

Proyectando los efectos de estrategias de adaptación en el consumo residencial de agua en Santiago

26 Agosto 2016

O. Melo, S. Vicuña, M. Gil, M. Molinos, J. Gironás, J. Herrera, S. Reyes



Centro UC
Cambio Global



FACULTAD DE
AGRONOMÍA E
INGENIERÍA FORESTAL

Motivación

Proyecciones existentes indican:

- creciente demanda: población, ingresos
- Reducción en oferta (Vicuña et al. 2014, Meza et al. 2014, Bonelli et al. 2014, Ragettli et al. 2016)

Medidas son de larga implementación

Otros estudios abordan oferta e implicancias regulatorias

Objetivos

Hacer una indagación inicial que oriente futuras líneas de trabajo

- a) Caracterizar el consumo de agua potable
- b) Identificar medidas de adaptación
- c) Desarrollar tres escenarios con efectos de medidas
 - Establecer escenario de base actual y futuro
 - Desarrollar medidas de adaptación
 - Desarrollar escenarios de adaptación

Principales Fuentes de Datos

- Encuesta representativa de viviendas del gran Santiago: Centro de Cambio Global y DESUC de la Universidad Católica, 2013
- Consumo de agua mensual 2011-2014: Aguas Andinas, y SMAPA
- Tarifas 2011-2014 y consumo artefactos: Superintendencia de Servicios Sanitarios
- Proyecciones poblacionales 2030: IFARLE 2016
- Casen varios años: caracterización hogares y viviendas por comuna
- Datos climáticos: Dirección Meteorológica de Chile, 2011-2014

Establecer escenario de base actual y futuro

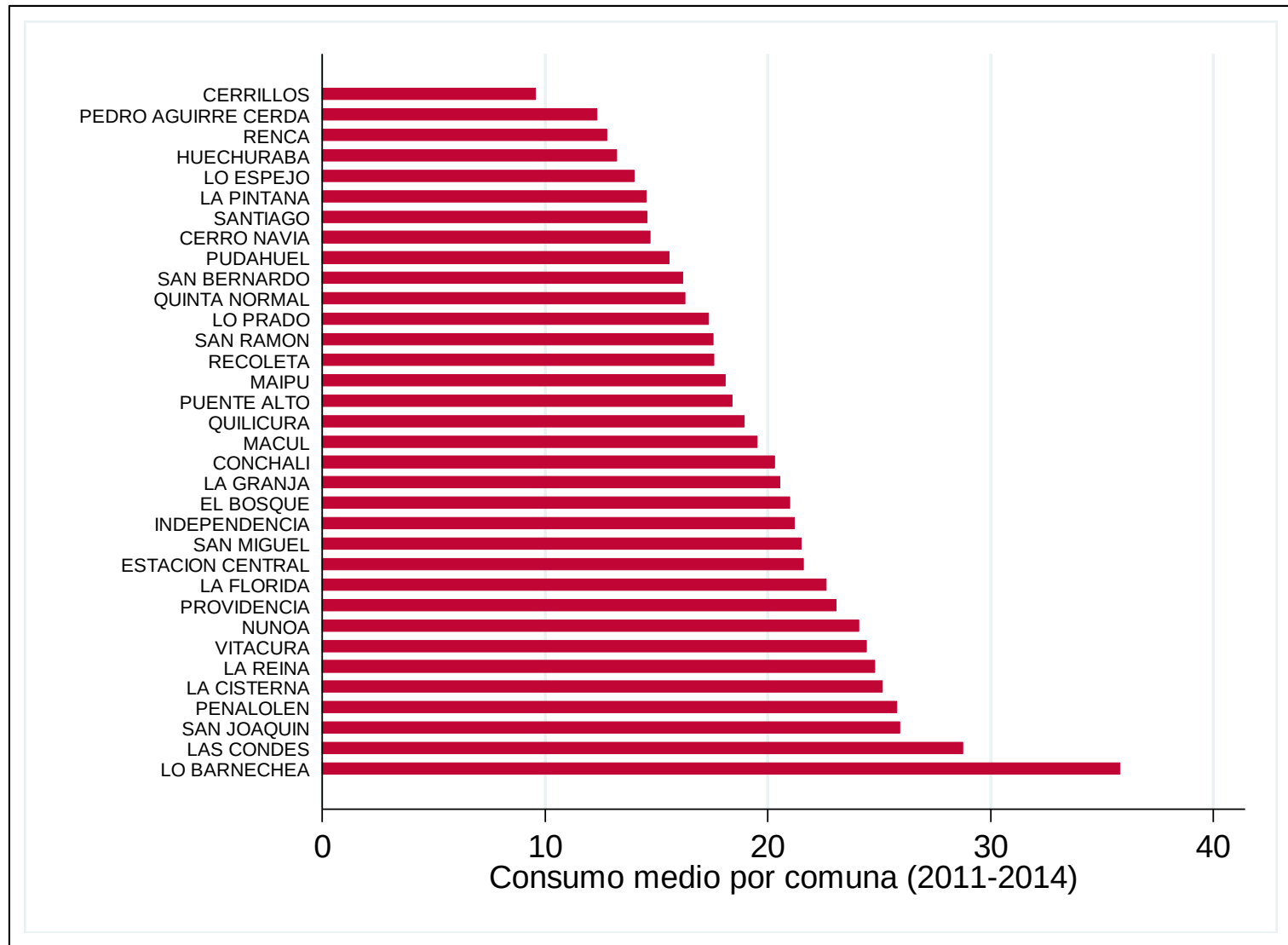
Consumo residencial a nivel comunal

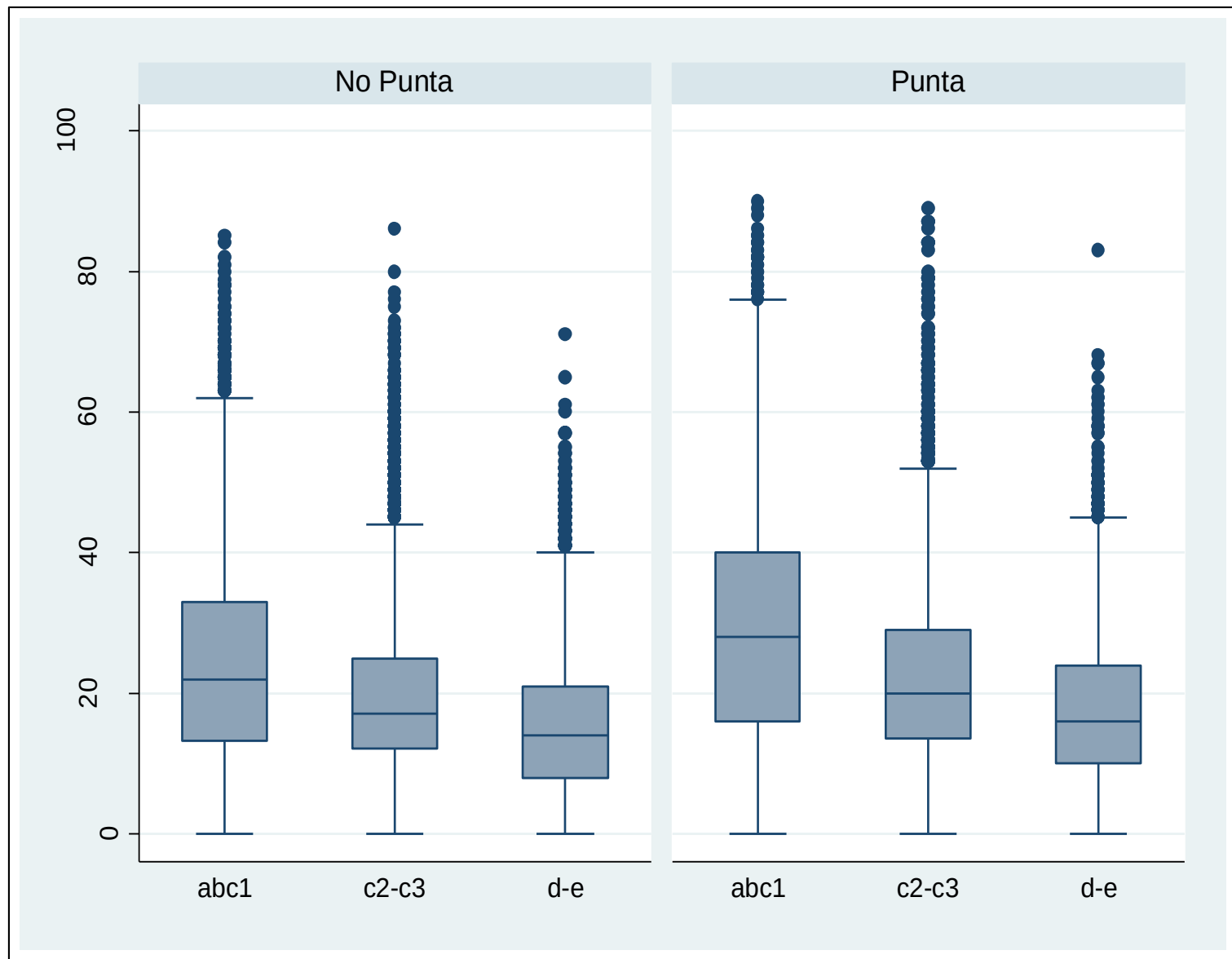
$$CM_{m,c}^a = N_c^a \sum_j (\gamma_{j,c}^a * \alpha_{c,m} * CR_{c,j,m}^a)$$

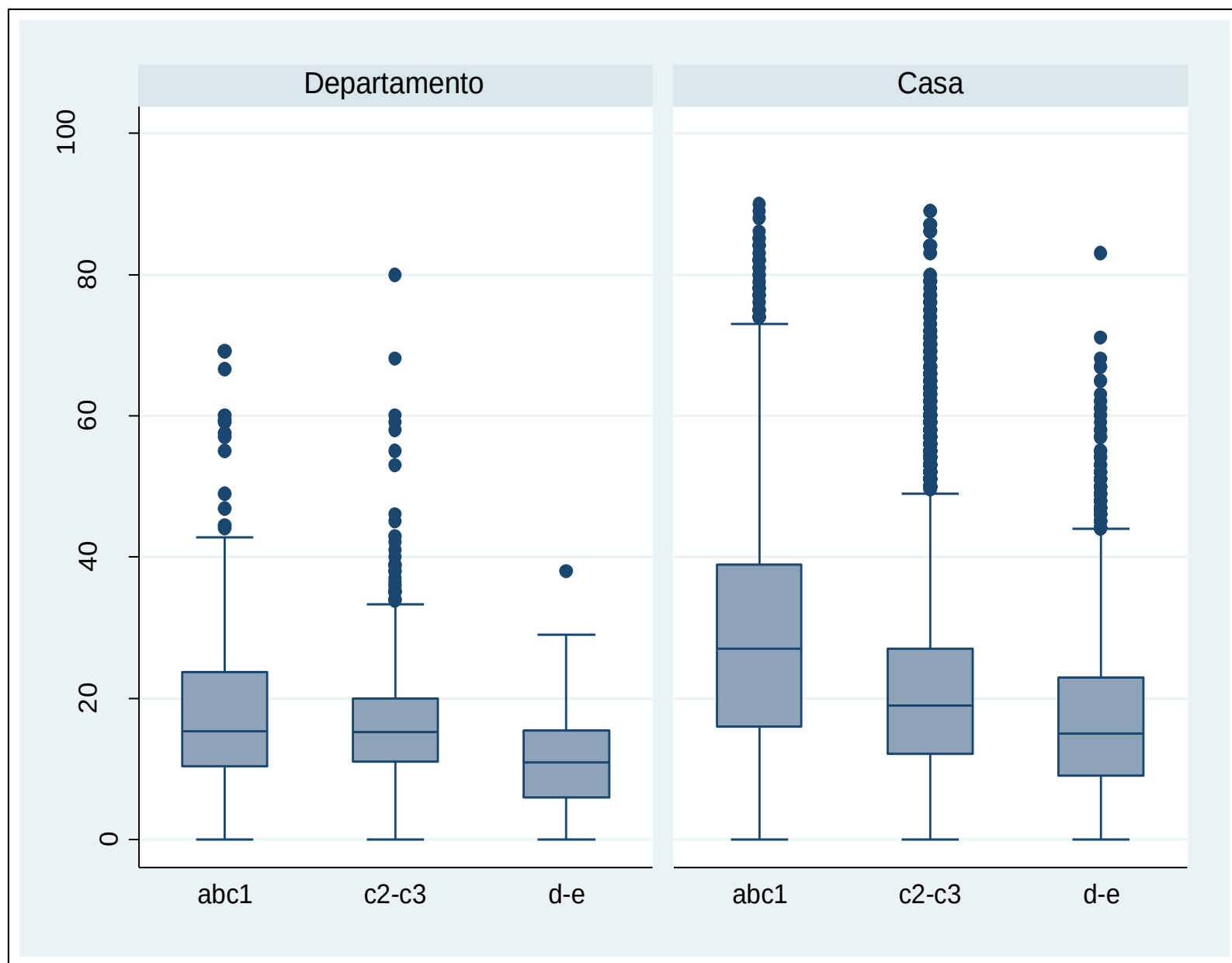
- $CM_{m,c}^a$: consumo en mes m , comuna c , año a
- N_c^a : Numero total de clientes en comuna c , año a
- $\gamma_{j,c}^a$: porcentaje de clientes en perfil j en comuna c y año a
- $\alpha_{c,m}$: factor de ajuste a nivel comunal y mensual
- $CR_{c,j,m}^a$: consumo cliente perfil $j = f(temp^a, periodo\ punta, Lo\ Barnechea)$. Perfil: tipo vivienda, baños, integrantes, ingresos
- $CRA_{c,j,m}^a = \alpha_{c,m} * CR_{c,j,m}^a$ = consumo unitario ajustado

a : año (actual o futuro); m : mes; c : comuna; j : perfil hogar

Caracterización







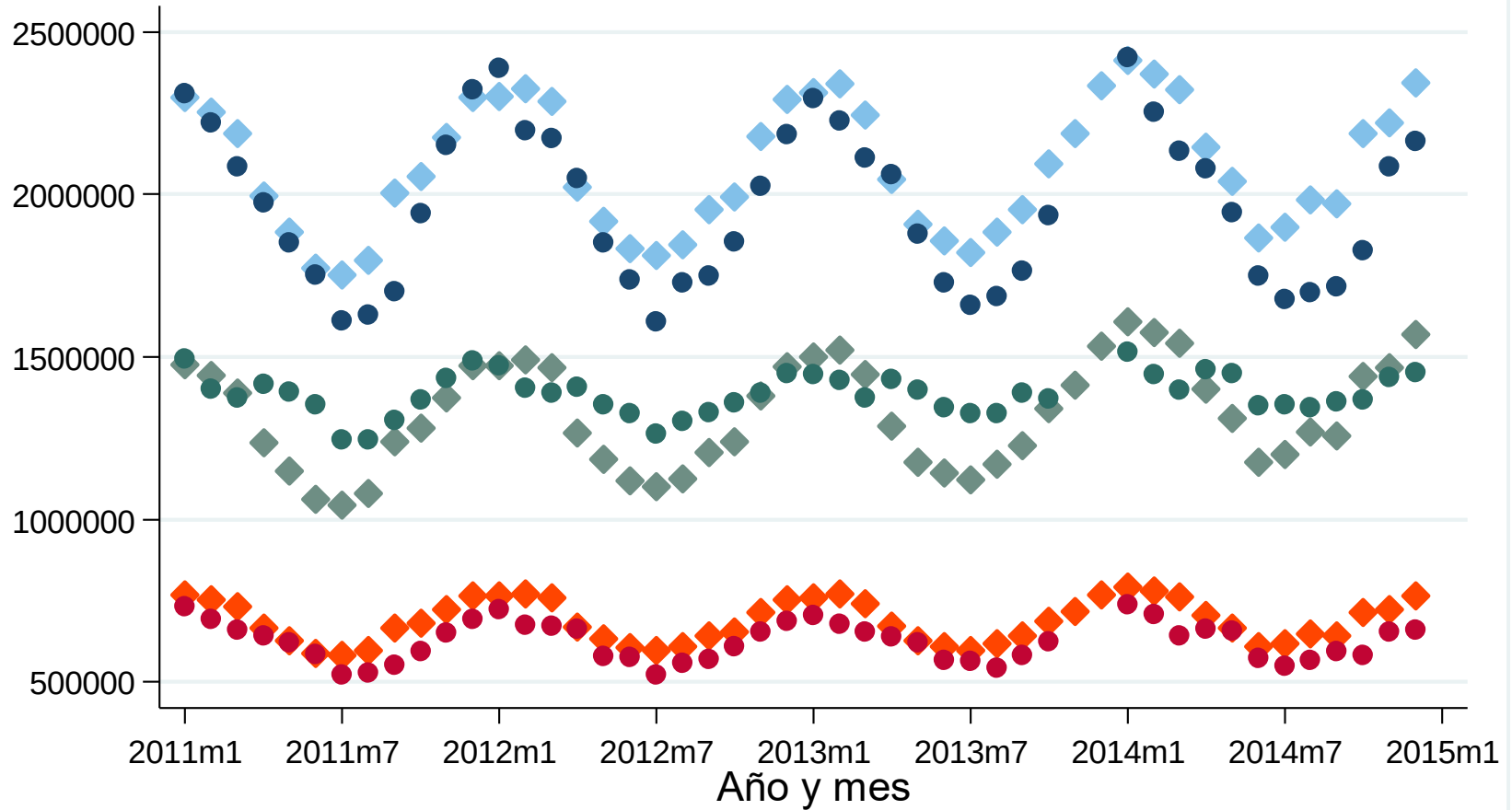
Resultados de Modelo

$$CM_{m,c}^a = N_c^a \sum_j (\gamma_{j,c}^a * \alpha_{c,m} * \mathbf{CR}_{c,j,m}^a)$$

- $CM_{m,c}^a$: consumo en mes m , comuna c , año a
- N_c^a : Numero total de clientes en comuna c , año a
- $\gamma_{j,c}^a$: porcentaje de clientes en perfil j en comuna c y año a
- $\alpha_{c,m}$: factor de ajuste a nivel comunal y mensual
- $CR_{c,j,m}^a$: consumo cliente perfil $j = f(temp^a, periodo\ punta, Lo\ Barnechea)$. Perfil: tipo vivienda, baños, integrantes, ingresos
- $CRA_{c,j,m}^a = \alpha_{c,m} * CR_{c,j,m}^a$ = consumo unitario ajustado

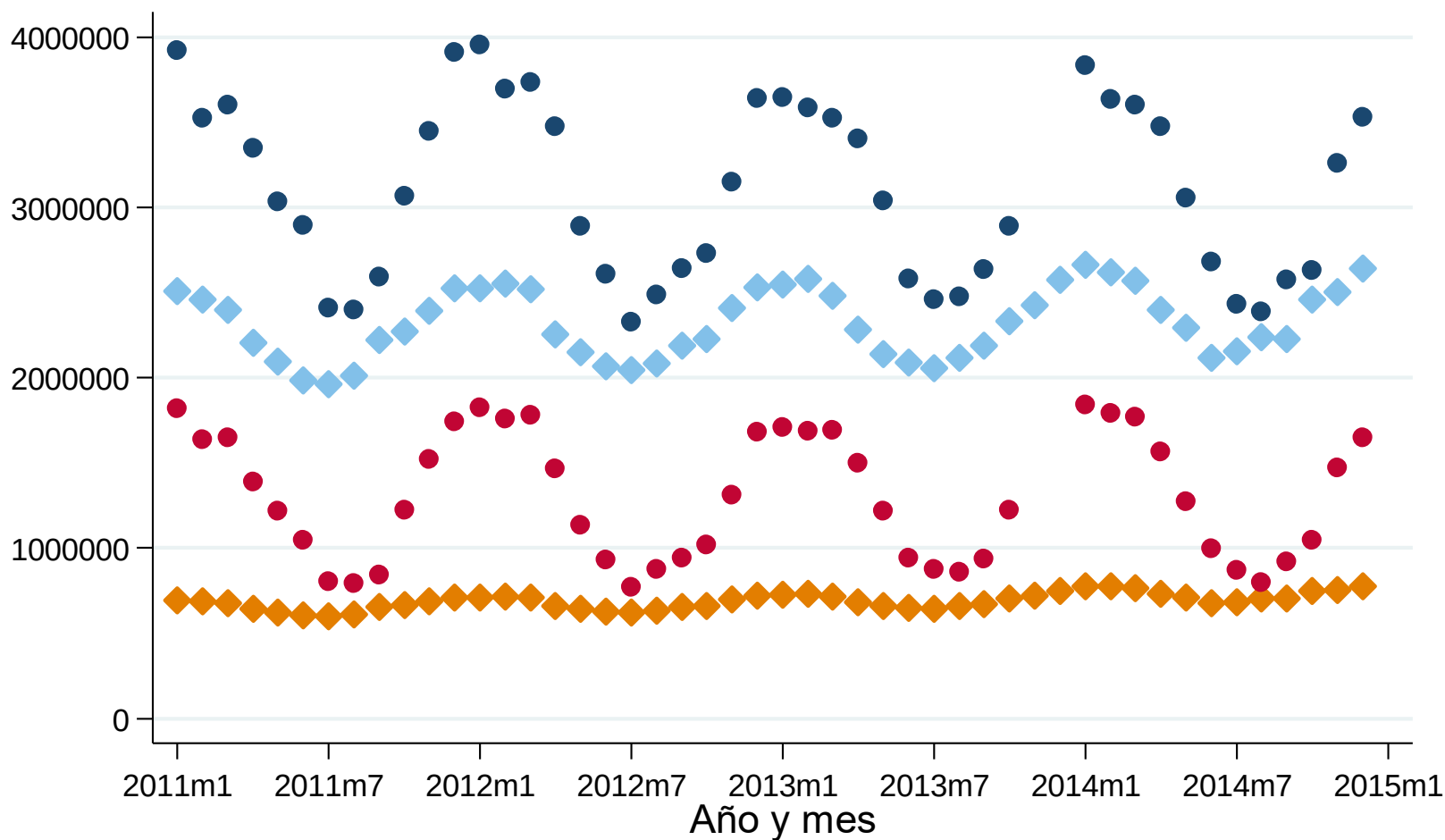
a : año (actual o futuro); m : mes; c : comuna; j : perfil hogar

Consumo mensual comparado MODELO SIN AJUSTAR



- La Florida (modelo)
- Santiago (modelo)
- Recoleta (modelo)
- La Florida (observado)
- Santiago (observado)
- Recoleta (observado)

Consumo mensual comparado MODELO SIN AJUSTAR



- Las Condes (modelo)
- Lo Barnechea (modelo)
- Las Condes (observado)
- Lo Barnechea (observado)

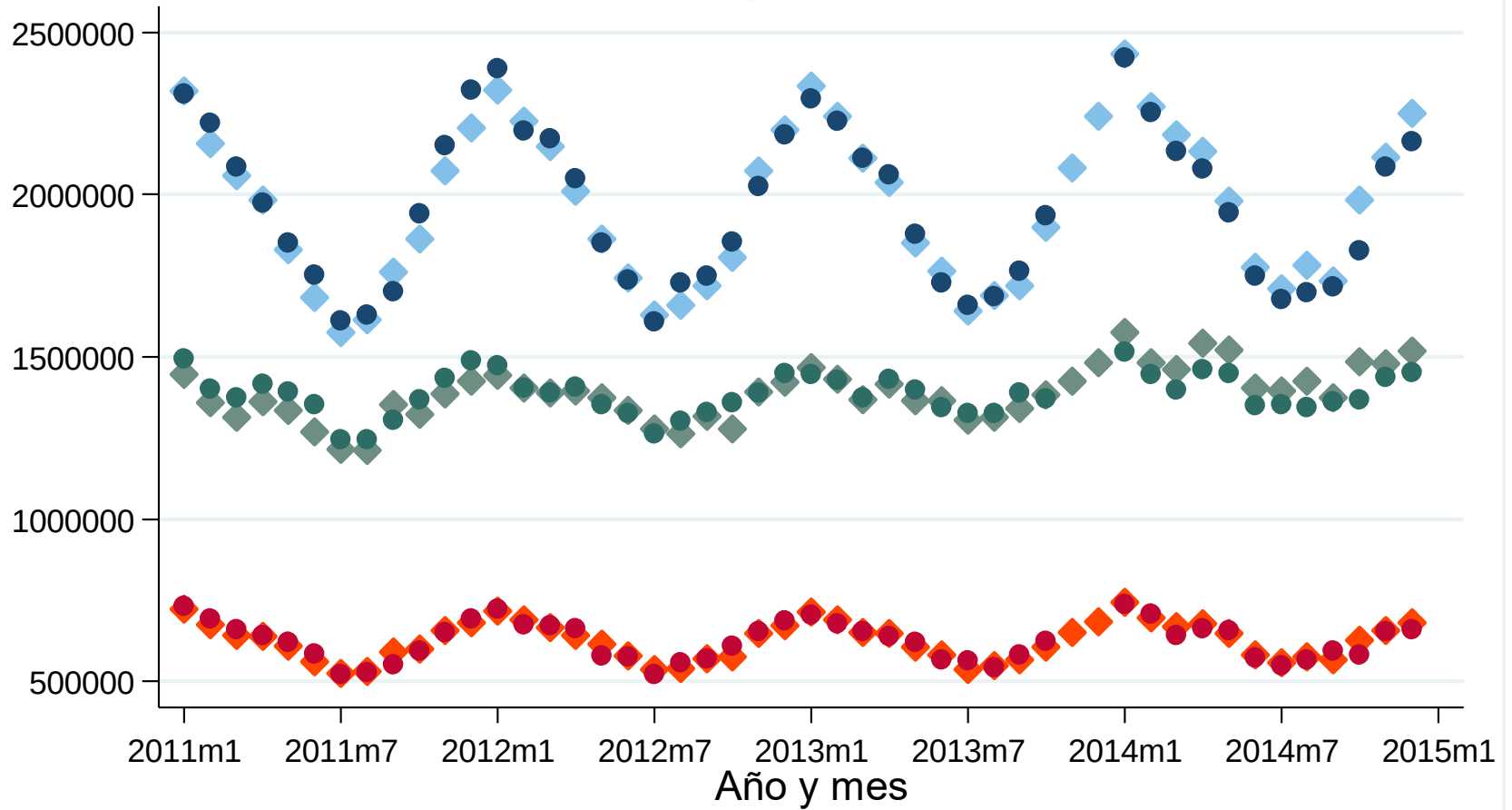
Resultados de Modelo

$$CM_{m,c}^a = N_c^a \sum_j (\gamma_{j,c}^a * \alpha_{c,m} * \mathbf{CR}_{c,j,m}^a)$$

- $CM_{m,c}^a$: consumo en mes m , comuna c , año a
- N_c^a : Numero total de clientes en comuna c , año a
- $\gamma_{j,c}^a$: porcentaje de clientes en perfil j en comuna c y año a
- $\alpha_{c,m}$: factor de ajuste a nivel comunal y mensual
- $CR_{c,j,m}^a$: consumo cliente perfil $j = f(temp^a, periodo\ punta, Lo\ Barnechea)$. Perfil: tipo vivienda, baños, integrantes, ingresos
- $CRA_{c,j,m}^a = \alpha_{c,m} * CR_{c,j,m}^a$ = consumo unitario ajustado

a : año (actual o futuro); m : mes; c : comuna; j : perfil hogar

Consumo mensual comparado MODELO AJUSTADO



◆ La Florida (modelo ajustado)

◆ Santiago (modelo ajustado)

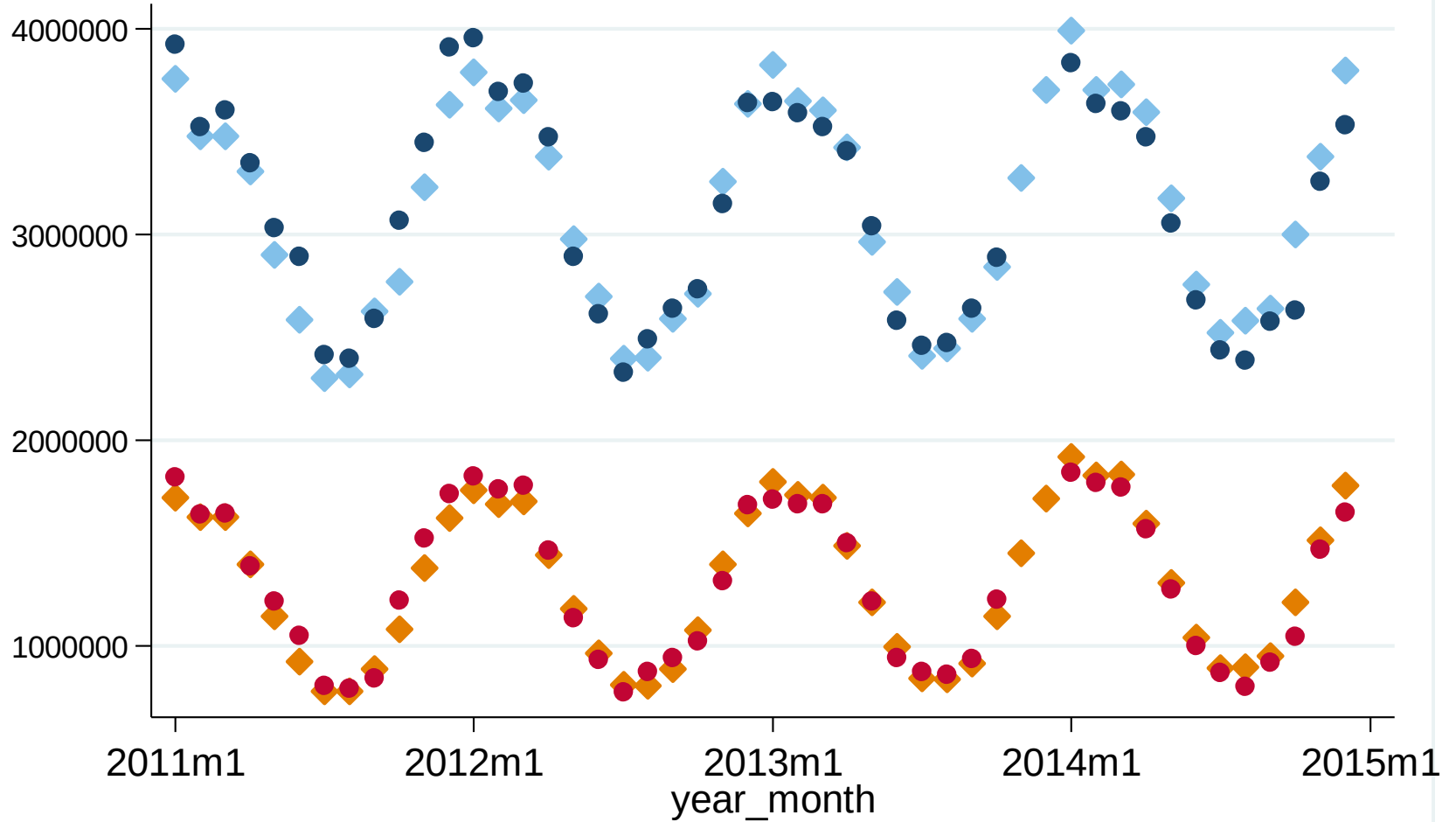
◆ Recoleta (modelo ajustado)

● La Florida (observado)

● Santiago (observado)

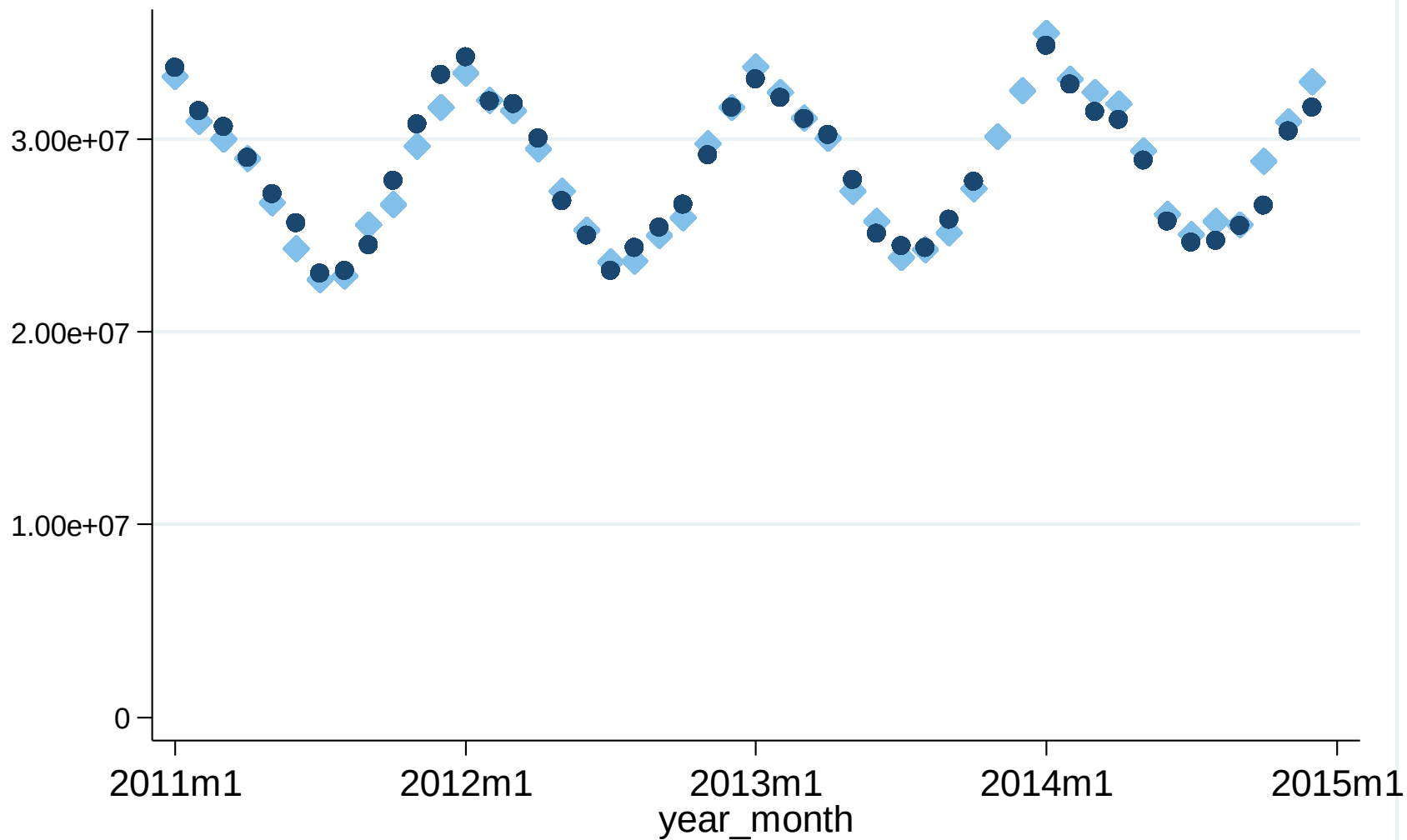
● Recoleta (observado)

Consumo mensual comparado MODELO AJUSTADO



- Las Condes (modelo ajustado)
- Lo Barnechea (modelo ajustado)
- Las Condes (observado)
- Lo Barnechea (observado)

Consumo total Gran Santiago (observado y modelado AJUSTADO mensual)

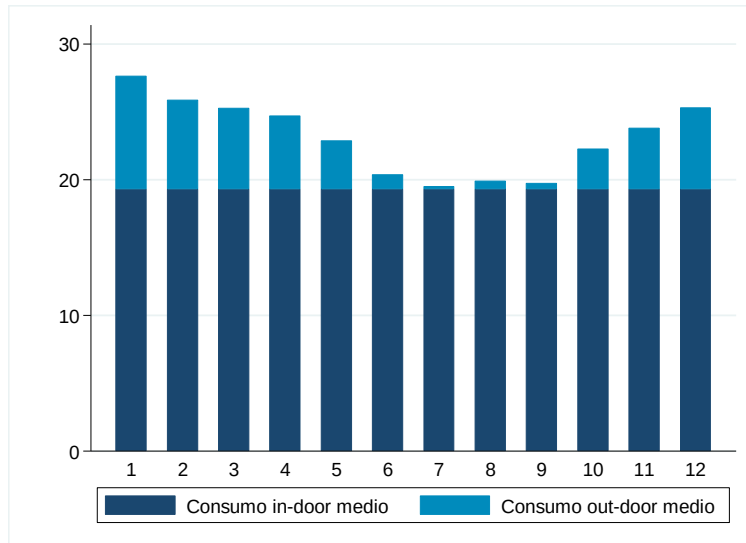


Consumo ajustado Consumo observado

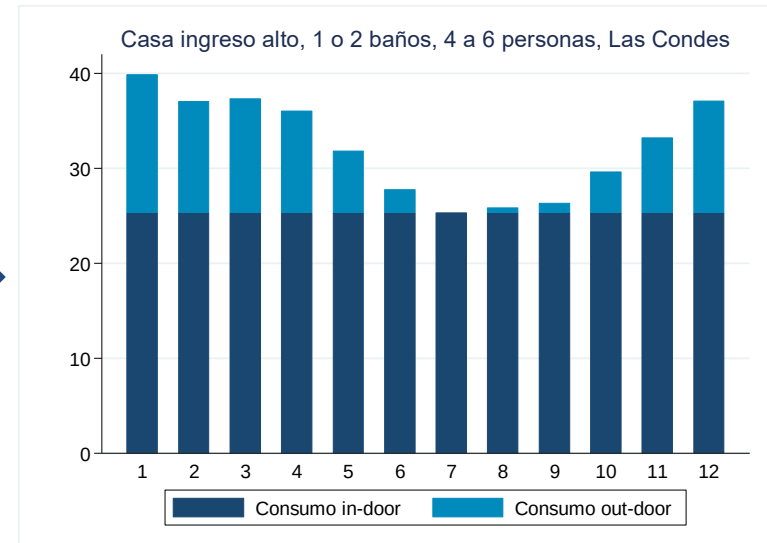
Desagregación del consumo

Consumo del hogar: $CRA_{c,m,j}^a$:

- In-door: consumo mínimo mensual ($\min CRA_{c,m,j}^a$)
- Out-door: $Coutdoor_{c,m,j}^a = CRA_{c,m,j}^a - \min CRA_{c,m,j}^a$

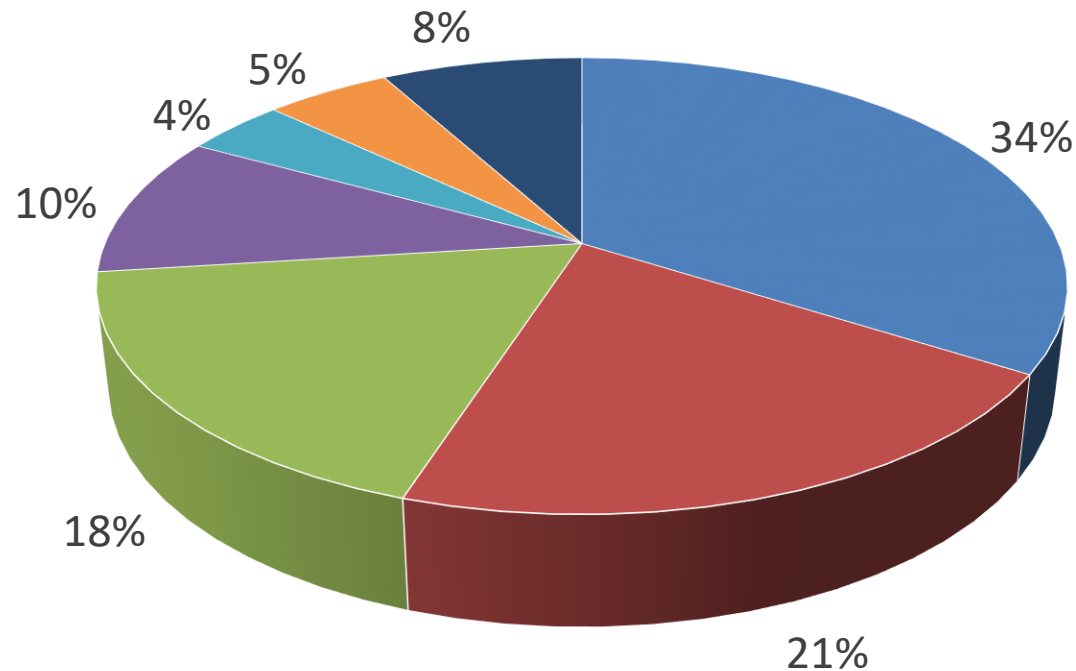


ejemplo



Desagregación del consumo indoor

Porcentaje de consumo en el interior del hogar



■ Ducha con regulador de flujo ■ Inodoro ■ Lavabo ■ Lavadora ■ Cocina ■ Lavadora ■ Otros

Fuente: SISS (2014) y VVEE (2009)

Desagregación del consumo indoor

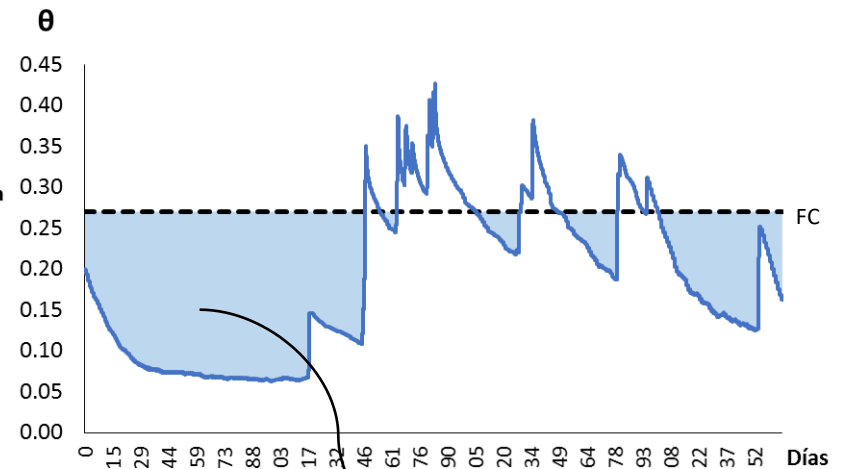
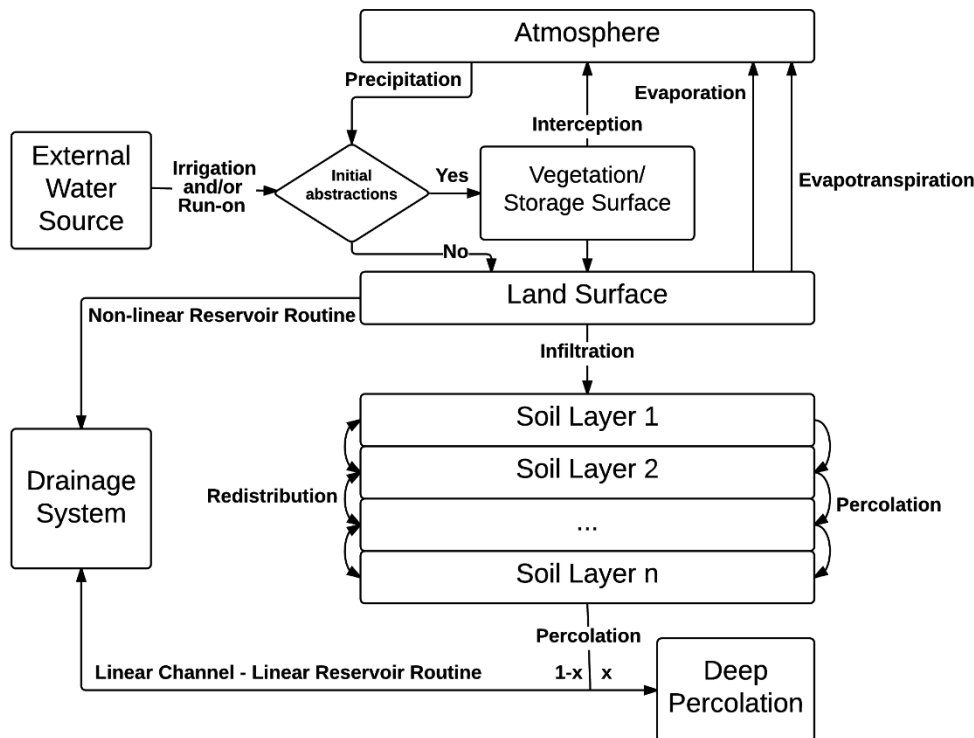
Variable	Porcentaje		
	Nivel socioeconómico		
	Bajo (<\$350.000)	Medio (<\$350.000<x<\$800.000)	Alto (>\$800.000)
Duchas con regulador de flujo por ducha (tenencia)	44.95	54.55	59.49
Todas las duchas con regulador de flujo	41.28	45.45	21.52
Inodoros de ultra bajo consumo por inodoro (tenencia)	21.56	32.32	
Todos los inodoros son de ultra bajo consumo	20.96	25.32	
Inodoros de doble descarga por inodoro	7.69	12.10	20.77
Todos los inodoros son de doble descarga	7.10	9.55	10.93
Lavadora (tenencia)	94.35	97.50	97.41
Lavavajillas (tenencia)	1.13	2.50	15.03

Desagregación del consumo outdoor

Riego a nivel hogar = $RT^{hogar} = c_c * S * P$ (S= superficie; P = % césped)

Consumo por superficie de césped = $c_c = \frac{\beta c_e}{\eta}$; c_e = modelo de base física IHMORS

IHMORS



$$v_{pasto} = 0.336 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Desagregación del consumo outdoor

		Porcentaje		
		Nivel socioeconómico		
		Bajo (<\$350.000)	Medio (<\$350.000<x<\$800.000)	Alto (>\$800.000)
Tamaño del patio	1 hasta 10 m ²	21.8	13.85	9.49
	2 10-25 m ²	30.08	23.08	13.29
	3 25-50 m ²	17.29	21.54	17.09
	4 50-100 m ²	4.51	6.15	12.03
	5 101-200 m ²	4.51	3.08	4.43
	6 201-900 m ²		2.31	6.96
	7 NO RESPONDE	17.29	21.54	22.78
	8 NO SABE	4.51	8.46	13.92
Porcentaje de césped	1 100%			1.14
	2 más de 90%			2.27
	3 entre 76 y 90%		4.17	3.41
	4 entre 51 y 75%	7.14	4.17	10.23
	5 entre 26 y 50%	21.43	14.58	25
	6 entre 10 y 25%	57.14	58.33	35.23
	7 menos de 10%	14.29	18.75	22.73
	8 nada			
Riego manual	Si	98.5	99.22	95.54
Riego automático	Si	0.77	1.59	6.04
Riego automático con temporizador	Si	0.77	2.38	8.78

Establecer escenario de base actual y futuro

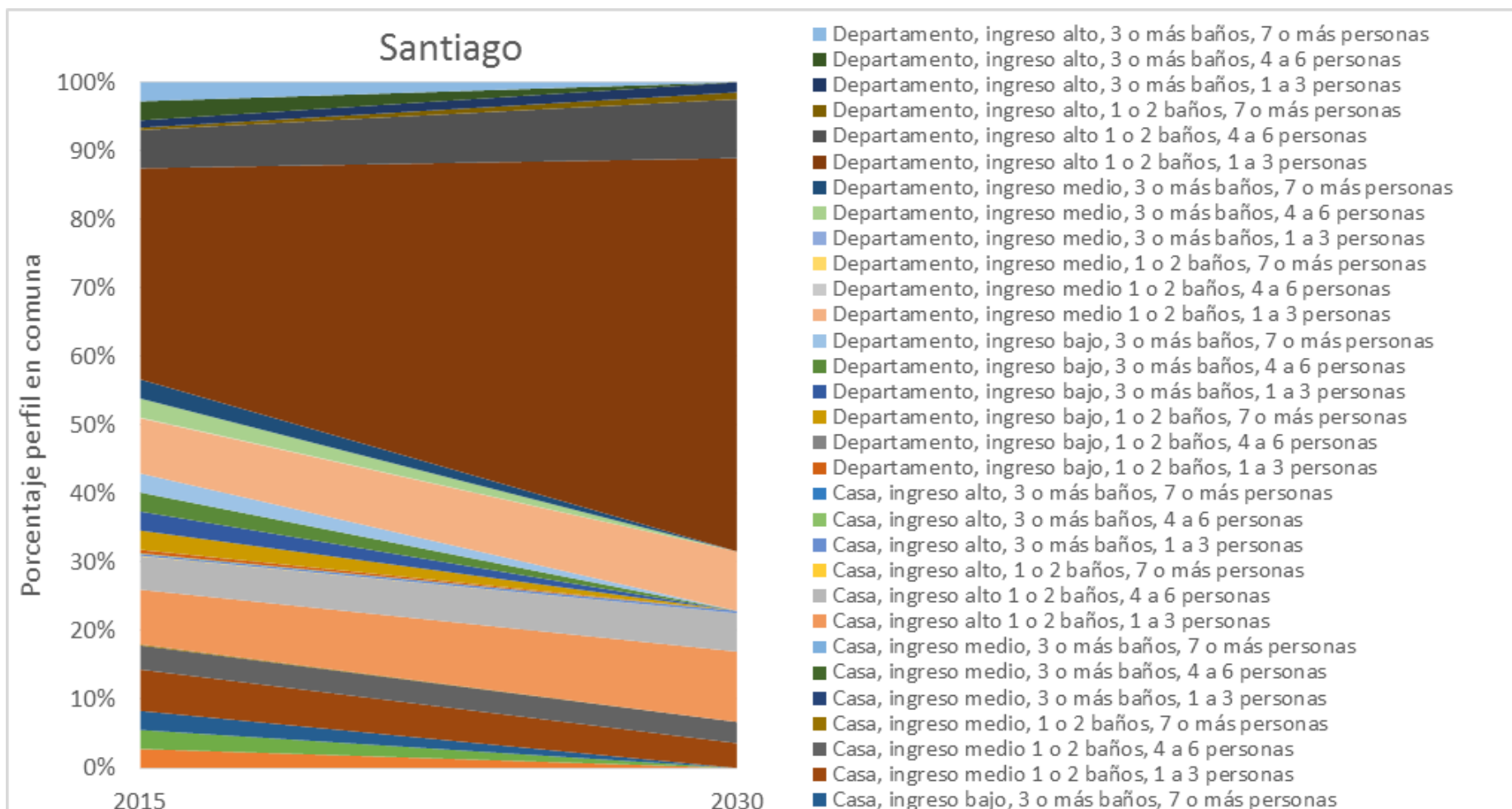
Consumo residencial

- Ajustes periodo futuro ($a = 2030$)

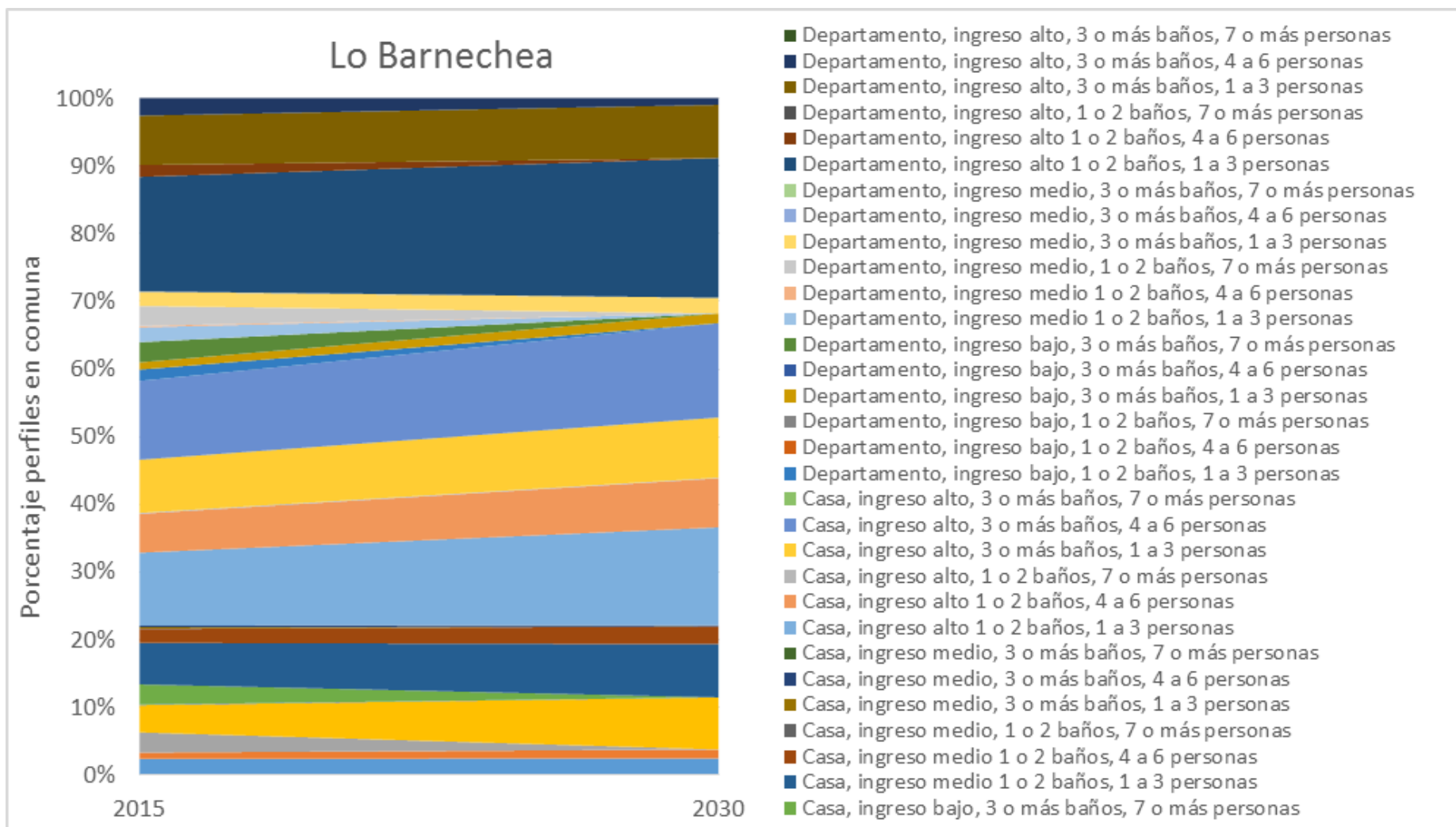
$$CM_{m,c}^{a=2030} = N_c^{2030} \sum_j (\gamma_j^{2030} * \alpha_{c,m} * CR_{j,m}^{2030})$$

- $N_c^{a=2030} = \frac{N_c^{a=2012}}{Hab_c^{a=2012}} * Hab_c^{2030}$
- $Hab_c^{2012}, Hab_c^{2030} =$ Estudio IFARLE
- $\gamma_{j,c}^{a=2030} =$ proyeccion porcentaje part perfiles historicos CASEN
- $CR_j^{a=2030} =$ considerar temperatura en 2030

Evolución perfiles



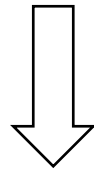
Evolución perfiles



Establecer escenario de base actual y futuro

Consumo residencial

- Proyección de consumo por:
 - Cambios en distribución de perfiles por comunas
 - Cambios en población por comunas
 - 2015: 368,952,506 m³/año
 - 2030: 430,838,104 m³/año



ESCENARIO TENDENCIAL

≠

LÍNEA BASE

Desarrollar escenarios futuros

- Establecer escenario de base actual y futuro
- Desarrollar medidas de adaptación
- Generar escenarios de adaptación

Incorporación de medidas de adaptación

- Estrategia:
 - Reducción de consumo unitario ajustado según participación del tipo de consumo
 - Cambio en nivel de implementación respecto de situación actual

$$R_{ad,m,j,c}^E = D_{ad,m,j}^s * PS^s * (PI_{ad,j,c}^E - PI_{ad,j,c}^{2015})$$

Reducción en consumo unitario asociado a medida ad en escenario E

Reducción de medida ad en sistema de consumo s

Porcentaje de consumo asociado a sistema de consumo s

Cambio en nivel implementación de medida ad en escenario E

Incorporación de medidas de adaptación

- Estrategia:
 - Reducción de consumo unitario ajustado según participación del tipo de consumo
 - Cambio en nivel de implementación respecto de situación actual

$$R_{ad,m,j,c}^E = D_{ad,m,j}^S * PS^S * (PI_{ad,j,c}^E - PI_{ad,j,c}^{2015})$$

- Nuevo consumo unitario ajustado considerando medidas asociadas a escenarios futuro (línea base y esc. de adaptación)

$$CRA_{c,m,j,E}^{2030} = \sum_{ad \in E} R_{ad,m,j,c}^E * CRA_{c,m,j}^{2015}$$

Medidas de adaptación (residencial)

Tipo de usuario	Tipo de medida	Explicación
Residencial	Tecnología de consumo al interior del hogar	La medida se asocia a cambios tecnológicos que reducen el consumo de agua en distintos sistemas (Ej. ducha, lavado de ropa) al interior del hogar.
	Eficiencia consumo riego en jardín	La medida se asocia a una combinación entre cambio tecnológico (eficiencia riego) y cultural que permita poder incorporar los beneficios de estos cambios.
	Vegetación patios	La medida se asocia a una reducción en el porcentaje de césped en patio.
	Aumento en tarifa	Considera reducción en consumo frente a aumentos en tarifa de acuerdo a estimación elasticidad precio consumo de agua
	Reciclaje consumo indoor-outdoor	La medida considera un reúso a escala de hogar del agua utilizada en el sistema de consumo ducha para reemplazar consumo de agua para riego outdoor

Escenarios de tarifas

- Medidas asociadas a tarifas
 - Modelo econométrico consumo residencial
 - Elasticidad $e = -0.13544$
 - Medidas tarifarias y medidas de aparatos no se aplican de forma conjunta
- 1. Aumento de un 15% del precio
 - Aumento generalizado, elasticidad igual para todos los bloques
- 2. Aumento de un 30% del precio

Incorporación de medidas de adaptación

Consumo residencial

		<i>Tecnología reducción consumo in- door</i>	<i>Riego jardín (tecnología)</i>	<i>Riego jardín (césped)</i>	<i>Reúso/ aguas lluvia</i>	<i>Tarifa</i>
Nivel reducción (promedio ponderado m3/año)		5.28	2.95	1.33	0.03	12.69
Implementación (promedio ponderado m3/año)	Línea Base	3.40	2.10	0.71	0.03	
	Esc Medio	4.71	3.05	1.55	0.03	8.17
	Esc Optimista	7.73	3.71	1.74	0.03	17.22

Incorporación de medidas de adaptación

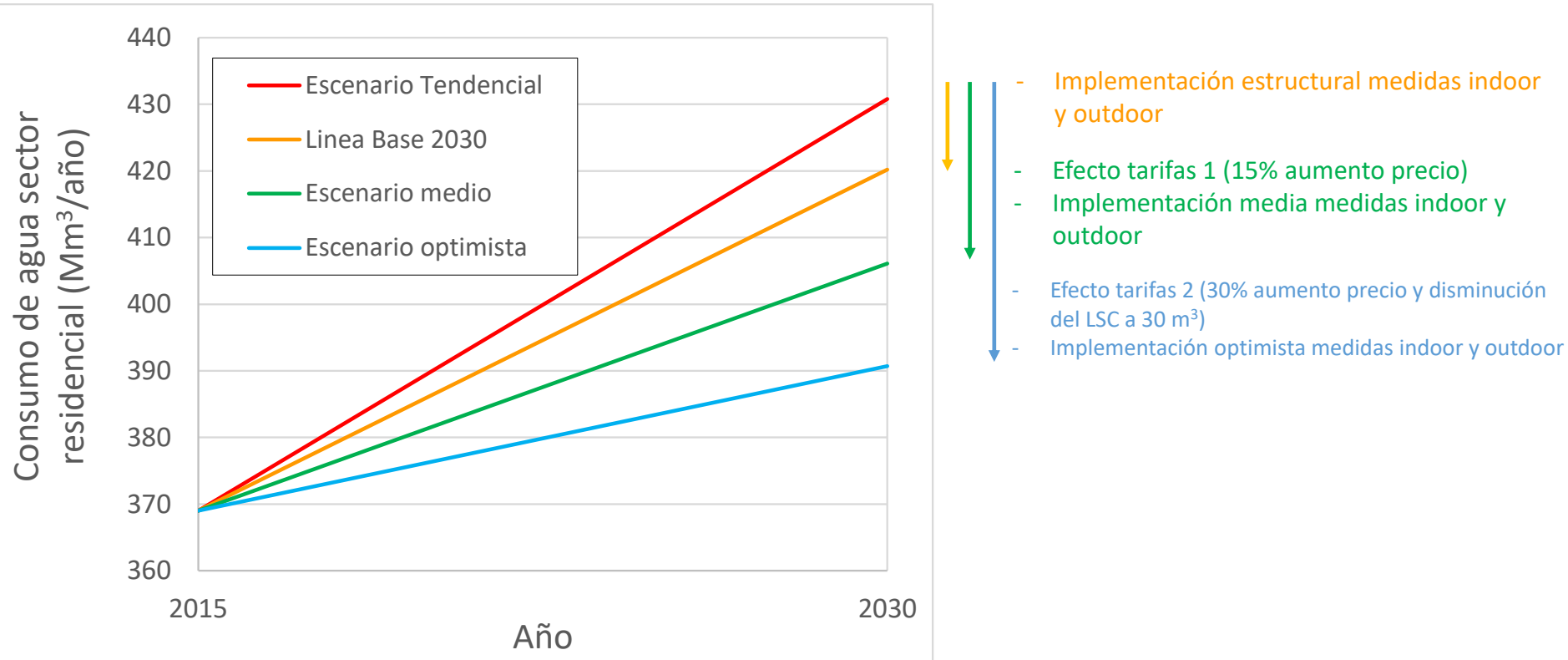
Consumo residencial: Por medida

	Reducción de consumo 2030 Línea Base*	Reducción de consumo 2030 Escenario Medio**	Reducción de consumo 2030 Escenario Optimista**
TARIFA 1 (aumento 15%)	NA	8.17	NA
TARIFA 2 (aumento 30%)	NA	NA	17.22
DUCHAS CON REGULADOR DE FLUJO	1.48	2.02	3.50
INODORO DE ULTRA BAJO CONSUMO	0.81	0.96	1.60
INODORO DE DOBLE DESCARGA	0.91	1.51	2.36
LAVADORA	0.14	0.14	0.14
LAVAVAJILLAS	0.06	0.08	0.13
EFICIENCIA DE RIEGO	2.10	3.05	3.71
PORCENTAJE DE PASTO	0.71	1.55	1.74
REUSO	0.03	0.03	0.03

Desarrollar escenarios futuros

- Establecer escenario de base actual y futuro
- Desarrollar medidas de adaptación
- Desarrollar escenarios de adaptación

Escenarios de consumo residencial



Resumen valores finales en m³/año

	2015	2030
Escenario tendencial (≠ Línea base)	368,952,506	430,838,104
Línea base	368,952,506	420,176,503
Escenario medio	368,952,506	406,132,056
Escenario Agresivo	368,952,506	390,715,013

Efectos separados

- Consumo total Gran Santiago

	2015	2030
LINEA BASE	368,952,506	420,176,503
Efecto tarifas 1 (incremento del precio en 15%)		422,085,196
Efecto tarifas 2 (incremento del precio en 30% y Límite de Sobre Consumo en 30 m3)		413,332,289
Escenario medio (incluye precio y reducciones estructurales de escenario medio)		406,132,056
Escenario agresivo (incluye precio y reducciones estructurales de escenario agresivo)		390,715,013

Gracias

xi: reg CONSUMO_DEPURADO i.l_real_cat D_tipo_viv2 max_temp baño_cat i.famsz_cat D_p D_barne

Source	SS	Df	MS
Model	670110.768	9	74456.752
Residual	3656157.55	24897	146.85133
Total	4326268.32	24906	173.703859

Number of obs	24907
F(9, 24897)	507.02
Prob > F	0
R-squared	0.1549
Adj R-squared	0.1546
Root MSE	12.118

CONSUMO_DEP~O	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
_ll_real_ca_2	2.781606	0.1933381	14.39	0.0000	2.402652	3.16056
_ll_real_ca_3	4.462266	0.1974114	22.6	0.0000	4.075328	4.849204
D_tipo_viv2	-7.012355	0.2321142	-30.21	0.0000	-7.467312	-6.557397
max_temp	0.2792773	0.0209349	13.34	0.0000	0.2382436	0.320311
baño_cat	9.102827	0.2660245	34.22	0.0000	8.581403	9.624251
_lfamsz_cat_2	2.14018	0.1639127	13.06	0.0000	1.818901	2.461459
_lfamsz_cat_3	1.729189	0.4973936	3.48	0.0010	0.7542684	2.70411
D_p	0.6112823	0.2602429	2.35	0.0190	0.1011907	1.121374
D_barne	14.30625	0.6028025	23.73	0.0000	13.12472	15.48778
_cons	1.555289	0.4941159	3.15	0.0020	0.5867923	2.523785