a 22 confirman esta situación, pero también permiten observar que, exceptuando a la región VI, los RSM de las regiones de este grupo tienen un cambio de comportamiento entre los años 2003 al 2004. Por otra parte a partir de los gráficos 18 al 21 se aprecia que los registros del año 2009 presentan diferencias respecto a los restantes años del período.

Gráfico 18: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, IV Región

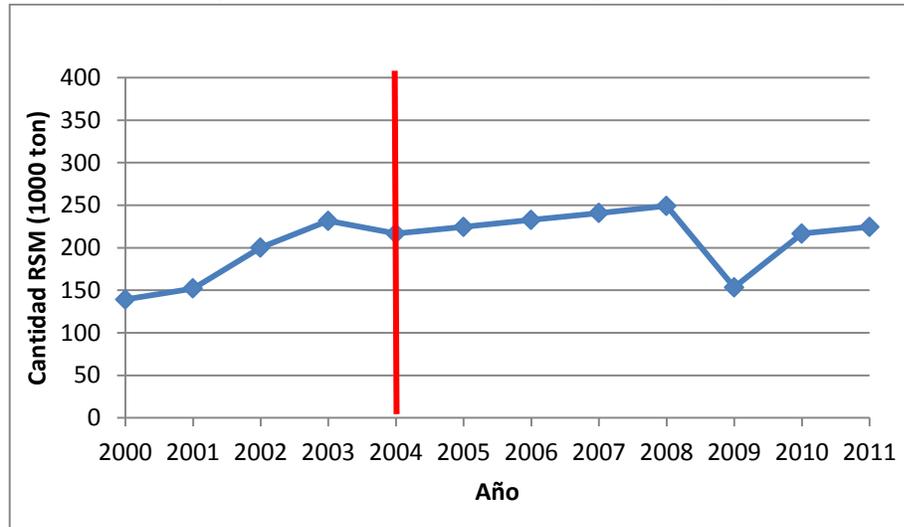


Gráfico 19: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, VI Región

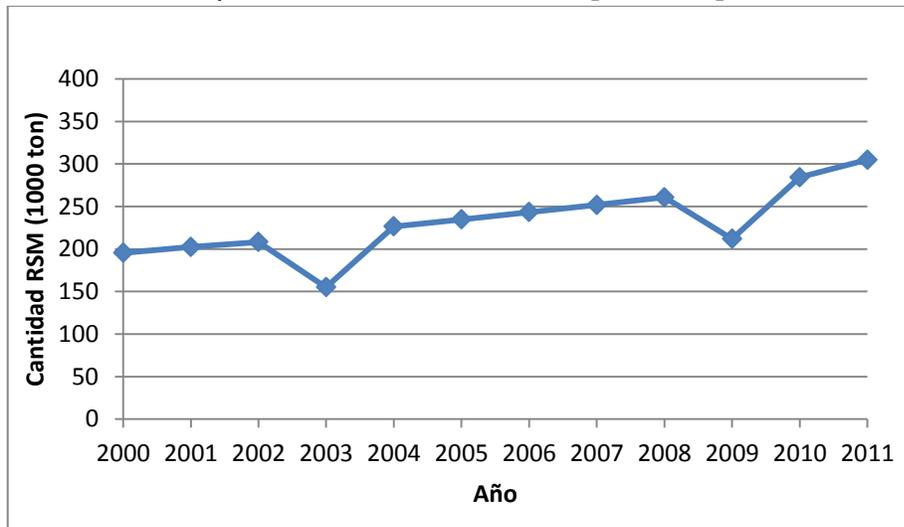


Gráfico 20: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, VII Región

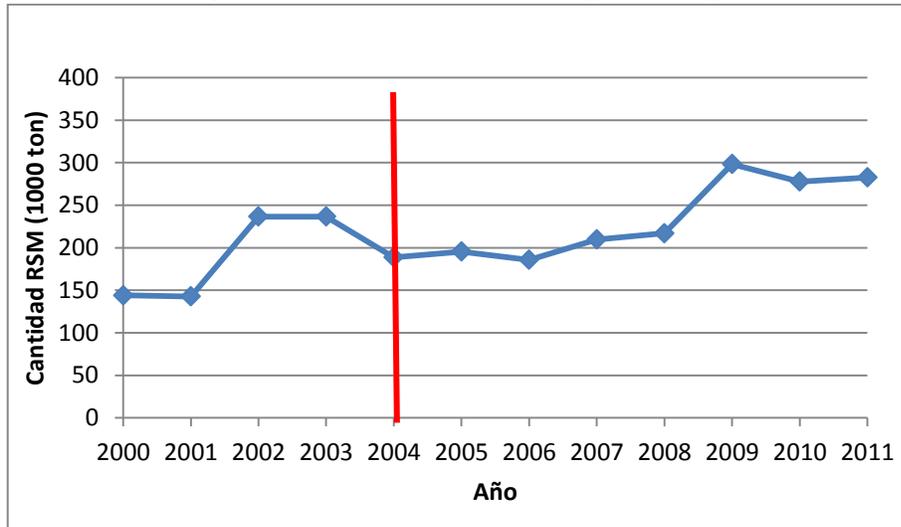


Gráfico 21: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, X Región

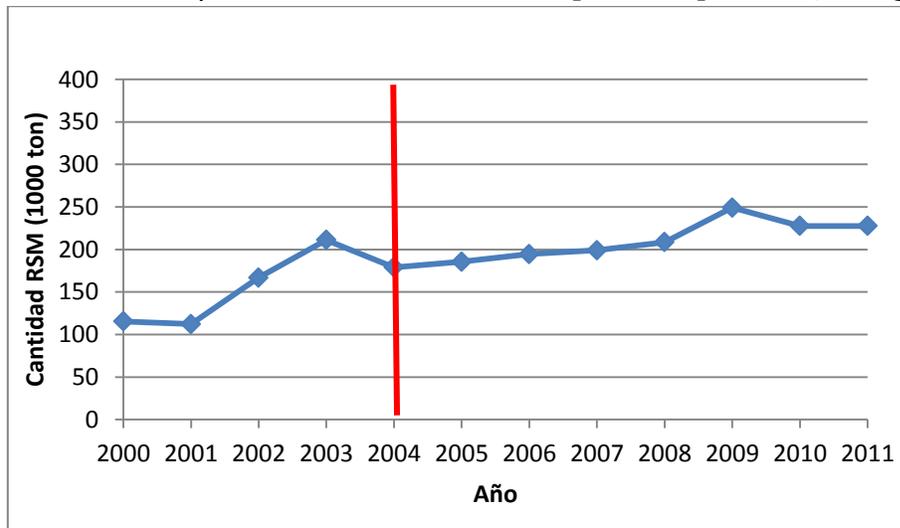
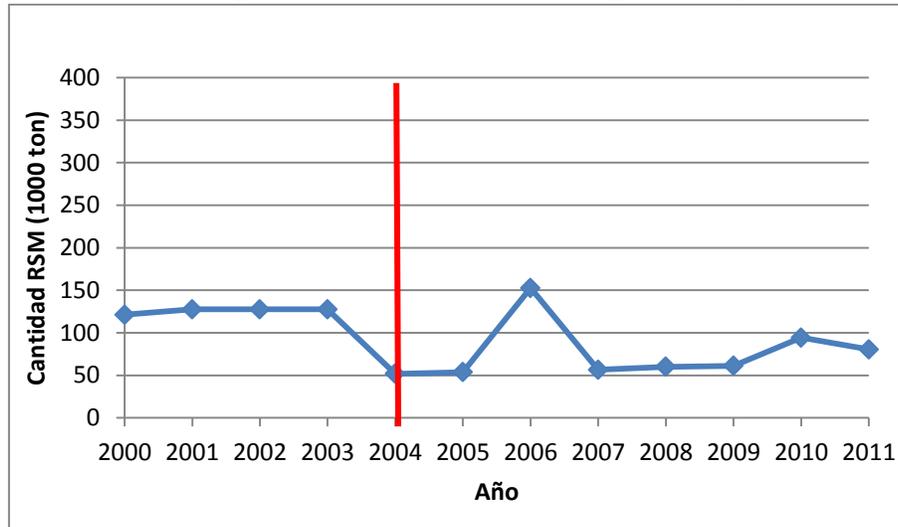


Gráfico 22: Serie Temporal 2000-2011 de los RSM [1000 ton] anuales, XII Región



✚ Resultado del análisis de las series de RSM, a nivel regional, período 2000-2011, proporcionado por expertos del MMA

A partir de la información proporcionada, era absolutamente indispensable la opinión de los expertos del MMA respecto a los valores de los Residuos Sólidos Municipales eliminados en sitios de disposición final, para las distintas regiones del país, período 2000-2011, identificados estadísticamente como incoherentes, a fin de justificar su eventual eliminación de la base de datos utilizada y su posterior estimación.

Recabada la opinión de expertos, la contraparte, a través de profesionales de la Sección de Residuos del Ministerio de Medio Ambiente, hizo entrega de la información que se muestra en la Tabla 6, donde se resalta con color rojo los datos que reconocieron como incoherentes.

Tabla 6. RSM anuales, período 2000-2011, con identificación de valores incoherentes, a juicio de expertos, por región

Región	Año											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
XV	36,99	47,33	47,31	47,31	55,77	57,79	73,49	61,99	78,72	110,00	51,76	52,66
I	53,61	68,59	68,57	68,57	80,82	83,75	73,19	89,83	78,40	181,66	86,59	97,90
II	222,00	223,44	309,78	299,87	169,37	175,51	181,87	188,24	194,83	195,41	207,65	212,29
III	79,80	79,80	98,66	98,66	79,12	81,99	56,87	87,94	91,01	103,68	79,05	91,78
IV	139,20	152,16	200,10	231,68	216,66	224,52	232,66	240,80	249,23	153,49	216,65	224,48
V	420,00	420,24	514,57	691,64	542,92	562,62	546,82	603,43	624,55	592,17	664,00	655,08
XIII	2405,43	2227,02	2140,90	2291,80	2326,35	2514,19	2691,02	2523,78	2658,19	2641,61	2763,44	2885,25
VI	195,60	202,44	208,21	155,18	226,64	234,86	243,37	251,89	260,71	211,95	284,37	304,95
VII	144,00	142,68	236,71	236,71	188,72	195,56	185,69	209,75	217,09	298,38	277,84	282,68
VIII	324,00	324,24	490,51	547,13	431,31	446,95	460,00	589,83	610,47	589,76	627,22	637,70
IX	76,80	168,84	202,64	187,94	170,14	176,31	186,74	189,10	195,72	319,86	202,28	205,59
XIV	64,65	62,92	93,55	118,41	100,36	104,00	105,42	115,55	112,93	126,21	122,00	135,00
X	115,35	112,28	166,93	211,28	179,09	185,58	194,67	199,04	208,53	249,19	227,71	227,71
XI	24,00	58,80	26,40	23,04	28,44	29,47	63,90	31,61	32,71	40,15	48,24	48,65
XII	121,20	127,56	127,55	127,56	51,82	53,70	152,66	56,58	60,13	61,20	94,25	80,41

Como se puede apreciar existe una gran coincidencia entre los datos considerados como incoherentes por ambas partes. Considerando la relevancia del conocimiento de los expertos respecto a este tipo de información, se acordó eliminar los datos detectados como outliers a juicio de los expertos y proceder a su estimación.

✚ Propuesta para imputación de datos atípicos

La técnica de imputación de datos a utilizar en este caso, en cada región, consiste en encontrar un modelo de regresión que ajuste razonablemente bien a los datos, sin considerar el o los valores identificados como incoherentes y, a partir de este modelo, estimar dicho(s) valor(es). Dado que en la mayoría de los casos, la serie aún presentaba mucha variabilidad, se procedió a suavizarla, para lo cual se aplicó el método de las medias móviles. En primer lugar se presenta los resultados obtenidos al utilizar las series de datos originales y, posteriormente, los obtenidos al trabajar con la serie de datos suavizada a través del método de medias móviles.

(1) Modelo de Regresión con series de datos originales:

De acuerdo al análisis gráfico definido anteriormente, a continuación se presenta los resultados obtenidos al analizar el ajuste de los datos a un modelo de regresión lineal simple ($RSM = \alpha + \beta * Año + \varepsilon$). La tabla 7 muestra, para cada región, los coeficientes de determinación (R^2) del modelo lineal y el correspondiente modelo estimado ($\widehat{RSM} = a + b * Año$). En los casos en que éste no ajustaba adecuadamente, la estimación del dato faltante se realizó mediante un modelo auto regresivo de orden 1 (AR1). Para efecto de este estudio, se considerará que el modelo lineal ajusta bien si su coeficiente de determinación (R^2) es mayor o igual al 70%.

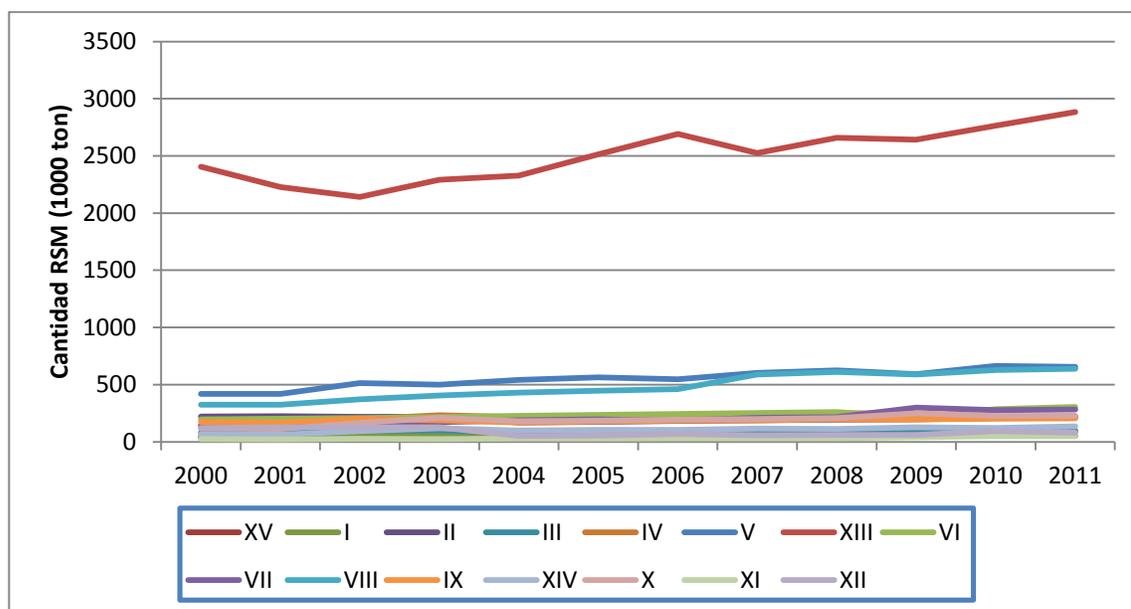
Tabla 7. Coeficientes de Determinación (R^2) del modelo de regresión ajustado sin datos atípicos, y Modelo Estimado, por región (*). Serie 2000-2011.

Región	(R^2)	Modelo Estimado
XV	27,8%	(+)
I	75,9%	$\widehat{RSM} = -5921,25 + 2,99 * Año$
II	2,8%	(+)
III	5,1%	(+)
IV	48,6%	(+)
V	90,6%	$\widehat{RSM} = 42282,79 + 21,36 * Año$
VI	70,7%	$\widehat{RSM} = 15675,54 + 7,93 * Año$
VII	86,2%	$\widehat{RSM} = 27980,53 + 14,05 * Año$
VIII	93,6%	$\widehat{RSM} = 64184,06 + 32,25 * Año$
IX	38,2%	(+)
XI	83,6%	$\widehat{RSM} = 4643,69 + 2,33 * Año$
XII	36,4%	(+)

(*) Las regiones VIII, X y XIV no presentaron datos atípicos.

(+) Las estimaciones de los datos faltantes se realizaron a través de un modelo AR1

Gráfico 23: Residuos Sólidos Municipales anuales, a nivel regional, período 2000-2011, con datos atípicos estimados.



(2) *Modelo de Regresión con series de datos suavizada*⁴:

Uno de los métodos de suavizamiento más utilizados para visualizar la tendencia en series de datos temporales es el de las Medias Móviles. Este método consiste en fijar un número k , preferentemente impar, como 3, 5, 7, etc., y calcular los promedios de todos los grupos de k términos consecutivos de la serie. Se obtiene así una nueva serie suavizada con promedios móviles de orden k . Esta nueva serie filtra o suaviza los efectos ajenos a la tendencia tales como estacionalidad, variaciones aleatorias (Galbiati, 2007).

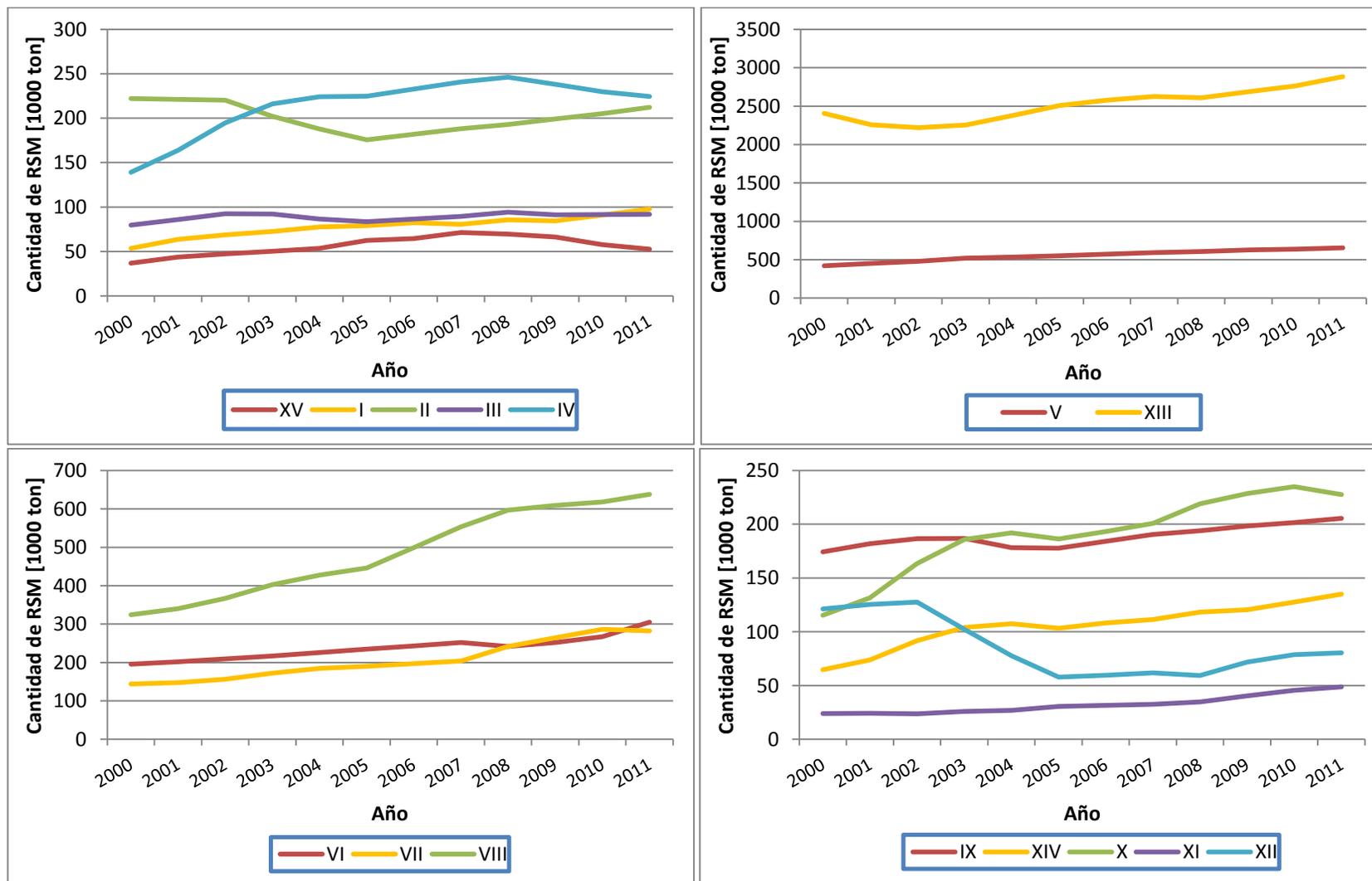
Considerando que al suavizar los datos mediante las medias móviles, en general, se pierden términos en cada extremo y, que en este caso se dispone de una serie con pocos términos, para el cálculo de la nueva serie suavizada se utilizó los valores de $k=2$ y 3, obteniendo mejores resultados (en función de los coeficientes de determinación de las rectas de regresión ajustadas) para $k=3$. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla y en los gráficos siguientes.

⁴ En la referencia a continuación se encuentra en detalle el procedimiento utilizado para modelo de regresión con serie de datos suavizada o modelos autorregresivos [©2004 Bernardí Cabrer Econometría Empresarial II · Tema 8.](#)

Tabla 8. RSM anuales (1000 t), período 2000-2011, con datos incoherentes estimados y suavizados con medias móviles centradas de orden k=3. (Los valores para el año 2000 y 2011 corresponden a los valores originales)

Región	Año											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
XV	37,0	43,9	47,3	50,1	53,6	62,4	64,4	71,4	69,7	66,3	57,6	52,7
I	53,6	63,6	68,6	72,7	77,7	79,3	82,3	80,5	85,6	84,6	91,1	97,9
II	222,0	221,2	220,2	202,1	188,0	175,6	181,9	188,3	192,8	199,3	205,1	212,3
III	79,8	86,1	92,4	92,1	86,6	83,5	86,5	89,5	94,2	91,2	91,5	91,8
IV	139,2	163,8	194,6	216,1	224,3	224,6	232,7	240,9	246,1	238,1	229,8	224,5
V	420,0	451,6	478,4	519,3	535,4	550,8	571,0	591,6	606,7	626,9	637,1	655,1
XIII	2405,4	2257,8	2219,9	2253,0	2377,4	2510,5	2576,3	2624,3	2607,9	2687,7	2763,4	2885,3
VI	195,6	202,1	209,2	217,3	226,2	235,0	243,4	252,0	241,5	252,3	267,1	305,0
VII	144,0	147,8	156,7	172,0	185,0	190,0	197,0	204,2	241,7	264,4	286,3	282,7
VIII	324,0	340,1	366,8	402,5	427,5	446,1	498,9	553,4	596,7	609,2	618,2	637,7
IX	174,4	182,0	186,5	186,9	178,1	177,7	184,1	190,5	193,9	198,3	201,6	205,6
XIV	64,7	73,7	91,6	104,1	107,6	103,3	108,3	111,3	118,2	120,4	127,7	135,0
X	115,4	131,5	163,5	185,8	192,0	186,4	193,1	200,7	218,9	228,5	234,9	227,7
XI	24,0	24,1	23,8	26,0	27,0	30,5	31,5	32,6	34,8	40,4	45,7	48,7
XII	121,2	125,4	127,6	102,3	77,7	58,0	59,5	61,7	59,3	71,9	78,6	80,4

Gráfico 24: Series suavizadas de Residuos Sólidos Municipales anuales, a nivel regional, período 2000-2011, con datos atípicos estimados.



CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para este estudio, en primer lugar se analiza gráficamente los Residuos Sólidos Municipales, en miles de toneladas, eliminados en sitios de disposición final, para las distintas regiones del país, período 2000-2011, información proporcionada por la Sección Residuos del Ministerio del Medio Ambiente, corregida al 24 de Octubre del 2013. A través de este análisis, se pudo apreciar que las series temporales de los RSM, período 2000-2011, presentan un comportamiento similar entre grupos de regiones y que varias de ellas contienen datos que se escapan a la tendencia, los que, por lo general se presentan en los años 2003, 2006 y 2009.

La revisión bibliográfica de los antecedentes acerca de los factores que podrían incidir en la variabilidad de la información relativa a la cantidad, de Residuos Sólidos Municipales eliminados en sitios de disposición final, no proporcionó elementos que pudieran justificar la existencia de los datos incoherentes encontrados en las series temporales de varias regiones.

De acuerdo a la opinión de los expertos presentes en el taller de discusión realizado para analizar la presencia de datos incoherentes en las series bajo estudio, una posible justificación de ello es que en las diferentes regiones no existe un método único de registro, tanto desde el punto de vista de los procedimientos de medición como de la temporalidad de ella. Al respecto, se sugiere homogeneizar los instrumentos de medición de los datos, además de sistematizar los períodos de evaluación a menores intervalos de tiempo y a unidades político administrativas menores. Es decir, disminuir al menos a intervalos mensuales, el registro de los RSM, en cada una de las regiones y/o recopilar la información al menos a nivel de provincias de cada región.

Posteriormente, se procedió a la aplicación de distintos métodos de imputación de datos, que permitieran estimar los datos identificados estadísticamente como incoherentes, que fueron ratificados como tal mediante por profesionales de la Sección de Residuos del Ministerio de Medio Ambiente.

Pese a la argumentación anterior, se continuó aplicando algunas técnicas estadísticas que permitieran obtener, para cada región, una serie de tiempo coherente según la visión de ambos profesionales a cargo de la elaboración del catastro. En esta etapa es necesario puntualizar que no es posible garantizar que las estimaciones de dichos datos sean las adecuadas, dado que la efectividad de las técnicas aplicadas depende de la cantidad y calidad de los registros de la serie y en el caso de este estudio cada serie contiene sólo 12 datos por región y de un origen, al menos cuestionable.

Dando cumplimiento al objetivo general del estudio, finalmente se presenta una tabla y gráficos con las series ajustadas.

ANEXO:

CÁLCULO DE LAS MEDIAS MÓVILES CENTRADAS

Aunque existen diversos métodos para pronosticar o estimar valores de una serie cronológica, uno de los más simples de aplicar es el de Medias Móviles, el cual supone que todas las observaciones de la serie son igualmente importantes para la estimación del parámetro.

Mediante esta técnica se construye una nueva serie a partir de la media de un número **k** de datos, en la que se va añadiendo sucesivamente un dato nuevo y quitando, al mismo tiempo, el más antiguo de los datos incluidos en la media anterior.

La expresión general para calcular una **media móvil simple de orden k**, para el tiempo **t**, está dada por:

$$MM_t = \frac{y_t + y_{t-1} + \dots + y_{t-k+1}}{k}$$

Esta expresión se utiliza habitualmente para efectos de pronóstico.

En esta técnica elemental de predicción, mientras más grande sea **k**, mayor será la influencia de los datos antiguos. En contrapartida, si se selecciona un valor de **k** pequeño, se tendrán en cuenta datos más recientes para nuestra predicción.

De acuerdo a lo enunciado, es claro que la elección de **k** influenciará decisivamente en la predicción. Así, si se elige un valor de **k** pequeño, nuestra predicción tendrá una alta capacidad para responder rápidamente ante fluctuaciones o variaciones significativas en los datos de un período a otro. Sin embargo, la predicción en este caso estará altamente influenciada por efectos aleatorios. Por otro lado, la elección de un **k** muy alto provocará que, aunque se filtre la existencia de efectos aleatorios, nuestras predicciones presenten una adaptación lenta ante fluctuaciones significativas en los datos de períodos más recientes, ya que dicha predicción estará teniendo en cuenta el valor de datos antiguos.

Aunque en la práctica, los valores de **k** oscilan entre 2 y 10, es necesario advertir que la elección de **k**, depende fundamentalmente de la cantidad de datos disponibles en la serie y de los resultados que se obtienen, puesto que la aplicación de esta técnica para el suavizamiento de una serie completa, implica la pérdida de **k** o **k-1** observaciones, dependiendo del valor de **k**.

Cuando se trata de suavizar la serie completa, se recomienda el cálculo de **medias móviles centradas de orden k** , la cual implica el mismo cálculo anterior, pero cuyo resultado estima al valor de la serie que se encuentra en el lugar mediano del período de las observaciones consideradas en el cálculo.

A modo de ejemplo, si se tiene una serie de 12 datos, la serie suavizada que se obtiene mediante la técnica de Medias Móviles centradas de orden 3, sólo contiene 10 observaciones, (no es posible calcular MM_1 ni MM_{12}), las cuales se calculan como sigue:

$$MM_2 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}; \quad MM_3 = \frac{y_2 + y_3 + y_4}{3}; \quad MM_4 = \frac{y_3 + y_4 + y_5}{3}$$

Y así sucesivamente hasta

$$MM_{11} = \frac{y_{10} + y_{11} + y_{12}}{3}$$