



POTENCIAL DE BIOGÁS

ANEXOS

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS
TIPOS DE BIOMASA DISPONIBLES EN CHILE
PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

ANEXO 1: Universo total de vertederos a lo largo de Chile (CONAMA, 2002)

Región	Provincia	Nombre	ton/mes	Estado	Captación	Materia orgánica	Biogás máx (m³/mes)	Biogás mín (m³/mes)
Tarapacá	Iquique	Alto Molle	4.500	colapsado	no apto	2.700	162.000	81.000
Tarapacá	Iquique	Vert. Municip.	8	s/información		4,8	288	144
Tarapacá	Iquique	Colchane	2	s/información		1,2	72	36
Tarapacá	Iquique	Vert. Municip.	8	s/información		4,8	288	144
Tarapacá	Iquique	Vert.municip.	15	s/información		9	540	270
Tarapacá	Iquique	Vert. Municip.	10	colapsado	no apto	6	360	180
Antofagasta	El Loa	Sector Pozo 3	12,5	colapsado	no apto	7,5	450	225
Antofagasta	El Loa	Artesanal Socaire	0.725	2010	apto	0,435	26,1	13,05
Antofagasta	El Loa	Sn. P. y Toconao	45	2020	apto	27	1.620	810
Antofagasta	El Loa	Vert. Municip.	5	s/información		3	180	90
Antofagasta	El Loa	Qda. Moctezuma	2125	colapsado	no apto	1.275	76.500	38.250
Antofagasta	El Loa	Relleno sanitario		2025	apto	0	0	0
Atacama	Chañaral	Vert. Municip.	330	s/información	no apto	198	11.880	5.940
Atacama	Chañaral		120	s/información	no apto	72	4.320	2.160
Coquimbo	Elqui	El Panul	7.500	2003	no apto	4.500	270.000	135.000
Coquimbo	Elqui	Qda. El Mollaco	375	2003	no apto	225	13.500	6.750
Coquimbo	Elqui	El Gallo	200	2001	no apto	120	7.200	3.600
Coquimbo	Elqui	La Higuera	12,5	s/información	no apto	7,5	450	225
Valparaíso	San Felipe	Santa María	155	2003	no apto	93	5.580	2.790
Valparaíso	San Felipe	La Hormiga	1.798	2025	apto	1.078,8	64.728	32.364
Metropolitana	Maipú	Lepanto	100.976	2001	no apto	60.585,6	3.635.136	1.817.568
Metropolitana		Stgo Poniente	37.000	s/información	apto	22.200	1.332.000	666.000
Metropolitana		Santa Marta	51.000	s/información	apto	30.600	1.836.000	918.000
Metropolitana		Los Colorados	153.700	s/información	apto	92.220	5.533.200	2.766.600
B. O'Higgins	Cachapoal	Colihues la Yesca	8.758	2027	apto	5.254,8	315.288	157.644
B. O'Higgins	Cachapoal	La Orilla de Chim.	5.300	2009	apto	3.180	190.800	95.400
B. O'Higgins	Cachapoal	San Vicente T. T.	580	2009	no apto	348	20.880	10.440
B. O'Higgins	Cachapoal	Pichidegua	182	s/información	no apto	109,2	6.552	3.276
B. O'Higgins	Cachapoal	Malloa	125	s/información	no apto	75	4.500	2.250
B. O'Higgins	Cachapoal	Coltauco	97	s/ información	no apto	58,2	3.492	1.746
B. O'Higgins	Cachapoal	Las Cabras	375	s/ información	no apto	225	13.500	6.750
Maule	Linares	La Ballica	1.050	2001	no apto	630	37.800	18.900
Maule	Linares		420	2001	no apto	252	15.120	7.560
Maule	Linares		60	2002	no apto	36	2.160	1.080
Maule	Linares		360	2001	no apto	216	12.960	6.480
Biobio	Arauco	Municip. de Lebu		2000	no apto	0	0	0
Biobio	Arauco	Muni de Cura		sin información	no apto	0	0	0
Biobio	Arauco	Muni Los Álamos		sin información	no apto	0	0	0
Biobio	Arauco	Particular Cañete		2001	no apto	0	0	0
La Araucanía	Malleco	Vert. Municip.	1.600	colapsado	no apto	960	57.600	28.800
La Araucanía	Malleco	Vert. Collipulli	436	2001	no apto	261,6	15.696	7.848
La Araucanía	Malleco	Vert. Municip.	250	2001	no apto	150	9.000	4.500
La Araucanía	Malleco	Vert. Municip.	900	2001	no apto	540	32.400	16.200
La Araucanía	Malleco	Vert. Municip.	290	2001	no apto	174	10.440	5.220
La Araucanía	Malleco		240	2006	no apto	144	8.640	4.320
La Araucanía	Malleco		28	2001	no apto	16,8	1.008	504
La Araucanía	Malleco			2005	no apto	0	0	0
La Araucanía	Malleco		45 m³/mes	2007	apto			
La Araucanía	Malleco		90	2007	apto	54	3.240	1.620
Los Lagos	Palena		40	2000	no apto	24	1.440	720
Los Lagos	Palena		20	2017	modificar	12	720	360
Los Lagos	Palena		20	2008	modificar	12	720	360
Los Lagos	Palena		32	2004	no apto	19,2	1.152	576
Aysén	Coyhaique		740	2000	no apto	444	26.640	13.320
Magallanes	Magallanes		0,45	sin información	no apto	0,27	16,2	8,1
Magallanes	Magallanes		30	2007	modificar	18	1.080	540
Magallanes	Magallanes		10	2003	no apto	6	360	180
Magallanes	Magallanes		9.789	2010	apto	5.873,4	352.404	176.202

ANEXO 2: Vertederos con captación de biogás

Vertederos autorizados con captación eficiente de biogás

Región	Nombre	RSD ton/mes	Vida útil	M.O. * Ton/mes	Biogás máx m ³ /mes	Biogás mín m ³ /mes
Antofagasta	Relleno Sanitario		2025	0	0	0
Valparaíso	La Hormiga	1.798	2025	1.078,8	64.728	32.364
Metropolitana	Stgo Poniente	37.000	sin información	22.200	1.332.000	666.000
Metropolitana	Santa Marta	5.000	sin información	30.600	1.836.000	918.000
Metropolitana	Los Colorados	153.700	sin información	92.220	5.533.200	2.766.600
Bernardo O'Higgins	Colihues la Yesca	8.758	2027	5.254,8	315.288	157.644
Bernardo O'Higgins	La Orilla de Chim.	5.300	2009	3.180	190.800	95.400
Total					927.2016	4.636.008

(*) M.O. Materia orgánica

Vertederos autorizados con captación deficiente de biogás

Región	Nombre	ton/mes	Vida útil	M.O. * Ton/mes	Biogás máx (m ³ /mes)	Biogás mín (m ³ /mes)
Antofagasta	Artisanal Socaire	0,725	2010	0,435	26,1	13,05
Antofagasta	Sn. P. y Toconao	45	2020	27	1.620	810
La Araucanía		90	2007	54	3.240	1.620
Los Lagos		20	2017	12	720	360
Los Lagos		20	2008	12	720	360
Magallanes		0,45	sin información	0,27	16,2	8,1
Magallanes		30	2007	18	1.080	540
Magallanes		9.789	2010	5873,4	352.404	176.202
Total					359.826,3	179.913,15

(*) M.O. Materia orgánica

Anexo 3:

Registro de las empresas autorizadas por el SISS para realizar el tratamiento de RIL

Reg.	C.I.I.U.	Tipo de descarga	Lugar de descarga	Caudal medio autorizado		
				m ³ /hr	m ³ /día	m ³ /mes
RM	35232	Alcantarillado	ESSA			
VIII	33112	Curso sup.	Canal	54,30	1.303,20	
RM	36202	Alcantarillado	ESSA			
RM	35111	Alcantarillado	ESSA			
RM	38196	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38197	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	31111	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	13051-31132	Curso sup.	Río	31,03		
RM	62559	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	35221	Alcantarillado	SMAPA			
RM	95201	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38196	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
X	31122	Curso sup.	Río Rahue		2.656,00	
RM	37201	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	31219-35295	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	31152	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	35299	Alcantarillado	SMAPA	16,60	199,20	
V	35299	Curso sup.	Río	234,00		
VIII	31141	Alcantarillado	ESSBIO			
RM	38195	Alcantarillado	SMAPA			
RM	38197	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38191	Curso sup.	Canal	16,20		
X	31141	Curso sup.	Mar			
RM	3720	Alcantarillado	ESSA			
RM	92001	Alcantarillado	SMAPA			
RM	31341	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38196	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	37201	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
V	3513	Curso sup.	Río		360,00	
RM	35402	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	35111-35122	Alcantarillado	SMAPA			
RM	61911	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38196	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	36201	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		828,00	
RM	38197	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	3620	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	32117	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38196	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	37201	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración	24,00	576,00	
RM	92001	Curso sup.	Río		80,12	

Reg.	C.I.I.U.	Tipo de Descarga	Lugar de descarga	Caudal medio autorizado		
				m ³ /hr	m ³ /día	m ³ /mes
RM	3117	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
VIII	35231	Alcantarillado	ESSBIO		184,20	
V	35122	Alcantarillado	ESVAL			
RM	38196	Alcantarillado	SMAPA			
VIII	92001	Curso sup.	Río			
VIII	3411	Curso sup.	Río	1.100,00	26.400,00	
VIII	35301	Curso sup.	Río		300.000,00	
RM	92001	Alcantarillado	ESSA			
V	35211	Alcantarillado	ESVAL			
RM	38194	Alcantarillado	SMAPA			
RM	32113	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	37197	Alcantarillado	SMAPA			
RM	35211-35212-35294	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	41011	Curso sup.	Río	489,00		
VII	31134	Curso sup.	Canal			
X	38196	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		30,00	
RM	93201	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	32111	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	37102	Curso sup.	Estero	40,40	9.000,00	
VI	92001	Curso sup.	Estero		60,00	
RM	38196	Tratamiento por tercero	Hidronor Chile S.A.			
RM	38197	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38196	Alcantarillado	SMAPA			
RM	38195	Alcantarillado	SMAPA			
RM	3121	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración			225,00
RM	31115	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	38196	Alcantarillado	SMAPA			
RM	83244	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
IV	31321	Curso sup.	Canal		48,00	
V	11125	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración			
VII	31131	Alcantarillado	ESSAM			
RM	34112	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	83296	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	63113	Otro	Alcantarillado Aeropuerto			
RM	83269	Alcantarillado	ESSA			
X	31141	Curso sup.	Río		84,23	
RM	31321	Alcantarillado	SMAPA		288,00	
RM	31113	Curso sup.	Canal		900,00	
RM	35299	Alcantarillado	SMAPA		8,00	
RM	11125	Disposición en suelo	Riego			
RM	38196	Alcantarillado	SMAPA			
RM	35299	Curso sup.	Canal		1.400,00	
RM	31331	Disposición en suelo	Riego		100,00	
VIII	33112	Curso sup.	Estero		363,00	

Reg.	C.I.I.U.	Tipo de descarga	Lugar de descarga	Caudal medio autorizado		
				m ³ /hr	m ³ /día	m ³ /mes
RM	35293	Disposición en suelo	Sistema de infiltración		10,70	
X	31141	Curso sup.	Mar			
RM	35111	Otro	Alcantarillado particular			
RM	38196	Alcantarillado	SMAPA			
VIII	33112	Tratamiento por tercero	Fibranova S.A.	5,33	127,92	
RM	31134	Alcantarillado	ESSA			
VIII	36101	Alcantarillado	ESSBIO		25,60	
VIII	36101	Alcantarillado	ESSBIO		46,65	
RM	38197	Alcantarillado	SMAPA		9,23	
RM	31151	Curso sup.	Canal	8,00		
IX	31111	Alcantarillado	ESSAR			
RM	34112	Disposición en suelo	Riego		25,21	
RM	37201	Alcantarillado	ESSA			
V	37201	Alcantarillado	ESVAL			
RM	38197	Alcantarillado	SMAPA		4.758,00	
RM	31151	Curso sup.	Canal		990,00	
RM	35231	Otro	Alcantarillado Particular			
RM	38197	Alcantarillado	SMAPA			
V	34201	Alcantarillado	ESVAL			
RM	31229	Alcantarillado	SMAPA			
X	31141	Curso sup.	Mar	80,00		
RM	92001	Curso sup.	Quebrada		350,00	
RM	31321	Disposición en suelo	Riego		60,00	
X	13051	Alcantarillado	ESSAL		33,75	540,00
X	31153-31154	Curso sup.	Mar			
X	31141	Curso sup.	Río		1.903,00	
RM	31321	Disposición en suelo	Riego		24,00	
VI	31134	Alcantarillado	ESSEL			
RM	31331	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
X	31111-31132	Curso sup.	Río		500,00	
V	35291	Alcantarillado	ESVAL			
V	31321	Disposición en suelo	Riego	40,00	100,00	
XII	35111	Curso sup.	Mar			
RM	35132	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
RM	34112	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			
X	83269	Alcantarillado	ESSAL		13,33	400,00
RM	31131	Disposición en suelo	Riego			
RM	3211	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS		364,97	10.949
X	31141	Curso sup.	Río	30,00		
I	38432	Alcantarillado	Aguas del Altiplano S.A.		398,00	
VII	31321	Disposición en suelo	Riego		8,00	
VII	31321	Disposición en suelo	Riego		89,00	
VI	38196	Curso sup.	Canal		354,00	
RM	36991	Alcantarillado	SMAPA		426,40	12.792,00

Reg.	C.I.I.U.	Tipo de descarga	Lugar de descarga	Caudal medio autorizado		
				m ³ /hr	m ³ /día	m ³ /mes
RM	32111-32113-3513	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			29.910,00
XII	31141	Alcantarillado	ESMAG		8,51	
RM	32111-32113-32114	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS			36.336,00
V	31131	Disposición en suelo	Riego	4,80	38,40	
XII	31121	Alcantarillado	ESMAG			34.500,00
RM	32311	Curso sup.	Canal		42,00	
RM	31321	Disposición en suelo	Riego	4,17	100,00	
IX	31341	Alcantarillado	ESSAR		297,80	8.934,00
RM	34202	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS		3,67	110,00
XII	31141	Alcantarillado	ESMAG		7,50	
RM	31321	Disposición en suelo	Riego		50,00	
RM	31219	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		11,00	
X	31141	Alcantarillado	ESSAL		324,00	
RM	32113	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS		9,62	
RM	37201	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS	9,90		
RM	61127	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS		79,57	
RM	36201	Alcantarillado	SMAPA			220,00
RM	36201	Alcantarillado	SMAPA			
X	31141	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		2,40	
VIII	31221	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		120,00	
RM	35301	Alcantarillado	AGUAS ANDINAS		22,53	676,00
X	31212	Curso Sup.	Estero	7,70	93,00	
RM	31123	Alcantarillado	SMAPA		1.339,20	
V	31192	Alcantarillado	ESVAL		96,00	2.880,00
RM	31219	Disposición en suelo	Riego		13,60	
VIII	31141	Alcantarillado	ESSBIO		296,00	
X	32151 - 95191	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		24,00	
RM	38196	Alcantarillado	SMAPA		4,27	128,00
VI	31111	Curso sup.	Estero	90	3360,00	
XI	95191	Curso sup.	Río	3	24,00	
VI	31321	Disposición en suelo	Riego		30,00	900,00
X	34141	Curso Sup.	Mar	9,00	216,00	
X	35601	Curso Sup.	Río	3,00		
RM		Alcantarillado	AGUAS ANDINAS		170,00	
VIII	92001	Curso Sup.	Río		20,00	
VIII	34112	Curso Sup.	Río	720,00		
RM		Disposición en suelo	Riego		140,00	
VIII	36201-36202	Alcantarillado	ESSBIO		26,00	635,00
X	31.141	Curso Sup.	Mar		350,00	
X	31141	Disposición en suelo	Sistema de Infiltración		11,70	

ANEXO 4: Determinación del potencial energético a partir de biomasa residual seca

Potencial energético a partir de la industria vitivinícola

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica	E. calorífica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. total cogenerada
		Mcal/año	MWh/a	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)
RM	1.481.477	7.871.113	9.154	1.626.959	2.290.966	2.991.023	1.892	2.664	3.479	8.035
IV	135.731	721.139	839	149059	209.895	274.033	173	244	319	736
V	308.136	1.637.132	1.904	338.395	476.504	622.110	394	554	724	1.671
VI	1.416.416	7.525.443	8.752	1.555.509	2.190.355	2.859.668	1.809	2.547	3.326	7.682
VII	5.019.792	26.670.235	31.017	5.512.738	7.762.639	10.134.689	6.411	9.028	11.787	27.226
VIII	141.028	749.283	871	154.877	218.086	284.728	180	254	331	765
X	4.144	22.018	26	4.551	6.409	8.367	5	7	10	22
Total	8.506.724	45.196.364	52.563	9.342.088	13.154.854	17.174.618	10.865	15.299	19.974	46.138
Ind. Res	27.561.000	146.432.047	170.300	30.267.504	42.620.512	55.644.178	35.201	49.568	64.714	149.483

Potencial energético a partir de la industria cervecera

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica	E. calorífica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. total cogenerada
		Mcal/año	MWh/a	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)
RM	6.387.000	34.481.563	40.102	7.127.339	10.036.204	13.102.994	8.289	11.672	15.239	35.200
IX	2.395.000	12.929.911	15.037	2.672.613	3.763.380	4.913.366	3.108	4.377	5.714	13.199
Total	8.782.000	47.411.474	55.140	9.799.952	13.799.584	18.016.360	11.397	16.049	20.953	48.399

Potencial energético a partir de la industria de lácteos

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica	E. calorífica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. total cogenerada
		Mcal/año	MWh/a	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)
RM	948.600	4.877.349	5.672	1.008.148	1.419.601	1.853.393	1.172	1.651	2.155	4.979
VIII	760.050	3.907.895	4.545	807.762	1.137.432	1.485.000	939	1.323	1.727	3.989
IX	1.335.150	6.864.846	7.984	1.418.964	1.998.082	2.608.641	1.650	2.324	3.034	7.008
X	536.400	2.757.970	3.208	570.072	802.735	1.048.028	663	934	1.219	2.815
Total	3.580.200	18.408.060	21.409	3.804.946	5.357.850	6.995.063	4.425	6.231	8.135	18.792

Potencial energético a partir de la industria conservera de frutas y verduras

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica	E. calorífica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. tér. gas.	E. tér. enf.	E. eléctrica	E. total cogenerada
		Mcal/año	MWh/a	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(Mcal/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)	(MWh/año)
RM	17.613.360	90.561.359	105.323	18.719.033	26.358.789	34.413.316	21.770	30.655	40.023	92.448
IV	1.339.978	6.889.670	8.013	1.424.095	2.005.307	2.618.075	1.656	2.332	3.045	7.033
V	4.894.231	25.164.317	29.266	5.201.464	7.324.326	9.562.440	6.049	8.518	11.121	25.689
VI	14.681.651	75.487.602	87.792	15.603.287	21.971.422	28.685.289	18.147	25.553	33.361	77.060
VII	16.284.528	83.728.997	97.377	17.306.784	24.370.162	31.817.019	20.128	28.342	37.003	85.473
VIII	9.903.414	50.919.679	59.220	10.525.098	14.820.682	19.349.478	12.241	17.236	22.503	51.981
IX	143.784	739.284	860	152.810	215.176	280.928	178	250	327	755
X	302.727	1.556.508	1.810	321.730	453.037	591.473	374	527	688	1.589
Total	65.163.672	335.047.417	389.660	69.254.301	97.518.901	127.318.019	80.543	113.414	148.071	342.028

Potencial energético a partir de residuos de bebidas de infusión

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica Mcal/año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
V y VI	2.412.000	12.814.996	14.904	2.648.860	3.729.933	4.869.698	3.081	4.338	5.663	13.082

Potencial energético a partir de los principales cultivos de temporada

	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
TRIGO	239.335.950	1.478.866	262.838.861	370.110.687	483.206.422	305.682	430.439	561.969	1.298.089
MAIZ	128.677.640	795.104	141.313.849	198.987.949	259.793.240	164.348	231.423	302.140	697.911
PAPA	15.002.890	92.703	16.476.181	23.200.568	30.290.029	19.162	26.982	35.227	81.371
RAPS	353.780	2.186	388.521	547.088	714.263	452	636	831	1.919
REMOLACHA	4.420.950	27.317	4.855.090	6.836.586	8.925.660	5.646	7.951	10.381	23.978
Total	387.791.210	2.396.177	425.872.503	599.682.877	782.929.614	495.290	697.431	910.547	2.103.268

Potencial energético a partir de desechos de poda y desmalezado de parques y jardines municipales

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica Mcal/año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
V	44.217	265.239	308	54.825	77.201	100.791	64	90	117	271
RM	184.173	1.104.772	1.285	228.356	321.555	419.813	266	374	488	1.128
VI	139.343	835.860	972	172.772	243.285	317.627	201	283	369	853
VII	15.675	94.025	109	19.435	27.367	35.730	23	32	42	96
VIII	42.081	252.424	294	52.176	73.470	95.921	61	85	112	258

Potencial energético a partir de los residuos del beneficio de ganado

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica Mcal/año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. Enf. (Mcal/año)	E. Eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
RM	19.672.323	109.576.764	127.438	22.649.517	31.893.413	41.639.170	26.341	37.092	48.426	111.860
IV	202.522	1.128.068	1.312	233.172	328.335	428.666	271	382	499	1.152
V	1.513.845	8.432.262	9.807	1.742.949	2.454.294	3.204.260	2.027	2.854	3.727	8.608
VI	5.600.145	31.193.356	36.278	6.447.667	9.079.138	11.853.475	7.499	10.559	13.786	31.843
VII	121.121	674.654	785	139.451	196.365	256.368	162	228	298	689
VIII	1.079.420	6.012.474	6.993	1.242.778	1.749.991	2.284.740	1.445	2.035	2.657	6.138
IX	1.180.517	6.575.597	7.647	1.359.176	1.913.893	2.498.727	1.581	2.226	2.906	6.713
X	405.306	2.257.594	2.626	466.645	657.095	857.886	543	764	998	2.305
Total	29.775.198	165.850.769	192.884	34.281.354	48.272.525	63.023.292	39.869	56.141	73.296	169.306

Potencial energético a partir de los residuos industriales de grasas y aceites

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica Mcal/año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
RM	131.150	786.710	915	162.613	228.980	298.950	189	266	348	803
V	593	3.559	4	736	1.036	1.352	1	1	2	4
VII	4.331	25.978	30	5.370	7.561	9.872	6	9	11	27
Total	136.074	816.247	949	168.718	237.577	310.174	196	276	361	833

Potencial energético a partir de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas (PTA)

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf. (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
I	4.056.638	24.258	4.311.292	6.070.850	7.925.936	5.014	7.060	9.218	21.292
II	4.543.702	27.170	4.828.931	6.799.752	8.877.571	5.616	7.908	10.325	23.849
III	2.398.479	14.342	2.549.043	3.589.378	4.686.195	2.965	4.174	5.450	12.589
IV	5.081.126	30.384	5.400.092	7.604.019	9.927.600	6.280	8.843	11.546	26.670
V	14.017.849	83.823	14.897.815	20.978.026	27.388.339	17.326	24.397	31.853	73.576
RM	65.629.187	392.444	69.749.038	98.215.554	128.227.550	81.118	114.225	149.129	344.471
VII	6.191.817	37.025	6.580.507	9.266.194	12.097.690	7.653	10.777	14.070	32.499
VI y VII	20.961.828	125.346	22.277.700	31.369.846	40.955.616	25.909	36.483	47.631	110.023
IX	5.807.956	34.730	6.172.548	8.691.736	11.347.694	7.179	10.108	13.197	30.485
X	6.548.726	39.160	6.959.820	9.800.316	12.795.025	8.094	11.398	14.881	34.373
XI	677.427	4.051	719.952	1.013.784	1.323.569	837	1.179	1.539	3.556
XII	1.454.597	8.698	1.545.909	2.176.838	2.842.020	1.798	2.532	3.305	7.635
Total	137.369.331	821.429	145.992.647	205.576.294	268.394.804	169.789	239.085	312.143	721.018

Potencial energético a partir de residuos sólidos urbanos (RSU)

	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf. (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
c/captación de biogás	115.551.672	667.934	118.711.879	167.161.487	218.241.480	138.062	194.409	253.815	586.286
s/captación de biogás	53.671.440	310.242	55.139.293	77.643.167	101.368.801	64.127	90.299	117.892	272.318
Total	169.223.112	978.176	173.851.171	244.804.654	319.610.281	202.189	284.708	371.707	858.603

Potencial energético a partir de estiércol avícola

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf. (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
I	24.504.599	141.646	25.174.772	35.449.295	46.281.633	29.278	41.228	53.826	124.331
V	11.663.369	67.419	11.982.349	16.872.678	22.028.508	13.935	19.623	25.619	59.178
VI	252.260.225	1.458.163	259.159.255	364.929.331	476.441.784	301.402	424.413	554.102	1.279.917
VIII	503.899	2.913	517.680	728.960	951.710	602	848	1.107	2.557
RM	187.353.621	1.082.977	192.477.530	271.032.945	353.853.223	223.851	315.211	411.531	950.594
Ponedoras	102.084.052	590.086	104.875.934	147.678.710	192.805.298	121.971	171.750	224.233	517.954
Pavos	42.672.414	246.663	43.839.456	61.731.553	80.595.032	50.985	71.794	93.732	216.511
Total	621.042.180	3.589.866	638.026.976	898.423.472	1.172.957.188	742.025	1.044.866	1.364.149	3.151.041

ANEXO 5: Determinación del potencial energético a partir de biomasa residual húmeda

Potencial energético a partir de residuos industriales líquidos

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica Mcal/año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf. (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
I	101.543	522.096	607	107.917	151.961	198.397	126	177	231	533
II	113.643	584.309	680	120.777	170.069	222.037	140	198	258	596
III	1.285.065	6.607.325	7.684	1.365.734	1.923.128	2.510.784	1.588	2.237	2.920	6.745
IV	6.947.866	35.723.350	41.546	7.384.016	10.397.638	13.574.873	8.588	12.092	15.788	36.468
V	4.337.286	22.300.714	25.936	4.609.558	6.490.846	8.474.271	5.361	7.549	9.856	22.765
RM	15.898.597	81.744.685	95.069	16.896.626	23.792.608	31.062.980	19.651	27.671	36.126	83.448
VI	1.583.762	8.143.118	9.470	1.683.183	2.370.136	3.094.385	1.958	2.756	3.599	8.313
VII	734.407	3.776.050	4.392	780.510	1.099.057	1.434.899	908	1.278	1.669	3.855
VIII	8.007.069	41.169.376	47.880	8.509.710	11.982.759	15.644.363	9.897	13.936	18.194	42.027
IX	2.760.048	14.191.142	16.504	2.933.309	4.130.474	5.392.634	3.411	4.804	6.272	14.487
X	5.042.274	25.925.503	30.151	5.358.801	7.545.877	9.851.691	6.232	8.776	11.458	26.466
XI	339.030	1.743.168	2.027	360.313	507.366	662.404	419	590	770	1.779
XII	687.788	3.536.349	4.113	730.963	1.029.290	1.343.813	850	1.197	1.563	3.610
Total	47.838.378	245.967.186	286.060	50.841.417	71.591.209	93.467.531	59.129	83.261	108.703	251.092

Potencial energético a partir de aguas residuales domésticas

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf. (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
I	2.381.738	14.954	2.657.814	3.742.541	4.886.159	3.091	4.353	5.683	13.126
II	2.667.704	16.750	2.976.926	4.191.892	5.472.820	3.462	4.875	6.365	14.702
III	1.408.198	8.842	1.571.427	2.212.770	2.888.932	1.828	2.573	3.360	7.761
IV	2.983.237	18.731	3.329.034	4.687.705	6.120.140	3.872	5.452	7.118	16.441
V	8.230.176	51.675	9.184.164	12.932.476	16.884.289	10.681	15.040	19.636	45.358
RM	38.532.288	241.933	42.998.697	60.547.657	79.049.370	50.007	70.417	91.934	212.359
VII	3.635.347	22.825	4.056.733	5.712.398	7.457.951	4.718	6.644	8.674	20.035
VI y VII	12.307.134	77.273	13.733.696	19.338.797	25.248.207	15.972	22.491	29.364	67.827
IX	3.409.974	21.410	3.805.236	5.358.258	6.995.595	4.425	6.232	8.136	18.793
X	3.844.896	24.141	4.290.571	6.041.672	7.887.842	4.990	7.026	9.174	21.190
XI	397.732	2.497	443.834	624.975	815.950	516	727	949	2.192
XII	854.025	5.362	953.018	1.341.971	1.752.041	1.108	1.561	2.038	4.707
Total	80.652.448	506.393	90.001.149	126.733.113	165.459.297	104.671	147.391	192.429	444.491

Potencial energético a partir de estiércol de vacuno

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf. (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
I	735.392	4.397	781.556	1.100.531	1.436.823	909	1.280	1.671	3.860
II	2.149.360	12.853	2.284.285	3.216.566	4.199.460	2.657	3.741	4.884	11.281
III	13.132	79	13.956	19.652	25.658	16	23	30	69
IV	4.320.964	25.838	4.592.211	6.466.420	8.442.381	5.341	7.520	9.818	22.680
V	14.076.432	84.173	14.960.076	21.065.697	27.502.800	17.399	24.499	31.986	73.884
VI	7.952.632	47.554	8.451.856	11.901.293	15.538.003	9.830	13.841	18.071	41.741
VII	7.878.932	47.114	8.373.529	11.790.999	15.394.007	9.738	13.713	17.903	41.355
VIII	27.502.696	164.458	29.229.169	41.158.403	53.735.289	33.994	47.867	62.494	144.355
IX	27.916.488	166.933	29.668.937	41.777.652	54.543.764	34.505	48.587	63.434	146.527
X	47.900.176	286.429	50.907.094	71.683.691	93.588.272	59.205	83.368	108.843	251.416
XI	3.163.740	18.918	3.362.343	4.734.608	6.181.375	3.910	5.506	7.189	16.606
XII	3.391.004	20.277	3.603.873	5.074.714	6.625.408	4.191	5.902	7.705	17.799
RM	73.088.424	437.048	77.676.527	109.378.471	142.801.549	90.338	127.207	166.078	383.623
Total	220.089.372	1.316.072	233.905.413	329.368.696	430.014.789	272.032	383.056	500.107	1.155.195

Potencial energético a partir de estiércol de porcino

Región	Biogás m ³ /año	E. calorífica MWh/a	E. tér. gas. (Mcal/año)	E. tér. enf. (Mcal/año)	E. eléctrica (Mcal/año)	E. tér. gas. (MWh/año)	E. tér. enf (MWh/año)	E. eléctrica (MWh/año)	E. total cogenerada (MWh/año)
I	47.206	292	51.841	72.999	95.305	60	85	111	256
II	25.970	160	28.520	40.160	52.432	33	47	61	141
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	18.235	113	20.026	28.199	36.816	23	33	43	99
V	156.899	969	172.306	242.629	316.770	200	282	368	851
VI	121.685.577	751.900	133.635.162	188.175.377	245.676.641	155.418	218.848	285.722	659.988
VII	2.384.795	14.736	2.618.983	3.687.863	4.814.773	3.046	4.289	5.600	12.934
VIII	1.926.428	11.903	2.115.604	2.979.040	3.889.354	2.460	3.465	4.523	10.448
IX	1.489.905	9.206	1.636.214	2.303.999	3.008.038	1.903	2.680	3.498	8.081
X	1.886.722	11.658	2.071.999	2.917.640	3.809.191	2.410	3.393	4.430	10.233
XI	38.252	236	42.008	59.153	77.229	49	69	90	207
XII	12.891	80	14.157	19.935	26.027	16	23	30	70
RM	56.649.205	350.038	62.212.186	87.602.703	114.371.701	72.353	101.882	133.014	307.249
Total	186.322.085	1.151.291	204.619.008	288.129.697	376.174.277	237.972	335.095	437.491	1.010.557

ANEXO 6:

Ejemplo de cálculo de evaluación económica: Caso residuos de la industria cervecera, Área Metropolitana

1. Introducción

Para describir la metodología dispuesta para efectuar la evaluación económica, se utilizarán los datos correspondientes a la materia orgánica generada proveniente de los residuos generados a partir de la producción de cerveza. Los $\text{m}^3/\text{año}$ generados de biogás considerados en el análisis son los generados en la Región Metropolitana, en donde se generan 29.568.000 $\text{m}^3/\text{año}$ de biogás. Esta cantidad de biogás corresponde a un total de biogás teórico.

Para determinar la capacidad eléctrica instalada se consideraron los siguientes factores:

- a) Cantidad teórica de biogás generado
- b) Disponibilidad de generación de biogás
- c) Rendimiento eléctrico del motor de combustión de biogás
- d) Rendimiento térmico del motor de combustión de biogás.

Estos cuatro factores se describen más adelante, con el fin de orientar el análisis económico, ya que el tamaño del biodigestor y la capacidad eléctrica del sistema de suministro de energía de la planta dependerán, en el caso de cada sector agroindustrial o tipo de biomasa analizada, de la disponibilidad de generar el biogás necesario para suplir el requerimiento del motor de combustión.

2. Procedimiento de cálculo

Disponibilidad del biogás

La cantidad de biogás producido en la Región Metropolitana, representa un potencial de biogás teórico máximo a generarse, por lo que para determinar una cantidad teórica “disponible” de biogás, para efectos de cálculo, se estima una disponibilidad teórica de biomasa correspondiente a un 95%. Este factor de disponibilidad es variable para cada tipo de biomasa y región, y su cálculo para el caso de la industria cervecera se determinó a partir de datos aportados por CCU.

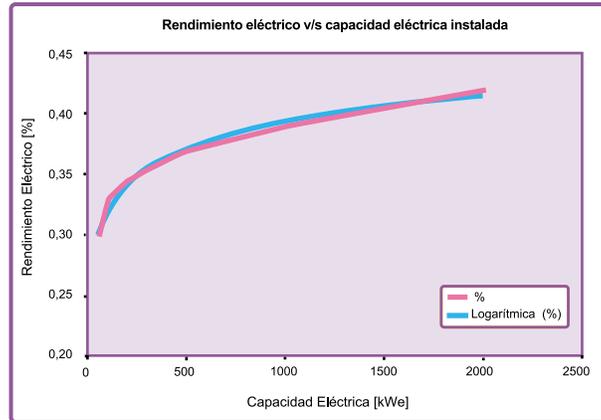
De acuerdo a estos datos, de los 29.568.000 $\text{m}^3/\text{año}$ de biogás se tienen disponibles 28.089.600 $\text{m}^3/\text{año}$ en la Región Metropolitana.

Rendimiento eléctrico del motor de cogeneración

Otro aspecto importante en la evaluación económica, es la variación del rendimiento en la generación de electricidad a partir de la combustión, debido a las diferentes tecnologías de cogeneración, a los tamaños del motor de cogeneración y la fracción de metano contenida en el biogás proveniente de distintos tipos de biomasa, factor que influye en el poder calorífico del biogás.

En la Figura 1 se muestra el rendimiento eléctrico de los motores de cogeneración en función de la capacidad eléctrica instalada.

Figura 1: Rendimiento eléctrico en función de la capacidad eléctrica instalada para el motor de cogeneración



De acuerdo a la Figura 1 se determina la siguiente expresión para el cálculo de la eficiencia del motor de cogeneración:

$$R_{ELECTRICO} = 0,0306 * \ln(kWe) + 0,1828$$

Para una potencia instalada de 2.000 kWe, se estima un rendimiento eléctrico de un 42%.

Rendimiento térmico del motor

El rendimiento térmico del motor se estima en un 54 % del rendimiento eléctrico, basándose en los rendimientos obtenidos de un motor CAT 3520c, utilizado para generar aproximadamente 1.920 kWe, y considerando que parte de la energía térmica proveniente de los gases de combustión del biogás es captada en un intercambiador de calor y/o caldera de gases de rendimientos predeterminados (de acuerdo a motor CAT 3520c y a estudios de cogeneración eléctricas generados para CCU), obteniéndose rendimientos térmicos de un 22%. Estos valores difieren de los presentados en la Tabla 47, por el rendimientos de la caldera de la industria sobre la cual se realizó el cálculo.

Dimensionamiento del motor

Considerando que para CCU, estudios realizados por la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso considera una potencia máxima a instalarse de 2.000 kWe, se selecciona para la evaluación económica un motor CAT 3250c. que entrega 1.920 kW. Para definir los 2 MW se consideró el perfil de generación de biogás durante el año y los transformadores actuales de la planta que se pueden reemplazar sin afectar el consumo continuo de energía.

Poder calorífico del biogás

Para el caso de la industria cervecera, el contenido de metano en el biogás es de un 63 %. Se considera que el poder calorífico del biogás corresponde a una fracción del poder calorífico del metano puro igual a 35,98 MJ/Nm³, (medido a 1 atm y 25 C) multiplicado por la fracción de metano en el biogás de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{\text{BIOGÁS}} = f * P_{\text{METANO}}$$

donde:

$P_{\text{BIOGÁS}}$ = Poder Calorífico del biogás. Nm³/hr

f = Fracción de metano en el biogás.

P_{METANO} = Poder Calorífico del Metano. Nm³/hr

Reemplazando los valores correspondientes en la expresión se tiene:

$$P_{\text{BIOGÁS}} = 0,63 * 35,98 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} \right] = 22,61 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} \right] * \frac{1}{3,6} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{MJ}} \right] = 6,28 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \right]$$

El poder calorífico del biogás generado por la industria cervecera corresponde a 22,61 MJ/m³ igual a 6,28 kWh/m³

Generación eléctrica

La energía eléctrica generada a partir de la biomasa generada se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_{\text{ELE}} = \text{kWe} * t$$

donde:

E_{ELE} = Energía Eléctrica Cogenerada en kWh/año

kWe = Potencia del motor de cogeneración en kWe

t = Horas de plena carga anual en hrs./año

Para todas las biomásas residuales se consideran 7.884 horas al año de plena carga, lo cual significa que el motor de cogeneración funciona durante ese tiempo, las horas restantes para completar un año de trabajo, se considera que el equipo se encuentra en mantención.

Reemplazando para este caso se determina que se generan 15.768.000 kWh/año.

Generación térmica

Para calcular la energía generada a partir del calor recuperado del motor eléctrico, se consideran 7884 hrs. de plena carga anual, de manera que la energía térmica cogenerada es:

$$2.000 \left[\text{kWh} \right] * 0,224/0,42 * 7.888 \left[\frac{\text{hrs}}{\text{año}} \right]$$

Esto corresponde a 8.409.600 kWh/año.

Consumo de biogás

Una vez calculada la energía cogenerada con un motor de 2.000 kWe de potencia instalada, y tomando en cuenta el poder calorífico del biogás generado a partir de la biomasa residual proveniente de la industria

cervecera, se estima el consumo de biogás de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{\text{BIOGÁS}} = \frac{15.768.000 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right]}{0,42 * 6,28 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right]} = 5.978.162 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right] * \frac{1}{365} \left[\frac{\text{año}}{\text{días}} \right] \frac{1}{24} \left[\frac{\text{día}}{\text{hr}} \right] = 682 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$$

3. Costos de inversión

Motor de cogeneración

El costo de inversión del equipo de cogeneración se estima a partir de una expresión construida a partir de precios de motores generadores de energía, a partir de biogás disponibles en el mercado.

$$C_{MC} = 4.639 * \frac{Ce^{-0,333}}{T}$$

donde:

C_{MC}	=	Costo del motor de cogeneración en US\$/kWe
Ce	=	Capacidad eléctrica instalada en kWe
T	=	Tasa de cambio

Reemplazando para un motor de 2.000 kWe en la expresión:

$$C_{MC} = 4.639 * \frac{2000^{-0,333}}{0,85} = 434 \left[\frac{\text{US\$}}{\text{kWe}} \right]$$

De esta forma se tiene que el costo de un motor de cogeneración corresponde a 434 US\$/kWe, evaluando para el caso de 2.000 kWe de potencia instalada se tiene un total aproximado de 868.545 US\$.

Conexión a la red

Los costos de conexión a la red eléctrica se estiman en 10.000 US\$, este valor es independiente de la capacidad eléctrica instalada y de otros factores considerados anteriormente.

Costo de digestor y equipos de la planta

El costo del digestor, mezcladores y otros equipos de la planta (sin considerar el motor de cogeneración), se calculan de acuerdo a un valor unitario, correspondiente a 2.000 US\$/kWe, evaluando para una planta cogeneradora se tiene que el costo correspondiente a los equipos descritos anteriormente alcanzan a 4.000.000 US\$.

Costo de edificación

El costo de edificación corresponde al 10 % de los costos del motor de cogeneración, del digestor y del resto de los equipos de la planta piloto, reemplazando:

$$0,1 * (4.000.000[US\$] + 868.545[US\$]) = 486.855[US\$]$$

Costos de conexión a red de vapor

Los costos de conexión a la red de vapor se estiman en 20.000 US\$, este valor es independiente de la capacidad eléctrica instalada y de otros factores considerados anteriormente.

Costos de inversión

Los costos de inversión corresponden a la suma de los costos correspondientes a la conexión a la red eléctrica, conexión a la red de vapor, al costo del motor de cogeneración, a los costos de edificación, del digestor y otros equipos complementarios. Además se consideran los costos relacionados con planificación, permisos, etc, como un 10% de los costos de planificación. Los valores así calculados se resumen a continuación:

	Costos	Valor
1	Motor de Cogeneración	868.545
2	Digestor y equipos suplementarios	4.000.000
3	Conexión a la red eléctrica	10.000
4	Edificación	486.854
5	Conexión a la red de vapor	20.000
6	Planificación, permisos	538.540
	Total	5.923.939
	Costos específicos US\$/KWe	2.962

4. Costos operacionales

Costos de mantenimiento del motor

Los costos operacionales anuales correspondientes al mantenimiento del motor se estiman de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\dot{S}_M = 4,9406 * \frac{C_E^{-0,2219}}{100 * T}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$0,0108 \left[\frac{US\$}{kWe} \right]$$

De esta forma se tiene que el costo de mantenimiento del motor en un año corresponde a:

Costos de mantenimiento de equipos

Los costos de mantenimiento de los demás equipos se estiman en un 2% de los costos de inversión, reemplazando los valores se tiene:

$$178.637 \left[\frac{US\$}{kWe} \right] = 0,0108 \left[\frac{US\$}{kWe} \right] * 16.600.000 \left[\frac{kWe}{año} \right]$$

Los costos operacionales correspondientes al mantenimiento de los equipos de la planta cogeneradora son 107.708 US\$/año.

Costos de personal

Los costos asociados al personal operativo de la planta se estiman en 8 US\$/hr por lo que reemplazando se tiene:

$$107.708 \left[\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right] = 0,02 * 5.385.399 \left[\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right]$$

De esta forma el costo operacional correspondiente al personal que opera la planta asciende a 29.200 US\$/año

Vida operativa

La vida operativa útil de la planta cogeneradora de energía a partir de biomasa residual proveniente de la industria cervecera se estima en 15 años (tiempo usado en evaluación económica).

Interés anual

El interés utilizado en la evaluación económica corresponde al 10 %.

Costos de capital

El valor o cuota anual correspondiente al pago del préstamo de inversión, se calcula considerando un interés del 10% y un período de 15 años plazo para el pago de la inversión, para una inversión total de 5.323.939 US\$, se tiene que el costo de capital asciende a 778.843 US\$ por año.

Costos anuales

A continuación se muestra un resumen con los costos anuales de operación

	Costo operacional	Valor US\$/año
1	Mantenimiento motor	178.637
2	Mantenimiento de equipos	107.708
3	Costos de personal	29.200
4	Costos de capital	778.843
Total		1.094.387

Costos específicos de generación

De acuerdo a los datos consignados, el costo específico, en el caso particular de una planta cogeneradora de 2.000 kWe de potencia instalada ascienden a 0,069 US\$/kWe.

Dependiendo de la utilización de la energía térmica cogenerada (alrededor de 8.400 MWh/año) es posible lograr un cierto ahorro de combustible el que, al ser incorporado en los cálculos en términos de ingresos adicionales, podría traducirse en una reducción del costo de generación eléctrica. Para ello deberán considerarse aspectos

específicos de cada instalación e industria (como necesidades térmicas, temperatura necesaria para procesos, combustible a reemplazar, eficiencia de las calderas, etc). Es importante también destacar que parte del calor cogenerado será necesario para la operación de los digestores. La cantidad de energía necesaria también dependerá de las condiciones particulares de cada instalación, como condiciones climáticas, temperatura de los residuos digeridos, etc.

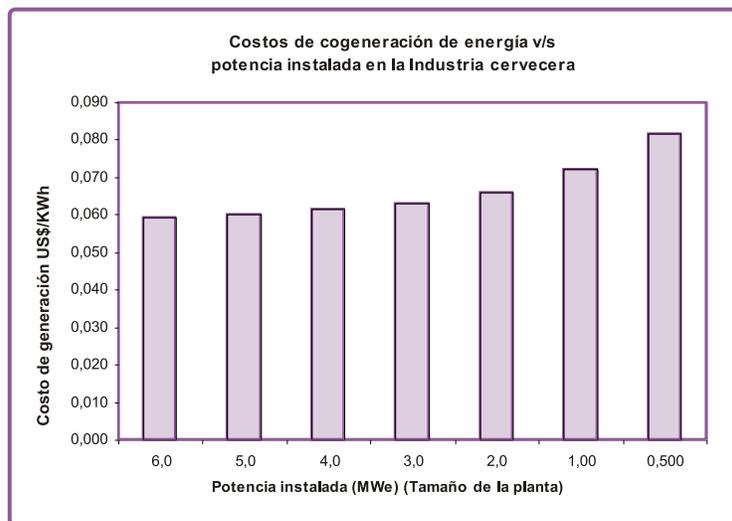
Por esta razón, el costo de generación de energía térmica no puede ser calculado en términos generales. Si se considera, a modo de ejemplo, que se utiliza un 50% de la energía térmica cogenerada (4.200 MWh/año) para reemplazar el uso de diesel en una caldera con un 85% de eficiencia (eficiencia de la caldera de la industria), se puede lograr un ahorro de alrededor de 419 ton/año de combustible.

5. Analisis de sensibilidad en función de la capacidad eléctrica instalada

El procedimiento con el cual se realizó la evaluación económica, se aplicó para diferentes tamaños de plantas cogeneradoras (diferentes potencias instaladas), específicamente 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 y 6000 KWe de potencia instaladas, para de esta forma poder predecir en función del biogás disponible el equivalente en plantas cogeneradas a instalarse por tipo de biomasa en cada región.

La Figura 2 muestra los costos específicos de generación de electricidad en función de la potencia instalada.

Figura 2: Costos de generación de energía en función de la potencia instalada por el biogás producido por la industria cervecera



ANEXO 7: Nomenclatura y listado de los sistemas de tratamiento de aguas servidas a nivel nacional

Tipos de sistema de tratamiento de aguas domesticas en Chile (SISS 2004)

Región	Empresa	N°	Tipo tratamiento	Caudal medio tratado l/s	Disposición de lodos
1	Aguas del altiplano	1	ES	331,45	
		2	ES	254,8	
		3	ES	234,34	
		4	LA		
		5	LA	8,68	Vertedero
2	Aguas Antofagasta ESSAN	1	ES	470,67	
		2	LO	206,86	Vertedero
		3	ES	8,91	
		4	ES	16,48	
		5	ES	25,51	
3	Aguas Chañar	1	LA	26,32	
		2	LA	227,3	Monorelleno/ vertedero
		3	LA	8,34	
		4	LA	4,51	
		5	ES	6,4	
		6	LA	19,93	
		7	LA	217,4	
4	Aguas del Valle	1	ES	1,05	Vertedero
		2	ES	7,95	
		3	ES	0,42	Vertedero/agric
		4	LA	1,49	Vertedero/agric
		5	LA	4,19	Vertedero/agric
		6	LA	8,51	
		7	LA	147,95	
		8	LA	2,54	
		9	LA	3,72	
		10	LA	29,16	
		11	LA	393,14	
		12	LE	17,92	
		13	LE	4,37	
		14	LO	138,42	
		15	LO	1,13	Vertedero/agric
		16	LO	0,79	Vertedero/agric
		17	LO	7,18	
		18	LO	25,25	
		19	LO	2,37	Vertedero/agric
		20	LO	7,23	Vertedero/agric
		21	LO	17,45	
5	ESVAL	1	E	18,95	
		2	LE	15,55	
		3	LO	2,41	
		4	E	30,4	
		5	LA	25,71	
		6	LA	36,82	

		7	E	48,92	
		8	E	30,8	
		9	E	2049,13	
		10	E	32,02	Granja compost
		11	LO	1,62	
		12	LO	30,01	Granja compost
		13	LA	48,49	
		14	LO	159,54	
		15	LE	13,23	
		16	LO	11,07	
		17	LE	3,59	
		18	LA	37,48	
		19	LE	4,46	Vertedero
		20	LA	7,78	
		21	LO	408,09	
		22	E	47,98	Granja compost
		23	LE	5,51	
		24	LO	206,11	
		25	LE	5,8	Vertedero
		26	SBR	2,7	Monorelleno
5	COOPAGUA	27	FQ	1,36	
		28	LO	4,82	
6	ESSBIO	1	LA	9,69	
		2	LA	18,39	
		3	LA	67,56	
		4	LA	15,86	
		5	LA	1,84	
		6	LO	3,43	
		7	LA	14,93	
		8	LA	2,86	
		9	LE	1,27	
		10	LA	10,59	
		11	LO	30,63	
		12	LA	11,28	
		13	LA	12,89	Monorelleno
		14	LO	1,87	
		15	LO	628,78	
		16	LE	83	
		17	LA	12,32	
		18	LA	6,16	
		19	LE	50,86	
		20	LA	101,3	Monorelleno
7	Aguas Nvo Sur Maule	1	LO	68,55	Vertedero
		2	LO	2,62	Vertedero
		3	LO	6,99	
		4	LO	498,14	
		5	LO	2,73	Vertedero
		6	LO	0,37	Vertedero
		7	LA	10	
		8	LA	9,05	
		9	LO	0,34	
		10	LO	49,72	
		11	LA	9,73	
		12	LO	1,09	Vertedero
		13	LO	7,97	
		14	LE	23,72	Vertedero
		15	LA	6,06	

		16	LO	18,32	Vertedero
		17	LO	7,24	Vertedero
8	ESSBIO	1	LO	37,17	
		2	LO	465,12	
		3	LO	1211,01	Vertedero
		4	LO	6,62	Vertedero
		5	E	103,72	Vertedero
		6	LA	56,86	
		7	LO	10,16	Vertedero
		8	LO	8,88	Vertedero
		9	LO	340,37	
		10	E	66,8	
		11	LO	7	
		12	LO	5,57	Vertedero
		13	E	61,21	
		14	FS		Vertedero
		15	LO	30,61	
		16	LO	9,79	
		17	LO	5,02	Vertedero
		18	LO	57,87	
		19	E	373,73	Vertedero
		20	LO	2,5	
		21	LO	7,39	
		22	E	46,04	
		23	LO	9,82	
9	Aguas Araucania	1	LE	5,4	
		2	LE	2,6	
		3	LE	4,38	
		4	LE	11,31	
		5	LO	2,22	
		6	LE	8,04	
		7	LE	2,06	
		8	LO	3,3	
		9	LE	111,52	
		10	LO	15,81	
		11	LE	1,52	
		12	LO	34,42	
		13	LO	107,73	Monorelleno
		14	LA	5,46	Monorelleno
		15	LO	5,5	Monorelleno
10	ESSAL	1	E	5,95	
		2	LO	42,91	Monorelleno
		3	LO	24,09	Monorelleno
		4	LO	41,89	
		5	E	10,91	Monorelleno
		6	LO	11,32	Monorelleno
		7	LO	14,86	
		8	LO	11,16	Monorelleno
		9	LO	22,57	Monorelleno
		10	LO	30,66	Monorelleno
		11	LO	83,51	Vertedero
		12	LO	15,93	
		13	LE	10,18	Monorelleno
		14	LO	5,81	
		15	LO	386,19	
		16	LO	24,21	Monorelleno
		17	LO	44,96	Monorelleno

		18	E	471,02	Monorelleno
		19	LO	35,95	
		20	LO	32,76	Monorelleno
		21	LO	64,04	Vertedero
		22	LO	10,18	Vertedero
		23	LO	17,36	
		24	LO	8,2	Vertedero
	Aguas Décima	25	TP	233,92	Vertedero
11	Aguas Patagonia	1	ZO	4,94	Vertedero
		2	LO	5,36	Vertedero
		3	ZO	95,71	Vertedero
		4	LO	43,68	
		5	LO	3,98	Vertedero
		6	ZO	6,46	Monorelleno
12	Aguas Magallanes	1	ZO	44,59	Monorelleno
		2	E	306,63	Monorelleno
13	STGO PONIENTE	1	LO	8,38	
	AGUAS ANDINAS	2	SBR	38,38	
		3	LO	3353,79	Monorelleno
		4	LO	7693,14	
		5	B	60,8	Monorelleno
		6	LA	67,68	Vertedero
		7	LO	51,17	
		8	LE	13,74	Vertedero
		9	LO	13,79	Monorelleno

ES	Emisario submarino
LA	Lagunas aireadas
LO	Lodos activos
LE	Laguna estabilización
SBR	SBR
FQ	Fisicoquímico
TP	Tratamiento Primario
ZO	Zanjas de oxidación
B	Biofiltros

ANEXO 8:**Listado de la clasificación industrial internacional uniforme, CIU****Listado de la clasificación industrial internacional uniforme, CIU**

CODIGO CIU	Descripción de actividad económica
11121	Cría de ganados bovino.
11123	Producción de leche, excepto acopio.
11124	Cría de ganado ovino y su explotación lanera.
11125	Cría de ganado porcino.
11127	Cría de aves, para producción de carnes y huevos.
21001	Explotación de minas de carbón.
22001	Producción de petróleo crudo.
Agrupación 230	Extracción de minerales metálicos.
Agrupación 290	Extracción de otros minerales.
31111	Matanza de ganado.
31112	Frigoríficos, excepto los clasificados en código 71921 (Código 71921 corresponde a depósitos y almacenamiento con o sin refrigeración, y otros servicios conexos al transporte, almacenamiento y comunicaciones).
31113	Matanza y conservación de aves.
31115	Preparación de fiambres, embutidos y conservas de carnes.
31121	Fabricación de mantequilla y quesos, quesillos, crema, yogurt.
31122	Fabricación de leche condensada, en polvo o elaborada.
31123	Fabricación de helados, sorbetes y otros postres.
31131	Elaboración y envasado de frutas y legumbres, incluidos los jugos.
31132	Elaboración de pasas, frutas y legumbres secas.
31133	Fabricación de dulces, mermeladas y jaleas.
31134	Fabricación de conservas, caldos concentrados y otros alimentos deshidratados.
31141	Elaboración de pescados, crustáceos y otros productos marinos.
31151	Elaboración de aceites y grasas vegetales y subproductos.
31152	Elaboración de aceites y grasas animales no comestibles.
31153	Extracción de aceites de pescado y otros animales marinos.
31154	Producción de harina de pescado.
31174	Elaboración de fideos, tallarines y otras pastas.
31181	Fabricación y refinación de azúcar.
31191	Fabricación de cacao y chocolate en polvo.
31211	Fabricación de condimentos, mostazas y vinagres.
31212	Fabricación de almidón y sus derivados.
31214	Fabricación de levaduras.
31221	Elaboración de alimentos preparados para animales.
31311	Destilación de alcohol etílico.
31312	Destilación, rectificación de bebidas alcohólicas.
31321	Fabricación de vinos.
31322	Elaboración de sidras y otras bebidas fermentadas, excepto las malteadas.
31331	Elaboración de malta, cervezas y bebidas malteadas.
31341	Elaboración de bebidas no alcohólicas y aguas minerales gasificadas y embotellado de aguas naturales y minerales.
32113	Tintorerías industriales y acabado de textiles.
32114	Estampados.
32132	Fabricación y acabado de tejidos de punto, cuando incluyan blanqueo y teñido.
32311	Curtiduría y talleres de acabado.
32321	Preparación y teñido de pieles.
33111	Aserraderos.
34111	Fabricación de pulpa de madera.
34112	Fabricación de papel y cartón.
3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.
34201	Imprenta y encuadernación. (Sólo las que usan tinta)
34202	Fotograbado y litografía.
34204	Editoriales.
35111	Fabricación de productos químicos industriales básicos, orgánicos e inorgánicos.
35121	Fabricación de abonos.

35122	Fabricación de plaguicidas, insecticidas, fungicidas y herbicidas.
35211	Fabricación de pinturas, barnices, lacas, esmaltes y charoles.
35212	Fabricación de productos conexos al CIU 35211.
35221	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos.
35231	Fabricación de jabones, detergentes y champús.
35232	Fabricación de perfumes, cosméticos, lociones, pasta dentífrica y otros productos de tocador.
35291	Fabricación de ceras.
35292	Fabricación de desinfectantes y desodorizantes.
35293	Fabricación de explosivos y municiones.
35294	Fabricación de colas, adhesivos, aprestos y cementos.
35296	Fabricación de tintas.
35301	Refinería de petróleo.
35401	Fabricación de materiales para pavimento y techado a base de asfalto.
35402	Fabricación de briquetas de combustibles y otros productos diversos derivados del petróleo y del carbón.
36201	Fabricación de vidrios planos y templados.
36202	Fabricación de espejos y cristales.
36204	Fabricación de parabrisas y vidrios para vehículos.
36915	Fabricación de material refractario.
36921	Fabricación de cemento, cal, yeso y tubos de cemento.
37201	Fabricación de productos primarios de metales no ferrosos.
38121	Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos.
38196	Esmaltado, barnizado, lacado, galvanizado, chapado y pulido de artículos metálicos.
38211	Fabricación y reparación de motores, turbinas y máquinas de vapor y de gas, excepto calderas.
38323	Fabricación de discos, cintas magnéticas, cassettes.
38326	Fabricación de aparatos y válvulas de radiografías, fluoroscopia y otros aparatos de rayos X.
38332	Fabricación de planchadoras, ventiladoras, enceradoras y aspiradoras y otros aparatos y accesorios eléctricos de uso doméstico.
38392	Fabricación de ampolletas, tubos eléctricos, focos, pilas eléctricas, linternas.
38411	Astilleros.
38421	Construcción, reparación y modificación de maquinaria y equipo ferroviario.
38431	Construcción, montaje, reconstrucción y reformas de vehículos automóviles.
38432	Fabricación de piezas y accesorios para vehículos automóviles tales como motores, frenos, embragues, cajas de cambio, transmisiones, ruedas y chasis.
38441	Fabricación de bicicletas y motocicletas y sus piezas especiales.
38451	Fabricación de aeronaves y sus partes.
38512	Producción de instrumentos y suministros de cirugía general, cirugía dental y aparatos ortopédicos y protésicos.
41011	Generación, transmisión y distribución de electricidad.
41021	Producción y distribución de gas.
61127	Comercio al por mayor. Corretaje de ganado.
61561	Importadores y distribuidores de automóviles camiones y camionetas, motos, repuestos accesorios.
71111	Transporte ferroviario y servicios conexos.
92001	Rellenos sanitarios.
95201	Lavanderías y tintorerías.
95921	Estudios fotográficos.

ANEXO 9:

Estimación de la generación de biogás a partir de residuos sólidos urbanos

Estimación de la generación de biogás a partir de residuos sólidos urbanos

Para determinar la producción de biogás se utiliza la composición porcentual presentada en la Tabla 1 (60% materia orgánica). Se debe destacar que debido a la geografía del país y a los diversos tipos de clima el contenido de humedad en los RSU varía y por lo tanto su capacidad de biodegradación, ya que el agua es necesaria en la reacción de descomposición del material orgánico de rápida y lenta degradabilidad. De allí que es de suma importancia la recirculación del lixiviado que proporciona la humedad necesaria y la entrega de nutrientes esenciales en el proceso de digestión.

Tabla 1: Composición promedio de los RSU en Chile

Componente	Porcentaje
Materia orgánica	60
Papeles y cartones	10
Plásticos	6
Vidrios	3
Metales	3
Otros	18

En un estudio realizado en la escuela de ingeniería en construcción de la PUCV, se determinó la generación de RSU per capita en función de la población existente en el país haciendo mediciones a nivel de vertedero y relleno sanitarios, valores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Promedio de generación de RSU per capita según número de habitantes en zonas urbanas de Chile

Habitantes por área	Promedio generación RSU kg/hab/día
> 2.000.000	0.97
500.000 - 2.000.000	0.74
< 500.000	0.55
Promedio total	0.92

A continuación se describe el procedimiento para la estimación de la generación de biogás mediante tres escenarios, los que se resumen a continuación:

Escenario 1: 100% del residuo se metaniza en digestores

Escenario 2: 50% de la capacidad de rellenos sanitarios posee captación de biogás

Escenario 3: Captación sólo para seguridad

La materia orgánica utilizada en los cálculos es el porcentaje del total de los RSU que se clasifica como material de rápida biodegradabilidad (3 meses a 5 años). El potencial de biogás hasta el año 2010 a partir de la disposición de residuos sólidos urbanos en reactores anaerobios se presenta en la Tabla 3. Para la estimación de la producción de metano se consideró el promedio por habitante proyectado al año 2010, el censo poblacional 2002 del INE y el valor teórico de la generación de biogás a partir de RSU en reactores (60 m³ biogás/ton residuo).

Tabla 3: Estimación de la generación de metano en digestores anaerobios, escenario 1

Año	CH ₄ m ³ /día
2000	476.996
2001	482.359
2002	487.721
2003	493.083
2004	498.445
2005	503.807
2006	508.895
2007	304.464
2008	519.072
2009	524.161
2010	529.249

Escenario 2: De un 25% de recolección actual de biogás en rellenos sanitarios, en este escenario se supone que en un 50% de los rellenos se realiza captación de biogás, a raíz de la implementación del reglamento que se está elaborando. Además, los sitios no considerados rellenos sanitarios actualmente, que aún tienen vida útil, se transforman en rellenos sanitarios a partir de cumplidos los plazos establecidos en el reglamento. En ese momento comienza la generación de biogás en dichos rellenos (puesto que se comienzan a dar condiciones anaeróbicas que antes no existían ya que la disposición de la basura no se hacía con esa tecnología), cuya recolección alcanzaría el 50%. En este escenario, por un lado, los rellenos sanitarios actuales someten a un mayor control las emisiones de biogás, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los rellenos que antes no lo eran, comienzan a generar biogás, el que sólo es capturado en un 50%, lo que implica un aumento neto en las emisiones de GEI en estos rellenos sanitarios transformados.

Escenario 3: Este escenario es similar al anterior, pero el reglamento se promulga sin imponer exigencias de recolección de biogás, a la luz de la posible participación del sector en el MDL, la cual serviría para potenciar el perfeccionamiento de los rellenos sanitarios y aumentar la recolección.

En este caso, la recolección del 75% de las emisiones restantes podría ser considerada adicional en el MDL para colocar bonos de reducciones de emisiones de GEI.

Los escenarios 2 y 3 suponen que la eficiencia máxima que se puede alcanzar en la recolección sólo alcanza a un 75% del total del biogás que se puede generar en un relleno sanitario.

Criterios para el cálculo de la línea base de generación de biogás

En un número no despreciable de sitios de disposición de basura, la información contenida en los catastros no contiene la fecha de inicio de operaciones del sitio o la fecha de su cierre, efectiva o esperada, o ambas. Ambas variables son información imprescindible para poder determinar los años de operación de un relleno (t), es decir los años que un relleno recibió o recibe basura, y los años que lleva cerrado (c). Estos factores son clave para hacer el cálculo de generación de biogás en base al modelo de degradación de primer orden de la EPA. Los casos donde se desconoce el año de cierre del sitio suman en total 123 casos. En la Tabla 4 se indica la información disponible sobre la vida útil de todos los rellenos en Chile.

Tabla 4: Catastro de RS en Chile año 2002

Vida útil e información disponible	Nº sitios
Año de cierre sin información	100
Cerrado sin año de cierre conocido	1
Colapsado sin año de cierre conocido	20
Abandonado, sin año de cierre conocido	1
Vertedero, sin año de cierre conocido	1
Cerrados o a cerrar en 2003	22
Hasta 5 años	48
Entre 5 y 10 años	17
Entre 10 y 20 años	18
Más de 20 años	10

Fuente: "Catastro de las instalaciones de disposición final RSD" 2002, CONAMA

Con respecto al año de inicio se asumió la fecha en que obtuvo su autorización sanitaria o calificación ambiental como fecha de inicio de generación de biogás. Aquellos sitios que no registraban información respecto a esto, se supuso que no tendrían ninguna de las dos y se les asignó la fecha en que se vencería el plazo del nuevo reglamento para modernizar las operaciones de acuerdo a los escenarios definidos. Para aquellos sitios que no se registró fecha de autorización se asumió que esta fue otorgada al inicio de las operaciones. Evidentemente, todo aquel relleno o sitio que no contara con autorización y que tuviera planificado cerrar antes de entrada en vigencia del reglamento se excluyó de la muestra dado que no genera biogás.

Según el Ministerio de Salud todos los sitios con Autorización Sanitaria tendrían tecnología de relleno sanitario. Estos últimos serían 102 sitios y corresponderían aproximadamente al 40% de todos los sitios que operan en el país. Según la CONAMA los sitios de disposición que no poseen Resolución de Calificación Ambiental no serían rellenos sanitarios y los califica como vertederos o basurales. En esta estimación se ha seguido el criterio del Ministerio de Salud por ser el ente fiscalizador de la disposición de residuos en el país. Además, la CONAMA estaría considerando rellenos sólo aquellos sitios que han sido sometidos a su evaluación a partir de 1997, por lo que no parece un criterio comprensivo.

Por otro lado, se considera que los sitios que atienden poblaciones menores a 20.000 habitantes no serían fuentes relevantes de biogás debido a que las condiciones de manejo que imperan en ellos y las cantidades de RSU que reciben no son las apropiadas para su generación. Por lo tanto, para efectos de la estimación de potencial de generación de biogás se ha supuesto que en estos sitios no se generarían cantidades de biogás que fuera importante controlar y han sido excluidos de la muestra (153 casos). Según el catastro 2002 sólo para 57 sitios se registra información sobre la población atendida. Sin embargo, sí se registran las comunas atendidas de manera que en base al Censo 2002 se completó la información sobre población para 13 sitios adicionales.

Otro elemento determinante del potencial de generación de biogás de un relleno sanitario es la tasa de generación anual. Este valor se ve influenciado en términos gruesos por la composición de la basura, en cuanto a su parte orgánica, y por la humedad imperante en el ambiente. Todos factores que afectan las condiciones anaeróbicas que se desarrollan en el relleno. El manual "Landfill for Energy Program" de la EPA sugiere cierto rango de valores para este factor dependiendo del clima de la zona donde se encuentra ubicado el relleno. Para los efectos del cálculo de la generación de biogás, a los rellenos chilenos se les asignan valores de entre estos rangos de acuerdo a su ubicación geográfica y su régimen de lluvias, aplicándose los valores mínimos del rango a aquellos rellenos ubicados en las zonas más secas del extremo norte chileno y los valores máximos del rango a aquellos rellenos ubicados en las zonas más lluviosas del territorio. Los valores se registran en la Tabla 5:

Tabla 5: Tasa anual de generación de biogás por región

Región	Nombre de la Región	k
I	Tarapacá	0,02
II	Antofagasta	0,02
III	Atacama	0,035
IV	Coquimbo	0,035
V	Valparaíso	0,075
VI	Del Libertador General Bernardo O'Higgins	0,075
VII	Del Maule	0,075
VIII	Del Biobío	0,1
IX	De la Araucanía	0,225
X	De Los Lagos	0,35
XI	Del General Carlos Ibáñez del Campo	0,35
XII	De Magallanes y la Antártica Chilena	0,225
RM	Metropolitana	0,075

k=Tasa de generación de biogás

Fuente: Bitrán y Asociados, 2003

Otro elemento determinante de la generación de biogás es el potencial de generación de la basura, que se mide en metros cúbicos por cada tonelada de basura, lo que depende de variables relacionadas al contenido de humedad, materia orgánica, etc. Como no se posee ninguna estimación de este potencial para Chile, se ha tomado el valor promedio del rango de 141 y 180 m³/ton sugerido por la EPA.

Los criterios anteriores determinaron la eliminación sucesiva de cierto número de sitios de disposición consignados en los catastros de la muestra. La muestra final utilizada se definió en base a la disponibilidad simultánea de todas las variables necesarias para determinar la generación de biogás según el modelo de degradación de primer orden de la EPA. En la Tabla 6 se presenta la muestra final de 53 rellenos sanitarios, que reciben 4.700.000 toneladas anuales y atienden a una población cercana a las 10.700.000 personas, indicándose cuáles rellenos sanitarios cuentan con captación de biogás (CB).

Tabla 6: Línea base de información para el cálculo de la generación de biogás a partir de rellenos sanitarios

Región	Comuna	Nombre	CB	Población	Ton/ mes	Año inicio autorización	Año cierre	k
I	Iquique	El Boro	Si	173.000	6.600	2.005	2.010	0,020
II	Calama	Nuevo RS	Si	136.739	3.300	2.001	2.026	0,020
II	Antofagasta	La Chimba - Calama	No	298.153	18.280	2.005	2.007	0,020
III	Vallenar	VM - Vallenar	Si	47.672	1.560	2.005	2.025	0,035
III	Copiapó	Viñita Azul	No	127.712	5.000	1.992	2.003	0,035
IV	Vicuña	El Mollaco	No	24.010	430	2.001	2.016	0,035
IV	Ovalle	El Incienso	No	98.089	1.950	2.000	2.006	0,035
IV	Monte Patria	Cerro El Manchado	No	30.276	360	2.000	2.005	0,035
IV	Illapel	Qbda Lo Gallardo	No	30.355	540	1.996	2.005	0,035
IV	Coquimbo	El Panul	No	269.876	11.616	1.990	2.004	0,035
IV	Salamanca	El Queñe	No	24.500	540	1.997	2.003	0,035
V	Papudo	Papudo	No	42.056	606	1.994	2.002	0,075
V	San Felipe	La Hormiga	No	97.027	3.600	1.996	2.025	0,075
V	San Esteban	Las Bandurrias	No	91.766	2.550	1.996	2.009	0,075
V	San Antonio	V Coinca	No	33.223	3.998	1.998	2.006	0,075
V	San Antonio	Eco Garbage	No	101.577	4.109	2.000	2.005	0,075
V	Limache	Limache	No	194.053	3.377	1.996	2.005	0,075
V	Quillota	San Pedro	No	163.613	2.847	1.996	2.004	0,075
V	Quilpué	Quilpué	No	95.268	2.658	1.993	2.003	0,075
V	Casablanca	VM de Casablanca	No	21.823	609	1.985	2.000	0,075
V	Valparaíso	EL Molle	Si	270.242	7540	1.983	2003	0,075
V	Concon	V Lajarrilla	No	330.191	9.212	1.985	1.995	0,075
VI	Requinoa	Colihues - La Yesca	Si	406.933	12.000	1.999	2.027	0,075
VI	Chimbarongo	Chimbarongo	No	101.100	2.358	1.993	2.000	0,075
VII	Molina	V Itahue	No	24.500	630	1.993	2.013	0,075
VII	Cauquenes	Santa Sofía	No	46.676	540	1.996	2.002	0,075
VII	Teno	RS El Guanaco	Si	110.000	4.200	2.002	2.052	0,075
VII	Talca	RS El Retamo	Si	180.000	5.400	2.002	2.041	0,075
VII	San Clemente	Los Maitenes	No	57.879	260	1.995	2.005	0,075
VII	Constitución	Viñales	No	47.938	240	1.995	2.001	0,075
VII	San Javier	El Paisaje	No	52.518	1.500	1.997	2.001	0,075
VII	Parral	La Lloica	No	65.766	2.300	1.998	2.001	0,075
VII	Linares	La Ballica	Si	129.029	4.200	1.983	2.001	0,075
VIII	Mulchén	Desconocido	No	20.559	260	1.998	2.012	0,100
VIII	Chillán Viejo	V Chillán Viejo	No	184.037	3.000	1.993	2.020	0,100
VIII	Cabrero	SERVIMAR	No	247.751	2.160	1.997	2.017	0,100
VIII	Nacimiento	San Antonio	No	25.579	422	1.996	2.009	0,100
VIII	Talcahuano	V Carriel Norte	No	302.580	7.298	1.989	2.003	0,100
VIII	Penco	V Cosmito	No	262.077	10.721	1.997	2.002	0,100
VIII	Cañete	V Cañete	No	22.675	436	1.997	2.001	0,100
IX	Villarrica	RS Villarrica	Si	30.520	611	2.000	2.028	0,225
IX	Temuco	VM - Temuco	Si	220.936	6.800	2.002	2.022	0,225
IX	Angol	VM - Angol	No	50.000	1.713	1.988	2.002	0,225

Región	Comuna	Nombre	CB	Población	Ton/ mes	Año inicio autorización	Año cierre	k
IX	Victoria	VM - Victoria	No	22.000	1.050	1.997	2.001	0,225
X	Castro	Punahuel	No	31.000	540	2.005	2.014	0,350
X	Quellón	VM - Quellón	No	21.413	600	2.005	2.007	0,350
X	Osorno	Curaco	No	202.517	6.160	2.005	2.006	0,350
X	Puerto Montt	VM - Pto.Montt	No	205.000	6.000	2.005	2.006	0,350
XI	Coyhaique	V Coyhaique	No	44.000	917	1.982	2.003	0,350
RM	Maipú	RS Santiago Poniente	Si	1.292.308	40.000	2.002	2.022	0,075
RM	Talagante	RS Santa Marta	Si	861.538	60.000	2.002	2.022	0,075
RM	Til Til	RS Loma Los Colorados	Si	2.800.000	130.000	1.996	2.016	0,075
RM	Melipilla	Popeta	No	94.540	500	2.003	2.004	0,075

CB: Captación de biogás

K: Tasa de generación de biogás

Para el cálculo de la descomposición de aproximadamente 5.000.000 toneladas anuales de residuos domiciliarios que se generan en Chile, las cuales en un 85% son depositadas en rellenos sanitarios se utilizó el modelo de degradación de primer orden de la EPA (significa una degradación proporcional a la concentración de materia orgánica). En las Tablas 7 y 8 se presentan las estimaciones del potencial de generación de biogás y metano de los 53 rellenos sanitarios considerados, y de la recolección en los tres escenarios definidos anteriormente.

Cabe mencionar que en los escenarios 2 y 3 se supone que sólo el 25% del gas que es posible recolectar en los rellenos sería capturado por los sistemas implementados actualmente. Los porcentajes de recolección se aplican sobre un máximo de eficiencia de sólo 75% debido a la limitante que significan los sistemas de recolección. El 25% restante, se seguiría emitiendo en los escenarios 2 y 3. Los resultados de los cálculos aquí explicados se encuentran en el capítulo 3.18, en las Tablas 7 y 8 las que contienen la recolección y emisiones anuales actuales de biogás y metano, la recolección y emisiones acumuladas en un período de 25 años, y la recolección y emisiones promedio anuales en el período en los escenarios 2 y 3.

Tabla 7: Estimación de la generación en m³ de biogás y metano de rellenos sanitarios bajo el escenario 2

Región	Nombre	Emisiones actual biogás m ³ /año	Emisiones acum. (25años)	Emisiones prom. anual	Recolección actual biogás	Recolección acum. (25 años)	Recolección prom. anual
I	El Boro	0	15.121	605	0	14.994	600
II	Nuevo RS - Calama	194	32.558	1.302	65	31.613	1.265
II	La Chimba	0	17.465	699	0	17.114	685
III	VM – Vallenar	0	15.998	640	0	15.946	638
III	Viñita Azul	3.185	55.084	2.203	1.062	46.637	1.865
IV	El Mollaco	44	4.916	197	15	4.706	188
IV	El Incienso	301	10.325	413	100	9.088	364
IV	Cerro El Manchado	56	1.601	64	19	1.387	55
IV	Qbda Lo Gallardo	206	4.654	186	69	3.994	160
IV	El Panul	9.012	170.199	6.808	3.004	144.551	5.782
IV	El Queñe	174	3.014	121	58	2.552	102
V	Papudo	475	5.519	221	158	4.332	173
V	La Hormiga	2.585	121.198	4.848	862	112.860	4.514
V	Las Bandurrias	1.831	42.510	1.700	610	36.604	1.464
V	V Cónica	2.064	40.034	1.601	688	32.918	1.317
V	Eco Garbage	1.283	25.360	1.014	428	20.601	824

Región	Nombre	Emisiones actual biogás m ³ /año	Emisiones acum. (25años)	Emisiones prom. anual	Recolección actual biogás	Recolección acum. (25 años)	Recolección prom. anual
V	Limache	2.425	37.914	1.517	808	30.407	1.216
V	San Pedro	2.044	27.902	1.116	681	22.076	883
V	Quilpue	2.709	31.490	1.260	903	24.715	989
V	VM de Casablanca	816	9.481	379	272	7.442	298
V	El Molle	15.491	180.074	7.203	5.164	141.334	5.653
V	V Lajarrilla	6.625	77.011	3.080	2.208	60.443	2.418
VI	Colihues - La Yesca	4.975	340.040	13.602	1.658	321.912	12.876
VI	Chimbarongo	1.485	17.264	691	495	13.550	542
VII	V Itahue	642	16.901	676	214	14.935	597
VII	Santa Sofía	319	3.710	148	106	2.912	116
VII	RS El Guanaco	442	95.023	3.801	147	92.107	3.684
VII	RS El Retamo	568	122.172	4.887	189	118.423	4.737
VII	Los Maitenes	213	3.247	130	71	2.600	104
VII	Viñales	136	1.578	63	45	1.239	50
VII	El Paisaje	570	6.626	265	190	5.201	208
VII	La Lloica	658	7.654	306	219	6.007	240
VII	La Ballica	7.082	82.322	3.293	2.361	64.612	2.584
VIII	Desconocido	169	4.885	195	56	4.312	172
VIII	V Chillán Viejo	3.663	115.377	4.615	1.221	104.313	4.173
VIII	SERVIMAR	1.660	58.949	2.358	553	53.531	2.141
VIII	San Antonio	373	7.330	293	124	6.144	246
VIII	V Carriel Norte	12.042	113.843	4.554	4.014	84.784	3.391
VIII	V Cosmito	6.502	61.466	2.459	2.167	45.776	1.831
VIII	V Cañete	201	1.895	76	67	1.412	56
IX	RS Villarrica	465	22.621	905	155	20.957	838
IX	VM - Temuco	1.995	191.708	7.668	665	180.157	7.206
IX	VM - Angol	2.959	14.140	566	986	8.099	324
IX	VM - Victoria	677	3.234	129	226	1.852	74
X	Punahuel	0	5.858	234	0	5.704	228
X	VM - Quellón	0	1.365	55	0	1.193	48
X	Curaco	0	7.348	294	0	5.583	223
X	VM - Pto.Montt	0	7.157	286	0	5.438	218
XI	V Coyhaique	2.501	8.310	332	834	3.908	156
RM	RS Santiago Poniente	4.208	827.117	33.085	1.403	799.347	31.974
RM	RS Santa Marta	6.311	1.240.676	49.627	2.104	1.199.020	47.961
RM	RS Loma Los Colorados	93.335	3.344.706	133.788	31.112	3.043.604	121.744
RM	Popeta	0	584	23	0	483	19
		Actual	Acum.	Promedio	Actual	Acum.	Promedio
			(25 años)	Anual		(25 años)	anual
	Total biogás	205.671	7.664.534	306.581	68.556	7.005.429	280.214
	Promedio biogás	3.881	144.614	5.785	1.294	132.178	5.287
	Total metano	102.836	3.832.267	153.291	34.278	3.502.715	140.107
	Promedio metano	1.940	72.307	2.892	647	66.089	2.644

Fuente: Bitrán y asociados, 2003

Tabla 8: Estimación de la generación en m³ de biogás y metano de rellenos sanitarios bajo el escenario 3

Región	Nombre	Emisiones actual biogas m3/año	Emisiones acum. (25años)	Emisiones prom. anual	Recolección actual biogás	Recolección acum.. (25 años)	Recolección prom. anual
I	El Boro	0	22.587	903	0	7.529	301
II	Nuevo RS - Calama	194	48.128	1.925	65	16.043	642
II	La Chimba	0	25.935	1.037	0	8.645	346
III	VM - Vallenar	0	23.959	958	0	7.986	319
III	Viñita Azul	3.185	76.291	3.052	1.062	25.430	1.017
IV	El Mollaco	44	7.217	289	15	2.406	96
IV	El Incienso	301	14.560	582	100	4.853	194
IV	Cerro El Manchado	56	2.241	90	19	747	30
IV	Qbda Lo Gallardo	206	6.486	259	69	2.162	86
IV	El Panul	9.012	236.063	9.443	3.004	78.688	3.148
IV	El Queñe	174	4.174	167	58	1.391	56
V	Papudo	475	7.389	296	158	2.463	99
V	La Hormiga	2.585	175.543	7.022	862	58.514	2.341
V	Las Bandurrias	1.831	59.335	2.373	610	19.778	791
V	V Coinca	2.064	54.714	2.189	688	18.238	730
V	Eco Garbage	1.283	34.470	1.379	428	11.490	460
V	Limache	2.425	51.241	2.050	808	17.080	683
V	San Pedro	2.044	37.484	1.499	681	12.495	500
V	Quilpué	2.709	42.154	1.686	903	14.051	562
V	VM de Casablanca	816	12.692	508	272	4.231	169
V	El Molle	15.491	241.056	9.642	5.164	80.352	3.214
V	V Lajarrilla	6.625	103.091	4.124	2.208	34.364	1.375
VI	Colihues - La Yesca	4.975	496.464	19.859	1.658	165.488	6.620
VI	Chimbarongo	1.485	23.111	924	495	7.704	308
VII	V Itahue	642	23.877	955	214	7.959	318
VII	Santa Sofía	319	4.966	199	106	1.655	66
VII	RS El Guanaco	442	140.347	5.614	147	46.782	1.871
VII	RS El Retamo	568	180.446	7.218	189	60.149	2.406
VII	Los Maitenes	213	4.385	175	71	1.462	58
VII	Viñales	136	2.113	85	45	704	28
VII	El Paisaje	570	8.870	355	190	2.957	118
VII	La Lloica	658	10.246	410	219	3.415	137
VII	La Ballica	7.082	110.200	4.408	2.361	36.733	1.469
VIII	Desconocido	169	6.898	276	56	2.299	92
VIII	V Chillán Viejo	3.663	164.768	6.591	1.221	54.923	2.197
VIII	SERVIMAR	1.660	84.360	3.374	553	28.120	1.125
VIII	San Antonio	373	10.106	404	124	3.369	135
VIII	V Carriel Norte	12.042	148.970	5.959	4.014	49.657	1.986
VIII	V Cosmito	6.502	80.432	3.217	2.167	26.811	1.072
VIII	V Cañete	201	2.480	99	67	827	33
IX	RS Villarrica	465	32.683	1.307	155	10.894	436
IX	VM - Temuco	1.995	278.899	11.156	665	92.966	3.719
IX	VM - Angol	2.959	16.680	667	986	5.560	222
IX	VM - Victoria	677	3.815	153	226	1.272	51
X	Punahuel	0	8.672	347	0	2.891	116
X	VM - Quellón	0	1.919	77	0	640	26
X	Curaco	0	9.698	388	0	3.233	129
X	VM - Pto.Montt	0	9.446	378	0	3.149	126
XI	V Coyhaique	2.501	9.163	367	834	3.054	122
RM	RS Santiago Poniente	4.208	1.219.848	48.794	1.403	406.616	16.265
RM	RS Santa Marta	6.311	1.829.772	73.191	2.104	609.924	24.397
RM	RS Loma Los Colorados	93.335	4.791.232	191.649	31.112	1.597.077	63.883
RM	Popeta	0	800	32	0	267	11
		Actual	Acum. (25 años)	Prom. Anual	Actual	Acum. (25 años)	Promedio anual
	Total Biogás	205.671	11.002.476	440.101	68.556	3.667.493	146.701
	Promedio Biogás	3.881	207.594	8.304	1.294	69.198	2.768
	Total metano	102.836	5.501.238	220.051	34.278	1.833.747	73.351
	Promedio metano	1.940	103.797	4.152	647	34.599	1.384

Fuente: Bitrán y asociados

