

Documento de trabajo proyecto general

MARCO REGULATORIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO

RESOLUCIÓN CRA 720 DE 2015

“Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones”

Julio de 2015

CONTENIDO

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	9
1.1	CRONOLOGÍA DE LA EXPEDICIÓN DEL MARCO TARIFARIO.....	11
2.	<i>OBJETIVOS</i>	12
3.	<i>DIAGNÓSTICO</i>	12
3.1	ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DEL MERCADO	14
3.2	ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS	15
3.3	ASPECTOS RELEVANTES DE LA CALIDAD DEL SERVICIO.....	15
3.4	ACTUACIONES PARTICULARES	17
3.5	DISPOSICIÓN FINAL.....	18
4.	<i>JUSTIFICACIÓN</i>	18
5.	<i>PARÁMETROS GENERALES PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE COSTOS Y TARIFAS</i>	21
5.1	TASA DE DESCUENTO.....	21
5.1.1	Metodología para el cálculo de la tasa de descuento	21
5.1.2	Tratamiento de las variables.....	24
5.1.3	Cálculo del WACC.....	30
5.2	RENTABILIDAD.....	31
5.2.1	Costos financieros por inversión	32
5.2.2	Costos financieros de capital de trabajo.....	32
5.3	FACTOR DE GASTOS ADMINISTRATIVOS.....	33
5.3.1	Metodología	34
5.3.2	Resultados.....	35
5.4	SEGMENTACIÓN.....	36
5.5	COSTOS LABORALES	37
5.6	ACTIVIDADES COLECTIVAS DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO	40
6.	<i>COSTO POR ACTIVIDAD</i>	41
6.1	COSTO DE COMERCIALIZACIÓN POR SUScriptor	42
6.1.1	Costos asociados al catastro de suscriptores	43
6.1.2	Costos de liquidación por suscriptor.....	44
6.1.3	Costos asociados a la facturación.....	44
6.1.4	Costos asociados a las campañas y publicaciones	47
6.1.5	Costo asociado a la atención al usuario.....	47
6.1.6	Costo asociado a las gestiones adicionales.....	49
6.1.7	Costo asociado a las actividades relacionadas con aprovechamiento	51
6.1.8	Costo máximo para el componente de comercialización	51
6.2	COSTO DE BARRIDO Y LIMPIEZA POR SUScriptor (CBLs)	53
6.2.1	Aspectos relacionados con la responsabilidad.....	54
6.2.2	Barrido y limpieza de vías y áreas públicas manual	55
6.2.3	Barrido y limpieza de vías mecánico	59
6.2.4	Costo máximo para el componente de barrido y limpieza	61
6.2.5	Costo de transporte y disposición final de los residuos de barrido y limpieza	62
6.3	COSTO DE LIMPIEZA URBANA POR SUScriptor (CLUS).....	62
6.3.1	Costos de dotación.....	64
6.3.2	Costo de poda de árboles.....	65
6.3.3	Costo de corte de césped (CCC)	66
6.3.4	Costo de lavado de áreas públicas (CLAV).....	68
6.3.5	Costo de suministro, instalación y mantenimiento de cestas en vías y áreas públicas (CCE).....	70
6.3.6	Costo de limpieza de playas (CLP)	70
6.4	COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE (CRT)	75
6.4.1	Estimación de tiempos.....	78
6.4.2	Estimación de recursos	80
6.4.3	Estimación de costos.....	81
6.4.4	Estimación de las curvas	87
6.4.5	Descuento al CRT por antigüedad de los vehículos	90

6.4.6	Factor de salinidad	90
6.4.7	Costo de recolección y transporte de residuos sólidos con aporte bajo condición.....	91
6.5	COSTO DE DISPOSICIÓN FINAL (CDF)	92
6.5.1	Costos de inversión	95
6.5.2	Costos de operación.....	101
6.5.3	Costo máximo de disposición final	106
6.5.4	Costo de disposición final con aporte bajo condición.....	109
6.6	COSTO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS (CTL).....	110
6.6.1	Definición de escenarios de calidad	114
6.6.2	Costo máximo de tratamiento de lixiviados.....	118
6.6.3	Control de los volúmenes de lixiviados tratados	124
6.6.4	Aplicación del costo del tratamiento de lixiviados	124
6.6.5	Costo de tratamiento de lixiviados con aportes bajo condición.....	125
6.7	REMUNERACION DEL APROVECHAMIENTO	125
6.7.1	Objetivos	127
6.7.2	Antecedentes.....	127
6.7.3	Diagnóstico nacional de la actividad de aprovechamiento.....	130
6.7.4	Mercado de residuos aprovechables.....	131
6.7.5	La actividad de aprovechamiento de acuerdo con Decreto 1077 de 2015 y el Auto 275 de 2011 de la Corte Constitucional.....	132
6.7.6	Esquema operativo de la actividad de aprovechamiento	135
6.7.7	Remuneración del aprovechamiento.....	135
6.7.8	Valor Base del componente de aprovechamiento (VBA).....	137
7.	DESCUENTOS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL SERVICIO	138
7.1	OBJETIVO	139
7.2	JUSTIFICACIÓN.....	139
7.3	ESQUEMA DE CALIDAD Y DESCUENTOS.....	140
7.3.1	Indicadores de calidad del servicio público de aseo	141
7.3.2	Formulación de los descuentos.....	154
7.3.3	Verificación y certificación de la estimación y aplicación de los descuentos	160
7.3.4	Estándares de servicio	161
8.	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN DE COSTOS.....	162
8.1	COSTO DE BARRIDO Y LIMPIEZA DE VÍAS Y ÁREAS PÚBLICAS POR SUSCRIPTOR (CBLS) Y DEL COSTO DE LIMPIEZA URBANA POR SUSCRIPTOR (CLUS).....	163
8.2	COSTO DE COMERCIALIZACIÓN Y COSTO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS	163
8.3	COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	164
8.4	COSTO DE DISPOSICIÓN FINAL	164
9.	FACTOR DE PRODUCTIVIDAD	164
9.1	METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE PRODUCTIVIDAD.....	165
9.2	METODOLOGÍA CON BASE EN FRONTERA ESTOCÁSTICA DE FUNCIONES DE COSTO	166
9.2.1	Definición de función de costos.....	166
9.2.2	Cálculo del factor de productividad	168
9.2.3	Fuente de información	169
9.3	METODOLOGÍA CON BASE EN FRONTERA ESTOCÁSTICA CON BASE EN FUNCIONES DE DISTANCIA DE INSUMOS.....	171
9.3.1	Definición funciones de distancia de insumos.....	171
9.3.2	Cálculo del factor de productividad por empresa	173
9.3.3	Fuentes de información	174
9.4	FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARA EL SECTOR DE ASEO UTILIZANDO LOS RESULTADOS DE LAS METODOLOGÍAS DESCRITAS.....	175
10.	MEDICIÓN EN EL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO.....	176
10.1	ASIGNACIÓN DE RESIDUOS POR SUSCRIPTOR.....	179
10.1.1	Regla de distribución de los residuos no aprovechables por suscriptor	180
10.1.2	Regla de distribución de los residuos de barrido y limpieza y limpieza urbana por suscriptor ...	181

10.1.3	Regla de distribución de los residuos aprovechables y de rechazo por suscriptor.....	182
10.1.4	Balance de Producción de residuos del área de prestación del servicio facturados (Qz)	183
10.2	FACTORES DE PRODUCCIÓN POR TIPO DE SUSCRIPTOR	184
11.	METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE TARIFAS FINALES AL SUSCRIPTOR Y FACTURACIÓN DEL SERVICIO DE ASEO.....	186
11.1	COSTO FIJO TOTAL (CFT)	186
11.2	COSTO VARIABLE POR TONELADA	186
11.2.1	Costo variable por tonelada de residuos no aprovechables	186
11.2.2	Remuneración por tonelada de residuos aprovechables	187
11.3	TARIFA FINAL AL SUSCRIPTOR.....	188
11.4	FACTURACIÓN DEL SERVICIO	191
11.5	BALANCE DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS POR ÁREAS DE PRESTACION DE SERVICIO FACTURADOS	192
12.	RESUMEN COSTOS.....	193
13.	REFERENCIAS	195

TABLAS

TABLA 1.	ESTUDIOS REALIZADOS PARA IDENTIFICAR EL ENFOQUE DEL NUEVO MARCO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO	12
TABLA 2.	DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA EL CÁLCULO DEL WACC	30
TABLA 3.	ESTIMACIÓN DE WACC SERVICIO PÚBLICO DE ASEO	31
TABLA 4.	CÁLCULO DEL COEFICIENTE ALFA RESOLUCIÓN CRA 351 DE 2005.....	34
TABLA 5.	CUENTAS INCLUIDAS QUE ERAN EXCLUIDAS EN LA RESOLUCIÓN CRA 688 DE 2014.....	35
TABLA 6.	COSTOS LABORALES	37
TABLA 7.	COSTOS DE DOTACIÓN POR MES.....	37
TABLA 8.	FACTORES	38
TABLA 9.	SALARIO MENSUAL POR TIPO DE EMPLEADO	39
TABLA 10.	COSTO DE CATASTRO POR SUSCRIPTOR.....	44
TABLA 11.	COSTO DE LIQUIDACIÓN POR SUSCRIPTOR.....	44
TABLA 12.	COSTO DE FACTURACIÓN CON ENERGÍA POR SUSCRIPTOR.....	46
TABLA 13.	COSTO DE FACTURACIÓN CON ACUEDUCTO POR SUSCRIPTOR	47
TABLA 14.	COSTO DE PUBLICACIONES Y CAMPAÑAS POR SUSCRIPTOR	47
TABLA 15.	ESTIMACIÓN ALTERNATIVA COSTO DE PERSONAL DE ATENCIÓN AL USUARIO	48
TABLA 16.	ESTIMACIÓN ALTERNATIVA COSTO DE INSUMOS DE ATENCIÓN AL USUARIO	48
TABLA 17.	ESTIMACIÓN FACTOR PRESTACIONAL	48
TABLA 18.	COSTO DE ATENCIÓN AL USUARIO POR SUSCRIPTOR.....	49
TABLA 19.	ESTIMACIÓN ALTERNATIVA COSTO DE CARGUE AL SUI.....	49
TABLA 20.	COSTO DE ESTRATIFICACIÓN POR SUSCRIPTOR.....	51
TABLA 21.	COSTO DE COMERCIALIZACIÓN POR SUSCRIPTOR	52
TABLA 22.	COSTOS DE PERSONAL MENSUAL	56
TABLA 23.	FACTOR DE SUPERVISIÓN	56
TABLA 24.	COSTOS FIJOS ANUALES DE UN CAMIÓN (F).....	58
TABLA 25.	COSTOS VARIABLES POR AÑO DE UN CAMIÓN PARA MOVILIZACIÓN DE UTENSILIOS	58
TABLA 26.	COSTOS FIJOS ANUALES ASOCIADOS A UNA MOTO	58
TABLA 27.	COSTOS VARIABLES POR AÑO DE UNA MOTO	59
TABLA 28.	FACTOR DE TRANSPORTE DE PERSONAL E IMPLEMENTOS.....	59
TABLA 29.	COSTOS DE EQUIPO DEL OPERARIO	59
TABLA 30.	COSTOS FIJOS ANUALES DE UNA BARREDORA MECÁNICA.....	61
TABLA 31.	COSTO DE VARIABLE ANUAL DE UNA BARREDORA MECÁNICA	61
TABLA 32.	COSTO MÁXIMO PARA EL COMPONENTE DE BARRIDO Y LIMPIEZA.....	62
TABLA 33.	COSTO DE DOTACIÓN EN LA ACTIVIDAD DE LAVADO MENSUAL.....	64
TABLA 34.	COSTO DE DOTACIÓN EN LA ACTIVIDAD DE CORTE DE CÉSPED MENSUAL.....	65
TABLA 35.	COSTOS RECONOCIDOS PARA EL CORTE DE CÉSPED	66

TABLA 36. COSTO MENSUAL DE OPERACIÓN E INVERSIÓN EN LA ACTIVIDAD DE CORTE DE CÉSPED	66
TABLA 37. COSTO MENSUAL DE MANTENIMIENTO Y DE COMBUSTIBLE EN LA ACTIVIDAD DE CORTE DE CÉSPED	67
TABLA 38. COSTO TOTAL POR METRO CUADRADO (M ²)	67
TABLA 39. COMPARACIÓN COSTO DE CORTE DE CÉSPED POR CIUDAD	68
TABLA 40. PRECIOS DE REFERENCIA PARA LA ACTIVIDAD DE LAVADO	68
TABLA 41. COSTOS DE OPERACIÓN ACTIVIDAD DE LAVADO	68
TABLA 42. COSTOS DE INVERSIÓN ACTIVIDAD DE LAVADO	69
TABLA 43. COSTO DE ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE CESTAS	70
TABLA 44. COSTO DE INVERSIÓN Y MANTENIMIENTO DE CESTAS	70
TABLA 45. COSTO LABORAL DE PLAYAS	71
TABLA 46. FACTOR DE SUPERVISIÓN	72
TABLA 47. EQUIPO ANUAL POR OPERARIO	72
TABLA 48. COSTO INVERSIÓN EQUIVALENTE ANUAL EN LIMPIEZA DE PLAYAS MECÁNICA	74
TABLA 49. COSTOS FIJOS ANUALES DE UN EQUIPO DE LIMPIEZA MECÁNICA DE PLAYAS	74
TABLA 50. COSTO DE VARIABLE ANUAL DE UN EQUIPO DE LIMPIEZA MECÁNICA DE PLAYAS	74
TABLA 51. COSTO MÁXIMO ACTIVIDAD DE LIMPIEZA DE PLAYAS	75
TABLA 52. CAPACIDAD MEDIA VEHÍCULO COMPACTADORES	77
TABLA 53. CAPACIDAD VEHÍCULOS TRACTO CAMIÓN	78
TABLA 54. VELOCIDADES DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	79
TABLA 55. LONGITUD DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE*	80
TABLA 56. ESTIMACIÓN DE TIEMPOS*	80
TABLA 57. COMPOSICIÓN DE LAS VÍAS	82
TABLA 58. COSTOS VARIABLES: PESOS POR KILÓMETRO	82
TABLA 59. COSTOS MENSUALES VARIABLES TOTALES*	83
TABLA 60. COSTOS FIJOS MENSUALES POR VEHÍCULO	83
TABLA 61. COSTO DE INVERSIÓN POR VEHÍCULO	84
TABLA 62. COSTOS DE CAPITAL ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	85
TABLA 63. COSTOS DE OPERACIÓN ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	85
TABLA 64. ESTIMACIÓN COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE: FUNCIÓN UNO	87
TABLA 65. ESTIMACIÓN COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE: FUNCIÓN DOS	88
TABLA 66. ESTIMACIÓN GRANEL: FUNCIÓN DOS	89
TABLA 67. FACTOR DE SALINIDAD	91
TABLA 68. VARIABLES MODELO DE INGENIERÍA	94
TABLA 69. COSTOS DE ESTUDIOS Y EVALUACIONES	96
TABLA 70. INFORMACIÓN DE ENTRADA PARA MODELACIÓN DE VÍAS EXTERNAS	97
TABLA 71. INFORMACIÓN DE ENTRADA PARA MODELACIÓN DE VÍAS INTERNAS	98
TABLA 72. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	98
TABLA 73. COSTOS DE ADECUACIÓN DE LOS MÓDULOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	99
TABLA 74. COSTOS INSTRUMENTACIÓN PARA CONTROL Y MONITOREO	100
TABLA 75. ACTIVIDADES DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL: ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	101
TABLA 76. MAQUINARIA PESADA POR TIPO DE RELLENO	102
TABLA 77. COSTOS ADQUISICIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MAQUINARIA PESADA	102
TABLA 78. COSTOS EQUIPOS MENORES	103
TABLA 79. COSTOS ASOCIADOS AL MANEJO DE RESIDUOS	105
TABLA 80. DEDICACIÓN DEL PERSONAL EN LA ETAPA DE POSCLAUSURA	105
TABLA 81. COSTOS ETAPA DE POSCLAUSURA	106
TABLA 82. COSTO DE DISPOSICIÓN FINAL POR TIPO DE RELLENO	106
TABLA 83. % COSTO DE CAPITAL DE ACUERDO AL TIPO DE RELLENO	109
TABLA 84. RESUMEN OBJETIVOS DE CALIDAD	118
TABLA 85. FUNCIÓN DE PRECIO TECHO POR METRO CÚBICO (M ³) DE LIXIVIADO TRATADO POR OBJETIVO DE CALIDAD	119

TABLA 86. PRECIO TECHO EN PESOS POR METRO CÚBICO (M ³) DE LIXIVIADO TRATADO - MES (CTLM).....	120
TABLA 87. PORCENTAJE (%) DE REDUCCIÓN DEL COSTO DE CAPITAL DE ACUERDO POR ESCENARIO DE TRATAMIENTO.....	125
TABLA 88. PROMEDIO DEL INDICADOR DE RECLAMOS COMERCIALES PARA DIFERENTES RANGOS DE LAS MEJORES EMPRESAS EN LOS AÑOS 2010, 2011 Y 2012	147
TABLA 89. MÁXIMO DESCUENTO POSIBLE POR SEMESTRES CONSECUTIVOS DE INCUMPLIMIENTO	156
TABLA 90. NOMENCLATURA DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO DEL VALOR DE DESCUENTO POR SUScriptor AFECTADO PARA CADA INDICADOR	156
TABLA 91. INDICADORES DE SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DEL SERVICIO	161
TABLA 92. VARIABLES REQUERIDAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE PRODUCTIVIDAD CON BASE EN COSTOS	170
TABLA 93. VARIABLES REQUERIDAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE PRODUCTIVIDAD CON BASE EN TECNOLOGÍA	174
TABLA 94. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS POR TIPO DE SUScriptor	185
TABLA 95. FACTORES DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR TIPO DE SUScriptor	185
TABLA 96. RESUMEN COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES	187
TABLA 97. COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES POR ACTOR.....	188
TABLA 98. RESUMEN COSTOS POR COMPONENTE.....	193
TABLA 1. MUNICIPIOS Y/O DISTRITOS PRIMER SEGMENTO	244
TABLA 2. MUNICIPIOS Y/O DISTRITOS SEGUNDO SEGMENTO.....	245

GRÁFICAS

GRÁFICA 1. ACTUACIONES PARTICULARES. SERVICIO PÚBLICO DE ASEO	17
GRÁFICA 2. ACTUACIONES PARTICULARES APROBADAS CLASIFICADAS POR COMPONENTE DE COSTOS. SERVICIO PÚBLICO DE ASEO	18
GRÁFICA 3. PROPORCIÓN DE COSTOS	29
GRÁFICA 4. FACTOR DE GASTOS ADMINISTRATIVOS CON CRITERIO 1.....	36
GRÁFICA 5. ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA COMERCIALIZACIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO.....	42
GRÁFICA 6. FUNCIÓN DE COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE POR TONELADA VS DISTANCIA RECORRIDA	76
GRÁFICA 7. COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE POR TONELADA REMUNERADO	76
GRÁFICA 8. DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE TRAMO URBANO	79
GRÁFICA 9. COSTO ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA (PESOS DE JUNIO DE 2012/TONELADA).....	87
GRÁFICA 10. GEOMETRÍA BÁSICA RELLENOS SANITARIOS EN PENDIENTE	93
GRÁFICA 11. COSTO DE DISPOSICIÓN FINAL	109
GRÁFICA 12. COSTOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADO	111
GRÁFICA 13. COSTOS PARA UN CASO ESPECÍFICO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS	112
GRÁFICA 14. MODELO SIMPLIFICADO DE SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.....	113
GRÁFICA 15. FUNCIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ESCENARIO 1	115
GRÁFICA 16. FUNCIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ESCENARIO 2	115
GRÁFICA 17. FUNCIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ESCENARIO 3	116
GRÁFICA 18. FUNCIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ESCENARIO 4	117
GRÁFICA 19. ESQUEMA DE ESCENARIOS ACTUALES Y POSIBLES DEL APROVECHAMIENTO EN COLOMBIA.....	130
GRÁFICA 20. CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN REAL EN COLOMBIA.....	131
GRÁFICA 21. ACTIVIDAD DE APROVECHAMIENTO EN EL MARCO DEL PGIRS.....	133

GRÁFICA 22. INDICADOR DE RECLAMOS COMERCIALES PARA LAS EMPRESAS DE PRIMER SEGMENTO PARA LOS AÑOS 2010, 2011 Y 2012	143
GRÁFICA 23. RANKING DE LAS EMPRESAS DE PRIMER SEGMENTO EN FUNCIÓN DEL INDICADOR DE RECLAMOS COMERCIALES PARA EL AÑO 2010.....	145
GRÁFICA 24. RANKING DE LAS EMPRESAS DE PRIMER SEGMENTO EN FUNCIÓN DEL INDICADOR DE RECLAMOS COMERCIALES PARA EL AÑO 2011	146
GRÁFICA 25. RANKING DE LAS EMPRESAS DE PRIMER SEGMENTO EN FUNCIÓN DEL INDICADOR DE RECLAMOS COMERCIALES PARA EL AÑO 2012.....	147
GRÁFICA 26. INDICADOR DE RECLAMOS COMERCIALES ASOCIADO AL PORCENTAJE DE SUSCRIPTORES ACUMULADO DE LAS EMPRESAS ANALIZADAS DEL PRIMER SEGMENTO, PARA LOS AÑOS 2010, 2011 Y 2012.....	148
GRÁFICA 27. VARIACIÓN ÍNDICE DE PRECIOS, IPC, SMMLV, IPCC, IOEXP	162
GRÁFICA 28. COSTOS TOTALES DEL PRESTADOR DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	168
GRÁFICA 29. INSUMOS TOTALES DEL PRESTADOR DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	173

ANEXOS

ANEXO 1 TASA LIBRE DE RIESGO.....	200
ANEXO 2 BETA.....	202
ANEXO 3 RIESGO PAÍS.....	204
ANEXO 4 COSTO DE LA DEUDA ANTES DE IMPUESTOS Y PESO DE LA DEUDA POR EMPRESA Y AÑO.....	207
ANEXO 5 ROTACIÓN DE CARTERA POR EMPRESA Y AÑO.....	209
ANEXO 6 COMPOSICIÓN DE VÍAS.....	210
ANEXO 7 ESTIMACIÓN DE LA MALLA VIAL Y TRAMO URBANO.....	231
ANEXO 8 EJERCICIOS DE RENDIMIENTOS DE VEHÍCULOS EN LA RECOLECCIÓN.....	232
ANEXO 9 FORMULARIOS FACTOR DE PRODUCTIVIDAD.....	236
ANEXO 10 MUNICIPIOS Y/O DISTRITOS A LOS QUE APLICA LA PRESENTE RESOLUCIÓN POR SEGMENTOS.....	244

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento presenta el proyecto general del Nuevo Marco Regulatorio del servicio público de aseo, Resolución CRA No 720 de 2015 de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA); contiene los soportes técnicos de la Resolución mediante la cual se adopta la metodología tarifaria que estará vigente durante el próximo periodo regulatorio.

La metodología tarifaria que se expide, mantiene algunos elementos que se establecieron en la metodología expedida en el 2005, mediante las Resoluciones CRA 351 y 352, e incluye avances regulatorios, como la función de recolección y transporte, la remuneración del tratamiento de lixiviados, la remuneración de la actividad de aprovechamiento, el régimen de calidad y descuentos, el factor de productividad, entre otros.

De acuerdo con el documento de “*Bases de los estudios para la revisión del marco tarifario para el servicio público de aseo*”, presentado por la CRA en diciembre de 2010, se enuncian los principales aspectos objeto de revisión para el nuevo marco tarifario, que fueron la base de los análisis y de la formulación del nuevo marco tarifario que se presenta en este documento.

- Revisión de la metodología tarifaria de precio techo.
- Revisión de todos los componentes de la metodología tarifaria vigente a partir del reconocimiento de la existencia de mayor información disponible y de la experiencia en la aplicación de las metodologías del primero y del segundo período tarifario.
- Profundizar el análisis de actividades incluidas en el Costo de comercialización por suscriptor (CCS), que se aplica como opción cuando la facturación no la lleva a cabo el prestador del servicio de acueducto, así como en el refuerzo de las campañas educativas, el análisis de los costos asociados a la atención no presencial de los usuarios y a la liquidación de facturas.
- Respecto del Costo de recolección y transporte (CRT), el mayor interés radica en la posibilidad de establecer una fórmula que permita capturar factores exógenos a la prestación del servicio que puedan condicionar la eficiencia observada para este componente.
- En el caso del Costo de tramo excedente (CTE), se buscará determinar las condiciones en las cuales es viable la implementación de una solución que permita el transporte a granel, así como las características tecnológicas y económicas correspondientes a dicha solución.
- Frente al Costo de barrido y limpieza (CBL) deberá darse respuesta a la preocupación sobre la forma de distribuir la longitud de barrido (km) cuando se trata de un municipio en competencia en el mercado, estableciendo mecanismos que conduzcan a una coordinación efectiva entre prestadores que permita prestar esta actividad de manera adecuada, o, finalmente, la adopción de un esquema de prestador único para este servicio en el caso de que se presenten dificultades con prestadores en competencia.
- Teniendo en cuenta que las actividades que forman parte del servicio público de aseo pueden ser realizadas por diferentes agentes, se considera necesario establecer mecanismos que minimicen los posibles conflictos entre operadores, eviten prácticas restrictivas a la competencia (diferentes horarios, costos diferenciados, no reporte de información) y faciliten las acciones de control y vigilancia.
- En lo que respecta a la definición de la producción de residuos asignada a cada usuario (TD_i), se considera necesario diseñar instrumentos que permitan hacer más efectiva la vigilancia y el control y reducir la asimetría de información respecto de la cantidad de residuos que efectivamente se dispone.
- Sobre estaciones de transferencia, que en el marco tarifario propuesto se tuviera en cuenta la remuneración de las actividades de construcción y operación, en caso de que se requieran en el marco del esquema de prestación del servicio de aseo.
- Como eje transversal a todos los componentes, la Comisión revisará la tasa de descuento para la remuneración del capital vinculado a la prestación del servicio público de aseo.
- Se buscarán los mecanismos necesarios para fortalecer el tema de aprovechamiento y el reforzamiento del concepto de “Área limpia”.

Adicionalmente, la Honorable Corte Constitucional expidió el Auto 275 de 2011, mediante el cual exhortó a la Comisión: “para que revise y defina parámetros generales para la prestación de los servicios de separación, reciclaje, tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos en los términos establecidos en el numeral 115 de

esta providencia. La CRA remitirá un informe de los parámetros que hayan sido o vayan a ser fijados a la Corte Constitucional a más tardar dentro del primer trimestre del año dos mil doce (2012). La CRA deberá asegurarse de que tales parámetros se reflejen en la estructura tarifaria que por virtud de la ley debe ser fijada en el año dos mil doce (2012)”, en cumplimiento del cual, la CRA incluyó la remuneración de las actividades del aprovechamiento que se realizan en el servicio público de aseo y de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1077 de 2015¹.

Así mismo, es importante resaltar que la nueva metodología incorpora la remuneración de las actividades reglamentadas por el Decreto 1077 de 2015, expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), correspondientes a la poda de árboles, corte de césped, lavado de vías y áreas públicas, instalación de cestas y limpieza de playas, agrupadas en un componente denominado Costo de limpieza urbana por suscriptor-CLUS.

La presente metodología tarifaria se construye con base en los criterios definidos en el artículo 87 de la Ley 142 de 1994, plasmados a través de precios techo para siete (7) componentes:

- i) Comercialización y manejo del recaudo
- ii) Barrido y limpieza de vías y áreas públicas
- iii) Limpieza urbana
- iv) Recolección, transporte y transferencia
- v) Disposición final
- vi) Tratamiento de lixiviados y
- vii) Aprovechamiento

¹ Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

1.1 CRONOLOGÍA DE LA EXPEDICIÓN DEL MARCO TARIFARIO



2. OBJETIVOS

Conforme con la normatividad vigente en la materia, los pronunciamientos de la Honorable Corte Constitucional y las facultades de la CRA, los objetivos del presente marco tarifario del servicio de aseo se enfocan a los siguientes aspectos:

- Mejorar continua y permanentemente los estándares del servicio.
- Alcanzar cobertura del 100% en las áreas urbanas.
- Proteger las fuentes hídricas mediante el tratamiento de lixiviados.
- Remunerar la actividad de aprovechamiento a partir de la normatividad vigente, atendiendo los exhortos del Auto 275 de 2011 de la Honorable Corte Constitucional y siguiendo los lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015 del MVCT.
- Fomentar y aprovechar economías de escala en los componentes de recolección y transporte, aprovechamiento y disposición final; que a su vez facilitan el impulso de proyectos regionales eficientes.
- Definir estándares de productividad, y establecer que las ganancias de este parámetro se distribuyan entre los prestadores de aseo y sus suscriptores, de acuerdo con lo establecido en la Ley 142 de 1994.

3. DIAGNÓSTICO

En el año 2010, la Comisión realizó un estudio del impacto de la aplicación de la metodología tarifaria adoptada mediante las Resoluciones CRA 351 y 352 de 2005 sobre la tarifa final del servicio público de aseo. Para ello se llevó a cabo un análisis comparativo de los costos de referencia y las tarifas del servicio con respecto a las tarifas resultantes bajo la aplicación de la Resolución 15 de 1997 (incorporada en la Resolución CRA 151 de 2001), encontrando elementos relevantes para profundizar en la discusión sobre los efectos de la competencia en el servicio público de aseo en la tarifa final percibida por el usuario.

De otra parte, a partir de lo contenido en el documento de “*Bases de los estudios para la revisión del marco tarifario para el servicio público de aseo*”, publicado en diciembre de 2010, en el año 2012 la CRA realizó un diagnóstico del servicio público de aseo para sus principales componentes, con información del Sistema Único de Información (SUI) para los años 2010-2012, de estudios sectoriales, una encuesta de aprovechamiento diligenciada por municipios y empresas prestadoras, la revisión de estudios de consultorías y estudios realizados por la CRA en este periodo para los temas descritos. Todo esto con el fin de complementar aquellos aspectos necesarios para evaluar para la expedición del presente marco tarifario del servicio público de aseo.

Tabla 1. Estudios realizados para identificar el enfoque del nuevo marco tarifario del servicio público de aseo

Estudio	Objeto
CYDEP LTDA. Consultoría para llevar a cabo la evaluación y presentación de una propuesta para actualizar los componentes de recolección y transporte, y transporte por tramo excedente de residuos sólidos, con énfasis en la agrupación de mercados	<p>Evaluar y realizar una propuesta que permita actualizar los componentes de recolección y transporte, y transporte por tramo excedente, haciendo énfasis en la agrupación de mercados.</p> <p>Obtener una propuesta de definición del precio techo para los componentes de Recolección y Transporte, y Transporte por Tramo Excedente de residuos sólidos, considerando que las señales tarifarias deben estar articuladas con aquellas asociadas a los demás componentes que integran la metodología tarifaria.</p> <p>Recibir una propuesta de tecnología y consideraciones de eficiencia para la implementación de estaciones de transferencia de residuos sólidos, teniendo en cuenta criterios de agrupación de mercados.</p>
CYDEP LTDA.	Estaciones de transferencia. Revisar la normatividad ambiental relacionada, aspectos técnico-operativos y parámetros de implementación a nivel internacional.
GAB ING. GEOVANIS ARRIETA BERNATE	Definir, desde el punto de vista técnico, la conveniencia de regular el

Estudio	Objeto
Elaboración de un diagnóstico y análisis de viabilidad y propuesta de un régimen tarifario para las actividades de corte de césped, poda de árboles, manejo de escombros y limpieza de playas	manejo de los escombros en el nuevo marco tarifario de aseo.
GAB ING. GEOVANIS ARRIETA BERNATE Consultoría sobre Aprovechamiento de residuos sólidos	Evaluar la estructura tarifaria del servicio público de aseo, relacionada con los incentivos a las actividades de aprovechamiento y reciclaje, con el fin de proponer señales regulatorias que promuevan en los prestadores del servicio y en los usuarios, la creación y/o modificación de sistemas de prestación que incluyan tales incentivos, con criterios de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social.
CYDEP LTDA Consultoría para evaluar el costo de las actividades administrativas y de facturación y recaudo que deben realizar los prestadores del servicio público de aseo de acuerdo con la normatividad vigente, y que debe ser recuperado a través de la tarifa para el componente de comercialización y manejo del recaudo	Análisis de facturación conjunta
GAB - ING. GEOVANIS ARRIETA BERNATE Análisis de la producción de residuos sólidos de pequeños y grandes productores, determinación de factores de producción de residuos sólidos de los usuarios residenciales, revisión de la regulación vigente y cálculo de costos asociados a la realización de aforo de residuos sólidos en Colombia.	Documento de trabajo proyectos de resolución 442 y 443 de 2008 sobre aforos y factores de producción
INTERNO CRA	Calidad, descuentos y reparaciones
INTERNO CRA	Área limpia Mercado especial Permisos y licencias ambientales para disposición final Rendimientos de vehículos en recolección Estimación de la malla vial y tramo urbano Composición de vías
MARIO GANDINI Manejo y tratamiento de lixiviados.	Revisar los tipos de tratamiento de lixiviados, costos, normatividad y aplicabilidad, desarrollar propuesta de remuneración.
ALEJANDRO VIVAS	Realización de los estudios para el proyecto regulatorio relacionado con el nuevo marco tarifario del servicio público de aseo, especialmente en el cálculo del Factor de Productividad a aplicar.

Del análisis realizado, sobresalen los cambios introducidos en la segunda etapa tarifaria, a través de la Resolución CRA 351 de 2005, entre los que se encuentran:

- Reconocimiento de costos eficientes por componente.
- Separación de actividades: Costo de comercialización por suscriptor (CCS), Costo de barrido y limpieza de vías y áreas públicas (CBL), Costo de transporte por tramo excedente (CTE), Costo de recolección y transporte (CRT) y Costo de tratamiento y disposición final (CDT).
- Reconocimiento de la disposición final en relleno sanitario, con economías de escala (en función de las toneladas dispuestas) que conlleva a un incentivo a la agrupación de mercados.
- Medición de los residuos y cálculo de la cantidad de residuos por suscriptor.
- Incentivo al aprovechamiento, considerado para efectos tarifarios como una actividad de disposición final.
- Reconocimiento de particularidades del mercado por componente.

- Inclusión del factor de productividad.

En los estudios se concluyó que la aplicación de las Resoluciones 351 y 352 de 2005, ayudó a desarrollar y fortalecer el sector mediante la ampliación de la cobertura, creación de empresas con capacidad técnica y financiera, afianzamiento de la competencia en el mercado, sin embargo, ésta última no siempre generó una prestación de un servicio con mayor calidad y mejor precio. Otros aspectos a resaltar como resultado de su aplicación son:

- Disminución del valor de la factura promedio (estrato 4).
- La medición de los residuos se configuró como un factor determinante en la disminución de la factura, ya que la producción promedio resultó de 74 kg/suscriptor-mes (mientras que en la Resolución CRA 151 de 2001 era de 120 kg/suscriptor-mes).
- Incremento del costo de la actividad de barrido, por la inclusión del Costo de Barrido y Limpieza de vías y áreas públicas (CBL) y su distribución entre todos los suscriptores del municipio.
- Mejoras en acceso, cobertura, calidad y continuidad del servicio público de aseo.
- Fortalecimiento de los prestadores, alcanzando niveles de suficiencia financiera y mejora en la gestión en aquellas ciudades que se ha implementado la regulación.
- Fortalecimiento en la cultura de pago del servicio.
- Promoción y desarrollo de la competencia, en donde ella ha sido posible, lo que ha llevado a disminución en los precios.

Adicionalmente, se revisaron los siguientes temas considerados relevantes:

- Costo de comercialización por suscriptor (CCS) y las actividades que deben ser reconocidas.
- Tramo excedente: revisión del modelo y de la incorporación de costos explícitos de construcción y operación de las estaciones de transferencia.
- Inclusión y separación de los costos asociados al tratamiento de lixiviados.
- Remuneración del aprovechamiento que incluya un incentivo a la separación en la fuente de acuerdo con el Auto 275 de 2011 y el documento de respuesta de la CRA a la Honorable Corte Constitucional.
- Refuerzo de campañas educativas y ambientales (separación en la fuente).
- Articulación con el Decreto 2981 de 2013.
- Revisión de costos de la disposición final en relleno sanitario de acuerdo con exigencias ambientales.

En relación con la actividad de aprovechamiento, se consideró lo contenido en el Auto 275 del 19 de diciembre de 2011 de la Honorable Corte Constitucional (H.C.C.), y en el mes de marzo de 2012 la CRA envió a la H.C.C., el documento *“Informe de los Parámetros Generales que hayan sido o vayan a ser fijados para la prestación de la actividad complementaria de aprovechamiento de residuos sólidos”*, que fue aceptado por dicha Corporación mediante Auto 084 de 2012.

3.1 ANÁLISIS DE LA CONSOLIDACIÓN DEL MERCADO

Es importante precisar que la metodología tarifaria contenida en la Resolución CRA 351 de 2005 presentó importantes avances en el desarrollo de un comportamiento competitivo adecuado, partiendo de principios importantes como la desagregación de los costos por actividad principal de la prestación del servicio, incentivos a la agrupación, regionalización del servicio como alternativa eficiente, y el reconocimiento explícito de las posibilidades de competencia.

Debido a las características propias del servicio público de aseo, así como a las consideraciones contenidas en la metodología tarifaria vigente del servicio, elaborada a partir de precios y funciones techo independientes para cada actividad, se generaron los escenarios que facilitaron la entrada de nuevos operadores a prestar actividades específicas del servicio.

En el país cada vez se hace más preponderante entre los prestadores del servicio público de aseo una conducta muy específica conocida como consolidación, en la cual una empresa poco a poco va apropiándose de ciertos mercados que considera estratégicos, (sea por su nivel de producción, por su cercanía geográfica con otros mercados ya atendidos por la empresa, u otros factores relevantes), reduciendo así el número de firmas en capacidad de prestar el servicio en municipios y ciudades específicas y en todo el país, lo cual tiene efectos negativos importantes en cuanto al nivel de competencia que efectivamente puede ser percibido por los mercados que puedan generar interés a los regulados.

Sin embargo, en Colombia se han registrado entre 662 y 1223 personas prestadoras del mencionado servicio durante los años 2006-2011, lo cual, aunado al sub-registro de prestadores que sigue prevaleciendo en los sistemas oficiales de información, lleva a concluir que el mercado del servicio público de aseo aún no se encuentra concentrado.

El impacto más evidente de la consolidación parece ser un número limitado de alternativas de prestación del servicio público de aseo para mercados de gran tamaño, los cuales requieren firmas con importantes recursos administrativos y humanos, conocimientos específicos del sector y con experiencia técnica. La mayoría de las firmas pequeñas no pueden alcanzar la proporción suscriptores/empleados y suscriptores/ingresos necesarios para competir con las firmas grandes por mercados importantes. Más aun, sin contar con experiencia en la provisión del servicio a un número considerable de suscriptores, es difícil obtener la experiencia requerida en los procesos licitatorios de gran envergadura, ni mucho menos erigir la estructura organizacional necesaria para atender mercados grandes.

3.2 ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS

De acuerdo con la información reportada al SUI para los años 2011 y 2012, el TD_i para el estrato 4 presentó una leve variación del 3,4% al pasar de 0,063 toneladas mensuales por suscriptor en promedio en el año 2011 a 0,065 toneladas mensuales por suscriptor en promedio en el año 2012.

La medición y estimación de residuos establecida en la Resolución CRA 352 de 2005, conllevó a que se disminuyera en un 46% el promedio de residuos facturados al suscriptor, con respecto al valor establecido en la Resolución CRA 151 de 2001 que era un valor fijo de 0,12 toneladas mensuales por suscriptor.

En relación con la generación de residuos sólidos de pequeños y grandes productores, la Comisión contrató un estudio mediante el cual se realizaron 98 aforos de grandes productores y 253 de pequeños productores; al procesar la información de los datos obtenidos en campo, se encontró que fueron aforados 178 grandes productores y 173 pequeños productores, concluyendo que la mayoría de prestadores tienen a los usuarios pequeños productores mal clasificados.

De acuerdo con estas conclusiones y el resultado del análisis del diagnóstico realizado por la Comisión, la producción de residuos de los pequeños productores presenta alta variabilidad como respuesta a la actividad económica que desarrollan.

En virtud de lo anterior, para el nuevo marco tarifario del servicio público de aseo se establece un factor de producción para pequeños productores no residenciales (F₇) de 2,44 y para los grandes productores la realización del aforo.

3.3 ASPECTOS RELEVANTES DE LA CALIDAD DEL SERVICIO

Conforme a lo establecido en el Decreto 2981 de 2013², se entiende por calidad del servicio público de aseo, la prestación con continuidad, frecuencia y eficiencia a toda la población.

² "Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo", expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

En relación con la cobertura, en el estudio sectorial de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), de acuerdo con los resultados de la Encuesta de Hogares realizada por el Departamento Nacional de Estadística (DANE), la cobertura promedio del servicio público de aseo en las áreas urbanas durante los años 2008 a 2012, ha sido en promedio del 96,5%, con un crecimiento del 2,54% en el periodo analizado.

Frecuencia

En el diagnóstico efectuado por la CRA para los años 2009 a 2011, con información del SUI, se encontró que los prestadores están cumpliendo con la frecuencia mínima de recolección establecida en el parágrafo 2 del artículo 12 de la Resolución CRA 351 de 2005, de 2 veces por semana y la frecuencia más utilizada por los prestadores para el sector residencial oscila entre 2 y 3 veces/semana.

Según el Informe sectorial grandes prestadores de la SSPD publicado en 2014, para los años 2011-2012 a nivel nacional, los prestadores entre 2.501 y 25.000 suscriptores prestan la recolección y transporte de residuos con frecuencias de 2 a 3 veces por semana en el sector residencial en el 65% de las rutas registradas. Por su parte, las empresas que atienden entre 25.001 y 80.000 usuarios entre 80.001 y 200.000 usuarios y mayores a 200.001 usuarios cuentan en su mayoría con rutas de recolección cuya frecuencia es de tres (3) veces por semana en el 57%, 42% y 61% de las rutas respectivamente.

Con respecto al componente de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, el parágrafo 2 del artículo 7 de la Resolución CRA 351 de 2005, determina que *“las frecuencias de barrido serán 2 veces por semana para municipios de primera categoría y especial y de 1 para las otras categorías, de conformidad con la clasificación contenida en la Ley 617 de 2000 o la que la modifique, adicione o sustituya (...)”*.

En el Informe 2014 de la SSPD se reporta una marcada tendencia de una frecuencia de una (1) vez por semana en prestadores que atienden menos de 200.000 suscriptores y de dos (2) veces por semana en prestadores que atienden más de 200.000 suscriptores en el periodo 2011 a 2012.

En el mismo informe, en cuanto a la eficiencia de la actividad de recolección y transporte, calculada como el número de toneladas diarias recolectadas por operario, la SSPD encontró que en promedio la eficiencia de recolección es igual a 2,55 toneladas por operario/día para empresas del rango 1 o a nivel nacional. Las empresas del rango 2 presentan eficiencias superiores con relación con los demás rangos, llegando a 3,12 toneladas de residuos sólidos recolectados y transportados al día, lo cual puede ser consistente con el hecho de que justamente este rango de empresas cuenta con mayor participación de vehículos de las categorías C25³ dentro de todo su parte automotor mejorando sus eficiencias al disminuir los tiempos improductivos.

En cuanto a la continuidad en la prestación del servicio, el estudio sectorial de la SSPD mencionado, encontró que para los prestadores que atienden mercados mayores a 2.500 suscriptores, la actividad de recolección y transporte en el año 2012 para prestadores mayores a 2.500 suscriptores a nivel nacional es igual a 98,81%; y para los prestadores que atienden mercados mayores a 2.500 suscriptores, la continuidad en la prestación de la actividad de barrido y limpieza de vías y áreas públicas a nivel nacional es igual a 98,4%.

De acuerdo con lo anterior, se puede deducir que los prestadores en general cumplen con las frecuencias establecidas para estos dos componentes y aunque la cobertura se ha incrementado en los últimos años, aún hay sectores pequeños en las áreas urbanas sin atender. Razón por la cual el presente marco tarifario establece la meta de cobertura en 100% durante el primer año de la entrada en vigencia de la resolución definitiva.

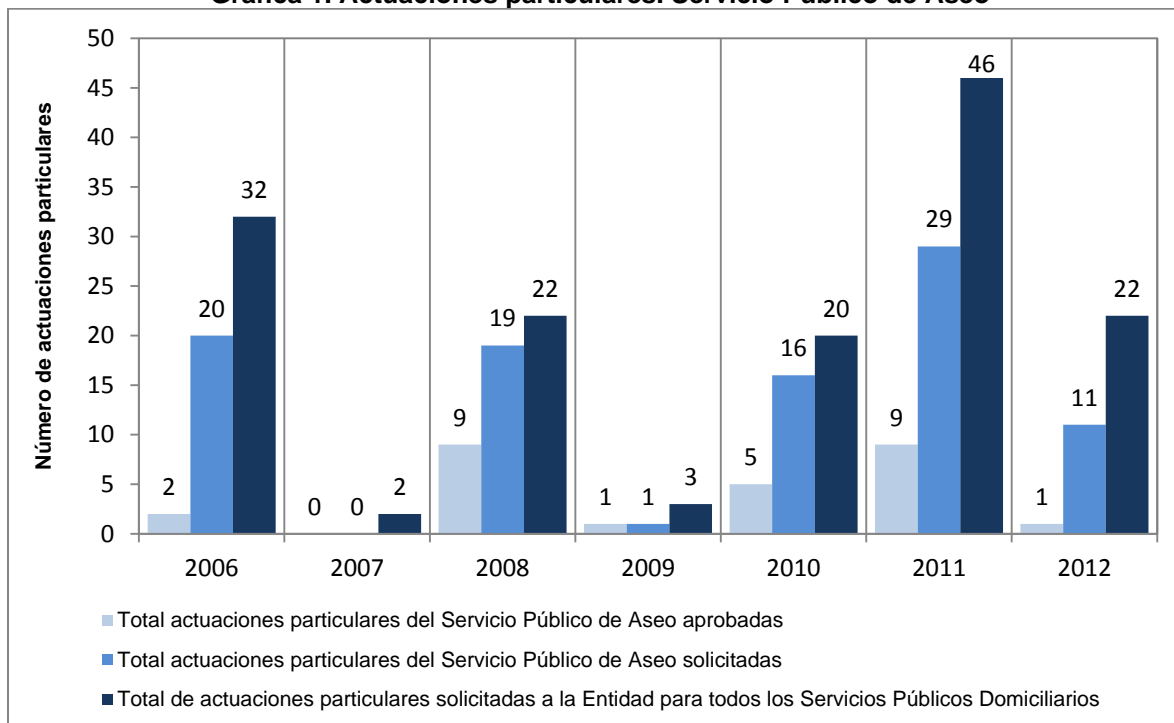
En pro de mejorar y en algunos casos mantener la calidad del servicio público de aseo, se establecieron estándares y metas de calidad y descuento, asociados al incumplimiento de frecuencias, horarios y atención de reclamos comerciales, que hasta ahora no se habían contemplado dentro de la prestación del servicio.

³ Compactador mayor o igual a 25 yd³.

3.4 ACTUACIONES PARTICULARES

A partir de lo definido en la Resolución CRA 271 de 2003, los prestadores presentaron solicitudes de modificación de costos. Para analizar el número de actuaciones particulares solicitadas desde la entrada en vigencia de la Resolución CRA 351 de 2005 para el servicio público de aseo, se toma como periodo de análisis, desde el año 2006 hasta el 2012 y se revisan 96 actuaciones particulares, de las cuales 27 fueron aprobadas.

Gráfica 1. Actuaciones particulares. Servicio Público de Aseo

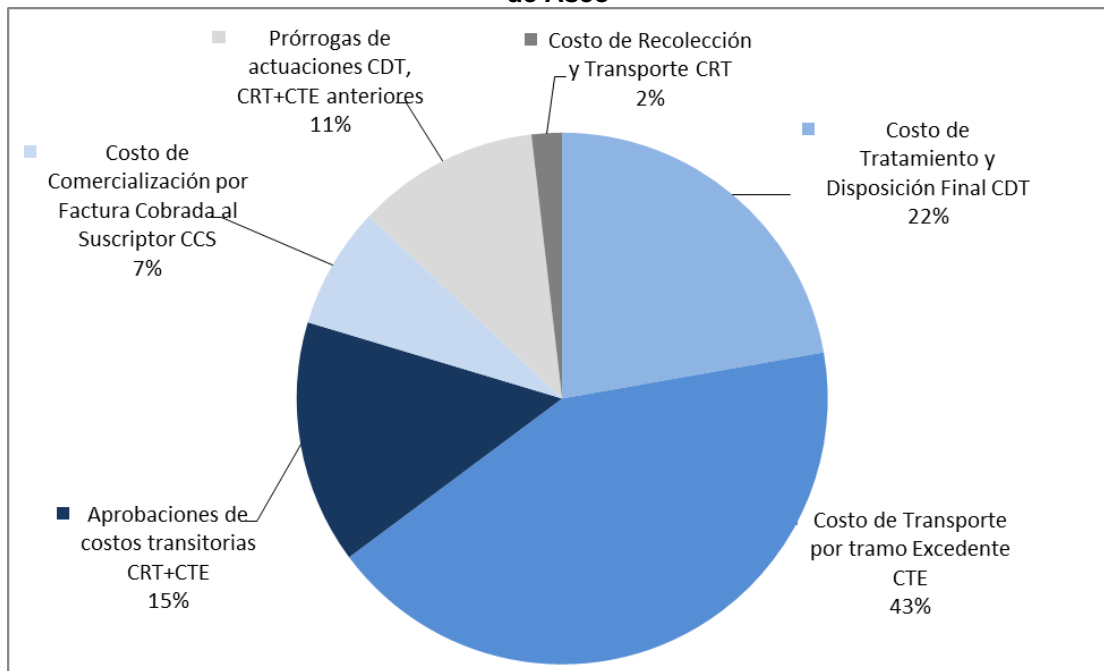


Fuente: Estadística CRA

No obstante, debe aclararse que el 72% de las solicitudes fueron rechazadas por parte de esta Comisión de Regulación o fueron desistidas por parte de los prestadores. En cuanto a la temática de las solicitudes, se observa que la mayor parte de las solicitudes se concentran en el componente de Costo de Transporte por Tramo Excedente (CTE) con el 43%.

Adicionalmente, las actuaciones aprobadas por Costo de tratamiento y disposición final (CDT) equivalen al 22%; las aprobaciones de costos transitorias representan el 15% del total de actuaciones aprobadas; las prórrogas de actuaciones anteriores, el Costo de comercialización por suscriptor (CCS) y el Costo de recolección y transporte (CRT) son las que menos representan con 11%, 7% y 2% respectivamente. La siguiente gráfica muestra las actuaciones particulares clasificadas por componente de costos.

Gráfica 2. Actuaciones particulares aprobadas clasificadas por componente de costos. Servicio Público de Aseo



Fuente: Comisión de Regulación y Saneamiento Básico (CRA)

Por lo anterior, la CRA consideró que dentro de los temas a revisar y ajustar en el nuevo marco tarifario del servicio, se debían considerar el costo de comercialización por suscriptor, el costo de tratamiento y disposición final y el de recolección y transporte y su relación con la estación de transferencia y el tramo excedente.

3.5 DISPOSICIÓN FINAL

En cuanto a la disposición final, como se dijo anteriormente, uno de los logros más importantes de la regulación tarifaria contenida en las Resoluciones CRA 351 y 352 de 2005, es el notorio mejoramiento del cumplimiento de las condiciones técnicas y ambientales de la disposición final en relleno sanitario. Lo anterior se logró de la mano de las acciones de política emprendidas por el Gobierno Nacional en el período comprendido entre los años 2005 y 2011.

Adicionalmente, se destaca del informe sectorial de la SSPD, que para el año 2012, el 98% de las toneladas dispuestas por los prestadores que atienden a más de 2.500 suscriptores se entregaron en sitios de disposición final regionales, de los cuales el 95% son rellenos sanitarios.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con lo establecido en el artículo 126 de la Ley 142 de 1994, *“las fórmulas tarifarias tendrán una vigencia de cinco años, salvo que antes haya acuerdo entre la empresa de servicios públicos y la comisión para modificarlas o prorrogarlas por un período igual.*

Excepcionalmente podrán modificarse, de oficio o a petición de parte, antes del plazo indicado cuando sea evidente que se cometieron graves errores en su cálculo, que lesionan injustamente los intereses de los usuarios o de la empresa; o que ha habido razones de caso fortuito o fuerza mayor que comprometen en forma grave la capacidad financiera de la empresa para continuar prestando el servicio en las condiciones tarifarias previstas.”

Agrega la norma que, vencido el período de vigencia de las fórmulas tarifarias, continuarán rigiendo mientras la Comisión no fije las nuevas.

De la lectura de la norma se puede concluir, que si bien la Ley establece un periodo de vigencia de las fórmulas tarifarias, es claro que el legislador establece que pueden seguir rigiendo más allá de la vigencia de los cinco (5) años.

Es así como en diciembre de 2010 la CRA publicó el documento de “*Bases de los estudios para la revisión del marco tarifario para el servicio público de aseo*”, en el cual se presentaron a consideración de los agentes del sector, los criterios y consideraciones bajo las cuales se haría la revisión de la metodología general del marco tarifario del servicio.

Posteriormente, la Honorable Corte Constitucional expide el Auto 275 de 2011, en el cual incluye exhortos a la Comisión, que conllevan a realizar una revisión y ajustes a lo planteado en el documento base.

Al respecto, la Comisión mantiene la metodología tarifaria de precio techo, que genera incentivos a la eficiencia para reducir costos y aumentar los márgenes de ganancia en la prestación de servicios de aseo, y a partir de los análisis realizados y de los exhortos del Auto 275 de 2011 a esta Comisión, se determina que la revisión del marco tarifario del servicio público de aseo debe ser integral buscando las mejoras en calidad y cobertura del servicio, la determinación de costos eficientes que logren capturar economías de alcance, de densidad y de escala, cuando los usuarios están ubicados en un área determinada; la revisión y el análisis con información propia del sector de los parámetros generales como el WACC, el factor de productividad del capital de trabajo, considerando que este servicio tiene un fuerte componente de mano de obra y de insumos; las actividades del servicio para los cuales los prestadores presentaron reiteradas solicitudes de modificación de costos y el factor de productividad mediante una metodología que se aplicará con información de las mismas empresas prestadoras.

Así mismo, la Comisión realiza la conceptualización de las funciones del componente de recolección y transporte basándose en eficiencias operativas y de costos; tales aspectos son aplicables también al componente de disposición final. De igual manera, en este marco, se conserva el modelo parametrizado de ingeniería de disposición final en relleno sanitario realizando los ajustes necesarios para su adecuada actualización.

Adicionalmente, el nuevo marco tarifario incluye los costos del tratamiento de lixiviados, atendiendo los avances en la normatividad ambiental vigente exigible a los rellenos sanitarios y la remuneración al aprovechamiento en el ámbito del servicio público de aseo según lo definido en el Decreto 1077 de 2015 y los exhortos del Auto 275 de 2011 de la Corte Constitucional.

De la misma forma, se incluye el Costo de limpieza urbana por suscriptor (CLUS) que reúne las actividades del servicio adicionadas por el Decreto 1077 de 2015, que son:

- Corte de césped en las vías y áreas públicas.
- Poda de árboles en las vías y áreas públicas.
- Lavado de áreas públicas.
- Limpieza de playas costeras o ribereñas en las áreas urbanas.
- Compra, instalación y mantenimiento de cestas en vías y áreas públicas.

De acuerdo con lo establecido en dicho decreto, se deberán tener en cuenta en la regulación tarifaria, los costos eficientes de estas actividades. Con la inclusión de los dichos componentes, se busca, que a partir de la integralidad en la prestación del servicio público de aseo y por lo tanto en la tarifa, se logre una continuidad y sostenibilidad en la limpieza de los centros urbanos del país.

Así, los precios máximos se fijaron al nivel de los costos eficientes de prestación del servicio público de aseo por componentes: comercialización, recolección y transporte, barrido y limpieza y disposición final. Dicho precio permite la recuperación de los costos de capital y de operación y mantenimiento en que incurren las empresas más eficientes del sector, y compartir la productividad con los usuarios, de acuerdo con el análisis de los costos mínimos de frontera (DEA) de una muestra de empresas de diferente tamaño.

El presente marco tarifario del servicio público de aseo se expide luego de realizar dos procesos de participación ciudadana⁴, con lo cual se han dado las garantías para que los actores interesados presentaran sus observaciones, que fueron analizadas para determinar su pertinencia de inclusión en la decisión tomada.

En desarrollo de las competencias legales definidas en el artículo 126 de la Ley 142 de 1994, según el cual las fórmulas tarifarias tendrán una vigencia de cinco años, y teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 2696 de 2004, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento - CRA - presentó en el mes de marzo de 2015 la segunda propuesta de metodología tarifaria para el servicio público de aseo, contenida en la resolución de trámite No. 710 publicada el 10 de marzo de 2015. El 10 de junio de 2015 se cumplieron los 3 meses de que trata el artículo 2.3.6.3.3.11 del Decreto 1077 de 2015, plazo durante el cual se recibieron 1.135 observaciones, reparos y sugerencias, de las cuales 881 fueron escritas y 239 presenciales.

De las observaciones recibidas y ampliamente discutidas al interior de la Comisión, se resalta el aprovechamiento que como actividad complementaria del servicio público de aseo es remunerada a través de la tarifa; pero que tiene connotaciones social y ambiental, cuya solución no recae únicamente en la regulación tarifaria, sino que se requiere llevar a cabo acciones conjuntas institucionales, que conlleven a la formalización de la población objeto de las acciones afirmativas, por parte de los actores con responsabilidades asignadas por la ley.

Es así, que recae en el municipio o distrito la responsabilidad establecida en el artículo 5 de la Ley 142 de 1994 y en concordancia con lo previsto en las normas que reglamentan el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), como garante de asegurar la prestación eficiente del servicio público de aseo a sus habitantes, de incluir los proyectos y programas en relación con la prestación de este servicio, y asegurar la participación de los recicladores debidamente organizados como prestadores del servicio público de aseo en la actividad de aprovechamiento de los residuos sólidos. Una vez se formulen, implementen y entren en ejecución los programas de aprovechamiento evaluados como viables y sostenibles en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos -PGIRS, se entenderá que el aprovechamiento deberá ser ejecutado en el marco de dichos programas; a los cuales el ente territorial debe asignar los recursos necesarios para la implementación de los programas y proyectos establecidos en el PGIRS e incorporar éstos en los planes de desarrollo del nivel municipal y/o distrital.

Así mismo, se desea destacar lo definido en parágrafo 2 del artículo 2.3.2.2.3.92. del Decreto 1077 de 2015 *“Gestión diferencial de residuos aprovechables. Es deber del ente territorial, dentro de su responsabilidad como garante de la prestación del servicio público de aseo, incorporar las condiciones técnicas y operativas que permitan el desarrollo del esquema de aprovechamiento y valorización de residuos definidos en el PGIRS y el Programa de Prestación del Servicio.”*

Por todo lo anterior, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA, considera que el presente marco tarifario del servicio público de aseo contiene todos los elementos necesarios para lograr una prestación integral y eficiente del servicio, en beneficio de los ciudadanos y la limpieza de las ciudades, atendido por prestadores con capacidad técnica y económica, y dando cumplimiento a los exhortos de la Corte Constitucional para remunerar la actividad de aprovechamiento y de esta forma, sentar las bases para el desarrollo técnico y empresarial de esta actividad.

⁴ Primera: Resoluciones CRA 643 desde el 25 de junio de 2013 hasta el 7 de abril de 2014, y la Resolución CRA 664 de 2013 desde el 7 de enero al 7 de abril de 2014. Segunda: Resolución CRA 710 de 2015, desde el 10 de marzo al 10 de junio de 2015.

5. PARÁMETROS GENERALES PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE COSTOS Y TARIFAS

5.1 TASA DE DESCUENTO

A continuación se determina la tasa de descuento aplicable al cálculo de los costos de inversión del servicio público de aseo, para prestadores que atiendan municipios con más de 5.000 suscriptores, obtenida mediante el método del Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC).

Se presentan además, las consideraciones teóricas del cálculo del WACC, al aplicar en el contexto de la metodología de estimación de costos y tarifas. Los parámetros utilizados en el cálculo de los componentes de la metodología, fueron tomados con base en series históricas (entre los años 2009 y 2013) y proyecciones de organizaciones reconocidas.

5.1.1 Metodología para el cálculo de la tasa de descuento

La metodología más utilizada para aproximarse al costo de oportunidad de los recursos utilizados para realizar una inversión, es el Costo Promedio Ponderado de Capital –Weighted Average Cost of Capital- (WACC) (Brealey, 2006). Usualmente, se utiliza como la tasa de retorno que se obtendrá sobre un determinado proyecto, en caso de ser ejecutado, o como la tasa de descuento para valorar una empresa mediante el descuento del flujo de fondos.

En el contexto de la actual metodología, el costo ponderado del capital es un método para valorar el costo de financiación de activos, ya sea mediante patrimonio, deuda o una combinación de los dos. Las formas de financiamiento más comunes son: la emisión de acciones preferentes u ordinarias, créditos bancarios, financiamiento de proveedores a mediano y largo plazo, emisión de bonos ordinarios y utilidades retenidas, entre otros.

Por lo tanto para estimar una tasa de descuento adecuada, es necesario estimar el costo de oportunidad del capital invertido en una empresa, que como se mencionó anteriormente proviene del capital propio y de la deuda. Para ello se calcula como el promedio ponderado de todas las fuentes de financiación de mediano y largo plazo utilizadas, es decir, aquellas asociadas, primero, con el costo de la deuda, que representa recursos financieros externos sujetos a condiciones de tasas de interés o plazos de pago; y segundo, con el costo del patrimonio o equity, que es el invertido por los accionistas o los dueños de las empresas. Para el cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$WACC = (W_d * K_d)(1 - t) + (W_e * K_e)$$

Donde:

$WACC$:	Costo promedio de capital después de impuestos
K_d :	Costo de la deuda antes de impuestos.
t :	Tasa de impuesto nominal
K_e :	Costo del patrimonio o <i>equity</i> .
W_d :	Porcentaje de deuda.
W_e :	Porcentaje de patrimonio.

A continuación se explica el tratamiento para cada uno de los valores seleccionados de la ecuación anterior para el cálculo del WACC.

Costo de la deuda antes de impuestos ($K_{dA.i.}$)

El costo de la deuda representa el rendimiento que se debe pagar a los acreedores a cambio de los diferentes préstamos. Los datos para calcular el costo de la deuda se extraen de los estados financieros 2008-2012, de 43

empresas prestadoras del primer y segundo segmento que presentan información de intereses y de deuda para el cálculo.

De los estados financieros se seleccionaron las cuentas 5801 (otros gastos – intereses) para los intereses y la suma de las cuentas 22 (operaciones de crédito público) y 23 (obligaciones financieras) para el cálculo de la deuda, con el fin de calcular el costo de la deuda a partir de la siguiente ecuación:

$$K_{d(A.I.)ej} = \frac{(Cuenta Intereses 5801)_{ej}}{(Cuenta 22 + Cuenta 23)_{ej}}$$

Donde:

K_d : Costo de la deuda para cada empresa e en el año j antes de impuestos.

Así el Costo de la deuda total para el año j es:

$$K_{dj} = \frac{\sum_e K_{d(A.I.)ej}}{n}$$

Donde:

$K_{d(A.I.)ej}$: Costo de la deuda total en el año j antes de impuestos.

n : Es el número de empresas de la muestra para cada año j .

Por lo tanto el costo de la deuda estimado para el nuevo periodo tarifario es:

$$K_d = \frac{\sum_{j=1}^5 K_{d(A.I.)j}}{5}$$

$K_{d(A.I.)j}$: Costo de la deuda promedio para los 5 años, antes de impuestos.

Los datos de las empresas y el resultado del cálculo del costo de la deuda para cada una se pueden consultar en el Anexo 4.

Costo del patrimonio o equity (K_e)

El costo del patrimonio dentro de la fórmula de estimación del WACC, hace referencia al costo del capital propio de los inversionistas del negocio y depende de la percepción de riesgo de los mismos sobre éste. En el contexto de las empresas que participan en la bolsa de valores, el costo de capital propio “equity” es definido como la compensación que demandan los accionistas o inversionistas de una firma por sus aportes de capital y por asumir el riesgo de esperar por los respectivos retornos.

Existen varios métodos para calcular el costo de capital propio, entre estos se destacan: el Modelo de Crecimiento de Dividendos (DGM), el Modelo de Arbitraje de Precios (APM) y el Modelo de Fijación de Precios de Capital (CAPM), ver Anexo 1. El objetivo principal de los tres modelos mencionados, consiste en medir el riesgo no diversificable o riesgo de mercado, para lo cual se adoptan distintas metodologías.

Esta Comisión determinó mantener la metodología CAPM para la definición del WACC. Sin embargo, según García (2003) y Cruz (2003), para emplearla es necesario tomar como referencia valores de mercados diferentes en los que se cuente con información y luego ajustarlos por el riesgo de operar en Colombia mediante el riesgo país (R_p). Este ajuste es necesario ya que en economías crecientes no hay información disponible para el cálculo y por lo tanto el beta (β), que mide el riesgo sistemático, no sería muy confiable. El costo del patrimonio se calcula de la siguiente forma:

$$K_e(US\$) = R_f + \beta_e * (R_m - R_f) + R_p$$

Donde:

$K_e(US\$)$:	Costo del patrimonio en dólares.
R_f :	Tasa libre de riesgo donde el inversionista conoce el rendimiento esperado de un activo financiero durante un periodo de maduración del mismo.
$R_m - R_f$:	Prima de riesgo de mercado que demandan los inversionistas por invertir en un portafolio con activos riesgosos.
R_p :	Valor de riesgo del país, en éste caso de Colombia.
β_e :	Beta de los accionistas (equity), corresponde al riesgo sistemático de la inversión y mide el grado de sensibilidad del negocio de aseo con respecto a los movimientos del mercado accionario.

Como una aproximación al transporte de residuos sólidos, en el presente documento se parte de un beta desapalancado (β_u) que corresponde al valor del sector de ambiente y transporte de los Estados Unidos calculado con base en una submuestra de la base de datos construida por Aswath Damodaran (2013)⁵; luego se calcula el beta apalancado mediante la siguiente ecuación:

$$\beta_u = \frac{\left[\frac{W_d}{W_e} * (1 - \tau) \right]}{\left[\frac{W_d}{W_e} * (1 - \tau) + 1 \right]} * \beta_d + \frac{1}{\left[\frac{W_d}{W_e} * (1 - \tau) + 1 \right]} * \beta_e$$

Donde:

β_u :	Beta de los activos desapalancados, correspondiente al sector water utility.
β_d :	Beta de la deuda.
β_e :	Beta del equity.
τ :	Tasa de impuestos sobre la renta.
W_d :	Porcentaje de la deuda.
W_e :	Porcentaje del patrimonio.

Bajo el supuesto de que se escoge un nivel de deuda con riesgo default nulo i.e. que el $\beta_d = 0$, tenemos que:

$$\beta_e = \beta_u * \left(\frac{W_d}{W_e} * (1 - \tau) + 1 \right)$$

Finalmente, el resultado que se obtiene del K_e se lleva a pesos colombianos usando la ecuación de Fisher de la siguiente manera:

$$K_e(COP\$) = (1 + K_e(US\$)) * \frac{1 + \pi_{Col}}{1 + \pi_{USA}} - 1$$

Donde:

$K_e(COP\$)$:	Corresponde al costo del patrimonio en pesos colombianos.
$K_e(US\$)$:	Corresponde al costo del patrimonio en dólares.
π_{Col} :	Inflación de Colombia.
π_{USA} :	Inflación de Estados Unidos.

⁵ Consultado en www.damodaran.com

Cabe anotar que la metodología CAPM es la que generalmente usan los reguladores para calcular el costo del “equity” en el sector del servicio público de aseo, entre otros es utilizada por Colombia, Argentina, Nicaragua, Perú e Inglaterra. Asimismo, autoridades regulatorias como la OFWAT (The Water Services Regulation Authority), expresan que esta metodología es la adecuada para aproximarse al riesgo sistemático del mercado (OFWAT, 2009).

La vigencia del CAPM se basa en sus ventajas en términos de transparencia, objetividad y sencillez de estimación; pues todas las variables que se utilizan en el modelo pueden ser observadas o derivadas directamente del mercado o de valores históricos.

Participación de la deuda (W_d)

Para calcular la participación de la deuda, ésta se pondera sobre el total de las formas de financiación, considerando la misma muestra de empresas y horizonte que en el cálculo del costo de la deuda. Para la aproximación de la fuente de financiación vía deuda utilizamos las cuentas 22 y 23 del PUC reportadas por las empresas, y para el patrimonio el total de la cuenta 32 del PUC reportado por las empresas. Así para cada empresa de la muestra y cada uno de los años del horizonte en consideración, se aplica la siguiente fórmula:

$$W_{de_j} = \frac{(Cuenta\ 22 + Cuenta\ 23)_{e_j}}{(Cuenta\ 22 + Cuenta\ 23 + Cuenta\ 32)_{e_j}}$$

Donde:

W_{de_j} : Participación de la deuda de la empresa e en el año j .

Así la participación de la deuda para el año j es:

$$W_{d_j} = \frac{\sum_e W_{de_j}}{n}$$

Donde:

W_{d_j} : Costo de la deuda antes de impuestos en el año j
 n : Número de empresas de la muestra para cada año j .

Por lo tanto la participación de la deuda estimada para el nuevo periodo tarifario es:

$$W_d = \frac{\sum_{j=1}^5 W_{d_j}}{5}$$

Donde:

W_d : Participación de la deuda.

Los resultados se encuentran descritos en el Anexo 5.

5.1.2 Tratamiento de las variables

Prima de riesgo de mercado (P_{rm})

Corresponde a la tasa que exige un inversionista por invertir en el portafolio del mercado, el cual incluye todos los activos riesgosos del mismo, en comparación con invertir en activos libres de riesgo. En otras palabras, la prima de riesgo del mercado mide la tasa de retorno extra que exige un inversionista por mover su capital de una inversión libre de riesgo a una inversión de riesgo promedio.

$$P_{rm} = (R_m - R_f)$$

Donde:

- P_{rm} : Prima de riesgo de mercado.
 R_f : Tasa libre de riesgo.
 R_m : Tasa promedio de rendimiento del mercado.

El valor de la prima depende principalmente de dos factores: i) el nivel de aversión al riesgo de los inversionistas (en la medida en que los inversionistas tengan mayor aversión al riesgo exigirán una mayor compensación por activos riesgosos) y ii) el grado de riesgo de la inversión promedio del mercado (la prima será menor en mercados donde solo las firmas más estables participen).

Para la aplicación del CAPM existen tres métodos para estimar la prima de riesgo, ver Anexo 3. En la presente revisión se utiliza el método de primas históricas, el cual consiste en utilizar las series históricas de las tasas de distintos activos financieros. La prima de riesgo equivaldrá a la diferencia entre los retornos promedio de varias acciones representativas del mercado y de activos libres de riesgo.

La estimación de la prima de riesgo en mercados emergentes como el colombiano, presenta las restricciones del reducido número de observaciones en la serie de tiempo, la alta variabilidad y la baja representatividad de las variables requeridas. Para solucionar estos inconvenientes, la literatura recomienda usar información de mercados maduros, como el americano, y ajustar esta prima de riesgo al nivel de riesgo específico del país en cuestión.

$$[R_m - R_f] + R_p$$

Donde:

- $[R_m - R_f]$: Prima de riesgo base para un mercado de activos financieros maduros.
 R_p : Índice que cuantifica el riesgo adicional de mercado, al cual se ve expuesto un inversionista cuando está vinculado a una economía emergente.

Otro aspecto a tener en cuenta en la estimación de la prima de riesgo, es la longitud de la serie de tiempo a utilizar. La literatura académica recomienda emplear una serie de 50 años o más ya que el error estándar disminuye en la medida en que se utilizan series de mayor duración.

Tasa libre de riesgo (R_f)

Corresponde a la tasa de retorno de un activo financiero para el cual los inversionistas conocen con certeza el retorno esperado en un periodo de tiempo determinado. En el contexto del CAPM, la tasa libre de riesgo tiene un papel clave, ya que el costo del capital se define como la tasa libre de riesgo más una prima de riesgo y al mismo tiempo, la prima de riesgo depende de la diferencia entre la tasa libre de riesgo y la tasa de riesgo del mercado (ver Anexo 3).

En la práctica, el instrumento financiero a utilizar como tasa libre de riesgo, se escoge de tal forma que su tiempo de maduración sea igual o similar a la duración del flujo de caja a evaluar. Éste aplica siempre y cuando no existan diferencias importantes entre las tasas de corto y largo plazo, ya que en estos casos se recomienda estimar tasas específicas para cada uno de los años del horizonte (Damodaran, Risk Free Rate, actualización 2012).

Cabe anotar, que en la Resolución CRA 312 de 2005 se definió la tasa libre de riesgo a partir de los bonos del Tesoro Americano con maduración a 10 años, utilizando la serie anual entre 1926 y 2003, la cual correspondía a 5,28%.

Aunque es posible estimar la tasa libre de riesgo utilizando los títulos de Tesorería Colombianos (TES) ya que su calificación de riesgo es AAA, su aplicación no resulta conveniente dado que para varias observaciones de la

serie histórica la tasa libre de riesgo resulta mayor al riesgo de mercado (R_m)⁶. Adicionalmente existe una baja frecuencia de negociación de los mismos en el mercado primario teniendo en cuenta que es un mercado incipiente⁷.

La siguiente alternativa de acuerdo con los argumentos planteados, es utilizar los bonos del Tesoro Americano con maduración a cinco (5) años ya que: i) se consideran libres de riesgo por su calificación AAA; ii) la nueva metodología tarifaria estima la inversión de capital para un horizonte de seis años y; iii) estos instrumentos son ampliamente transados en la bolsa y no presentan vacíos en la serie. El inconveniente de utilizar los bonos del Tesoro Americano con maduración a 5 años es que únicamente se cuenta con la serie entre 1953 a 2013 (56 años), significativamente menor a la serie utilizada en la metodología anterior (75 años).

Sin embargo, al comparar el comportamiento de las tasas de los bonos a 5 y a 10 años entre 1953 a la fecha, se encuentra que presentan tendencia similar y por ende es indiferente si se decide utilizar los bonos a diez (10) años, además se tiene la ventaja de utilizar una serie más larga (1928-2013) y mantener la consistencia con la serie utilizada en la metodología anterior⁸. Además, tomar los bonos a diez (10) años permite establecer una relación con el periodo de proyección de los costos de administración, operación y mantenimiento (AOM), la demanda y el periodo de recuperación de las inversiones. En consecuencia, se determinó que lo más conveniente es utilizar como tasa libre de riesgo los bonos del tesoro americano con maduración a diez años, utilizando la serie anual entre 1928 y 2013.

Tasa de retorno de mercado

Equivale al rendimiento esperado para el mercado accionario en su conjunto; como no es posible estimar el rendimiento esperado de todo el mercado, en la práctica se utilizan índices bursátiles como el NASDAQ⁹ o S&P500¹⁰. En el caso de países emergentes, tal como se explicó anteriormente, se utiliza el rendimiento del mercado de una economía desarrollada y se ajusta el modelo CAPM por el riesgo país. Por lo tanto, la selección del índice depende del mercado al que pertenezca la tasa libre de riesgo escogida.

En la Resolución CRA 312 de 2005¹¹ se utilizó como tasa de retorno de mercado el índice S&P500 anualizado para el periodo 1928-2003 (11,82%) y como tasa libre de riesgo se utilizó la tasa anualizada de los bonos del tesoro americano con maduración a diez años para el mismo periodo de tiempo.

Por lo anterior, para el cálculo de la prima de riesgo se propone utilizar el promedio aritmético del índice S&P500 anualizado para el periodo comprendido entre 1928 y 2013, cuyo valor asciende a 11,50%, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Mantener la consistencia con el índice utilizado para la estimación de la prima de riesgo del periodo regulatorio anterior.
- Utilizar el rendimiento del mercado de activos americano, ya que se decidió estimar la prima de riesgo utilizando información de un mercado maduro para posteriormente ajustarla por una prima de “riesgo país”.
- La representatividad del portafolio de mercado de los activos que se incluyen en el S&P500.

Beta desapalancado de los activos (β_u)

⁶ Ejemplo ($R_m - R_f$) entre julio de 1995 y julio de 2001.

⁷ Existen vacíos para varios meses de la serie

⁸ En lo referente a la variable y periodos de tiempo utilizados para el cálculo.

⁹ National Association of Securities Dealers Automated Quotation. Es un índice bursátil que reúne los valores más importantes inscritos en la Bolsa de Nueva York.

¹⁰ El índice Standard & Poor's 500 es uno de los índices bursátiles más importantes de Estados Unidos, se considera como el de mayor representatividad de la situación real del mercado.

¹¹ Metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado contenida en la Resolución CRA 287 de 2004.

El beta desapalancado (β_u) de los activos, es el riesgo sistemático no diversificable, al cual está expuesta una empresa que está fondeada 100% con equity. Derivado del efecto del ahorro tributario, el beta desapalancado busca comparar a dos empresas bajo las mismas condiciones, por dicha razón el cálculo de este beta es relevante para el cálculo del beta del equity.

En términos generales, el beta mide el rendimiento esperado de una acción con el objetivo de determinar la correlación que existe entre la actividad evaluada y el mercado, a partir de la volatilidad del precio de la acción con respecto a la volatilidad de un portafolio de mercado.

En este sentido, un beta igual a uno (1) significa que el precio de la acción de una empresa cambia de la misma manera que los precios del mercado como un todo; un beta menor que uno (<1) implica que el precio de la acción de la compañía es menos susceptible a cambios que el mercado, mientras que un beta mayor que uno (>1) indica que el precio de la acción es más volátil que el mercado.

En la Resolución CRA 351 de 2005 se adoptó como WACC, el rango superior utilizado para para los servicios públicos de acueducto y alcantarillado como remuneración de costo de oportunidad del servicio público de aseo, aludiendo que los riesgos de ambos servicios son similares. Debido a que los servicios públicos de acueducto y alcantarillado poseen altos niveles de costos hundidos y una recuperación de inversión de largo plazo, características que no presenta el servicio público de aseo, la CRA decidió calcular un WACC propio para dicho servicio.

Para el cálculo del costo de *equity* por medio de la metodología CAPM, la CRA ha referenciado como fuente de información de beta desapalancado del sector (β_u), los valores publicados por Damodaran en su página web. La información no está desagregada a niveles sectoriales específicos, por lo que no se encuentra cifras precisas para el servicio público de aseo. Esto, lleva a buscar una aproximación de dicho beta ponderando los sectores de carga (Trucking), ambiental y manejo de residuos (Environmental and Waste), del grupo de mercados emergentes del cual hace parte Colombia. Es importante mencionar que la información de las empresas se clasificó conforme a su actividad, para lo cual el primer paso fue revisar el tipo de empresas que se encontraban en dichos sectores, de tal forma que su actividad estuviese relacionada con el servicio público de aseo (recolección, transporte y disposición de residuos).

En el sector de ambiente, se encontró que 18 de las 87 empresas listadas realizan actividades relacionadas con el manejo y disposición de residuos ya sean reciclables, no reciclables, o peligrosos; el resto de empresas desarrollan actividades no relacionadas con el servicio público de aseo. De éstas, el 29% se relacionan con la actividad de manejo de aguas residuales, filtros de agua o purificadores de agua. Así mismo, para el sector de transporte, se encontró que 32 de las 89 empresas listadas realizan la actividad de carga, mientras que el 55% del total de la muestra realiza actividades como renta de carros y transporte público; el resto de empresas realizan otras actividades que no están relacionadas con carga. A continuación se muestra cómo se calculó el beta desapalancado (β_u) de cada uno de los sectores.

Para el cálculo del β_u se tiene en cuenta que el valor de una empresa desapalancada V_u considera el valor de mercado de la deuda y del “*equity*”, así como el escudo tributario de la empresa así:

$$V_u = D * (1 - \tau) + E$$

Donde:

- V_u : Valor de los activos desapalancados.
- D : Valor de mercado de la deuda
- E : Valor de mercado del equity
- τ : Tasa impositiva para la empresa.

Así el β_u se puede calcular como una ponderación del portafolio de la empresa de deuda y “*equity*” de la siguiente forma:

$$\beta_u = \frac{[D \cdot (1 - \tau)]}{[D \cdot (1 - \tau) + E]} * \beta_D + \frac{E}{[D \cdot (1 - \tau) + E]} * \beta_E$$

Donde:

- β_u : Beta de los activos desapalancados
- β_D : Beta de la deuda
- β_E : Beta de equity

Suponiendo que la empresa escoge su relación $\frac{D}{E}$ óptima y que el riesgo *default* es mínimo, se tiene que el $\beta_D = 0$, así la fórmula para el β_u de una empresa nos queda como:

$$\beta_u = \frac{E}{[D \cdot (1 - \tau) + E]} * \beta_E = \frac{1}{\left[\frac{D}{E} \cdot (1 - \tau) + 1\right]} * \beta_E$$

Ahora, para estimar el beta de un sector, en éste caso Trucking o Environmental and Waste, se desapalanca cada empresa e de la muestra con su estructura $\left(\frac{D}{E}\right)_e$, su tasa de tributación τ_e y su beta de equity β_{E_e} . Así para cada empresa el beta desapalancado β_{u_e} sería:

$$\beta_{u_e} = \frac{1}{\left[\left(\frac{D}{E}\right)_e \cdot (1 - \tau)_e + 1\right]} * \beta_{E_e}$$

Y para estimar el beta desapalancado del sector $\beta_{u_{sector}}$ se promedia el número n de empresas de la muestra de la siguiente forma:

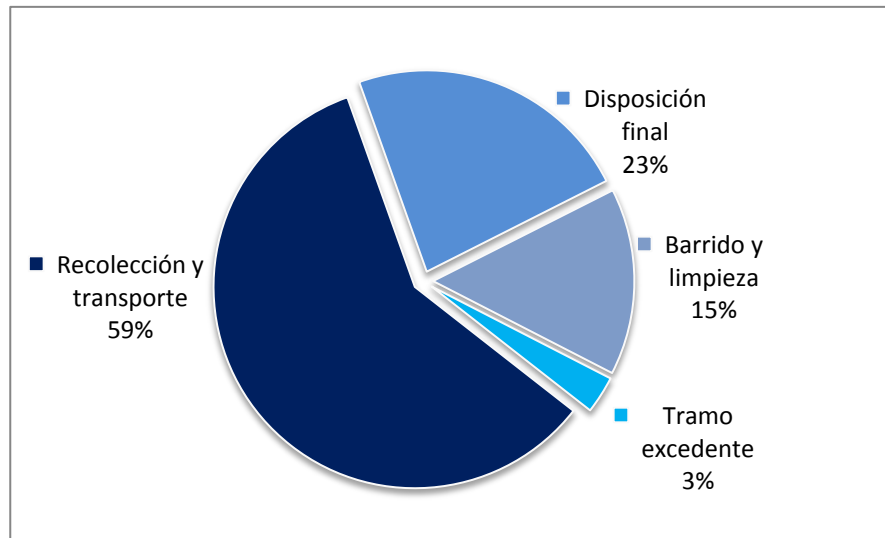
$$\beta_{u_{sector}} = \frac{\sum_{e=1}^n \beta_{u_e}}{n}$$

Para el cálculo del beta del sector de aseo ($\beta_{u_{aseo}}$), se pondera el beta del sector de transporte y el beta del sector ambiente, calculados con la muestra descrita anteriormente y los datos proporcionados por la página de Aswath Damodaran. Por lo tanto:

$$\beta_{u_{aseo}} = (X_{Trucking} * \beta_{u_{Trucking}}) + (X_{E\&W} * \beta_{u_{E\&W}})$$

De esta forma, a partir de los costos promedio por componente de la metodología establecida por la Resolución CRA 351 de 2005, se calcula la ponderación de las actividades de barrido y limpieza, disposición final, recolección y transporte y transporte de tramo excedente para hallar las proporciones que se aplican a los betas mencionados anteriormente. La siguiente gráfica muestra la proporción de costos de 39 empresas.

Gráfica 3. Proporción de costos
Metodología Resolución CRA 351 de 2005



Fuente: SUI, cálculos CRA

En este sentido se agrupa la proporción de costo de recolección y transporte y tramo excedente por un lado y por el otro, se agrupa barrido y limpieza con la proporción de disposición final, teniendo como resultado 62,1% y 37,9% respectivamente. La ponderación del beta para el cálculo del WACC es el siguiente:

$$Beta_{estimado} = (Beta_{trucking} * 0,621) + (Beta_{environmental} * 0,379) = 0,748$$

El beta para un sector específico o para una acción específica, está determinado por la relación existente entre la covarianza de la rentabilidad del mercado y la rentabilidad del sector y la varianza de la rentabilidad del mercado (Serrano, 2004). Sin embargo, no es posible estimar un beta representativo para el sector de aseo en Colombia, ya que *“no existe información suficiente para una estimación adecuada de los betas, lo cual es especialmente crítico en el caso de empresas de servicios públicos cuyas acciones no se negocian en la bolsa de valores”* (Serrano, 2004).

Partiendo de la idea de que un buen estimador es aquel que está construido a partir del mayor número de observaciones y presenta una frecuencia regular de transacciones de acciones en el mercado; dado el desarrollo, profundidad y eficiencia del mercado accionario de mercados emergentes este beta sería el adecuado para la definición del WACC.

Riesgo país

El riesgo país se define como el índice que cuantifica el riesgo adicional del mercado, al cual se ve expuesto un inversionista cuando está vinculado a una economía emergente. Básicamente, un inversionista exigirá un retorno esperado mayor por estar expuesto a variaciones inesperadas en su flujo de efectivo por factores políticos, sociales, económicos y financieros (ver Anexo 3).

La inclusión de una prima de riesgo en el CAPM se basa en la idea que parte del riesgo en mercados emergentes es no diversificable y la existencia de correlación entre los retornos de distintos países. A pesar de que actualmente los inversionistas tienen la posibilidad de eliminar parte del riesgo país diversificando su portafolio con activos de varios países, el constante aumento de la correlación entre mercados, implica que una parte del riesgo mencionado no podrá ser diversificado.

El método comúnmente utilizado para estimar el riesgo país consiste en calcular la diferencia entre un activo libre de riesgo de un mercado maduro y un activo libre de riesgo del país bajo análisis. La idea es que si en un mercado existen dos activos con términos de redención y liquidez similares, la diferencia en su cotización estará explicada por la percepción del riesgo del emisor (Damodaran, Country-Risk, 2014).

Siguiendo la lógica anterior, el riesgo país utilizado en la Resolución CRA 312 de 2005 fue el *spread* de la deuda soberana (EMBI+) comprendido entre junio de 2002 y diciembre de 2006 (5,6%); tomando como referencia un periodo de aplicación de la metodología tarifaria de cinco años, en el presente documento de trabajo se tomó el *spread* del EMBI+ entre los años 2009 y 2013.

Para el periodo tarifario a iniciar se recomienda utilizar el EMBI+, como índice del riesgo país, por los siguientes motivos:

- El uso del *spread* del índice EMBI+ resulta conveniente para mantener la consistencia respecto al método de cálculo del riesgo país utilizado en el periodo regulatorio anterior.
- Constituye una medida adecuada de riesgo país, teniendo en cuenta que no es necesario realizar ajustes adicionales al CAPM por riesgos específicos del negocio en Colombia (consistente con los demás parámetros del modelo).

La exposición al riesgo país de las empresas del sector de aseo es total (igual a 1), ya que es una actividad de mercado carácter geográfico y local. Por lo tanto, no es necesario realizar ninguna modificación a R_p de acuerdo con el nivel de exposición al riesgo.

5.1.3 Cálculo del WACC

A continuación se detallan las variables utilizadas para el cálculo del costo ponderado de capital, incluyendo las fuentes y respectivos periodos de estimación:

Tabla 2. Definición de variables para el cálculo del WACC

Nombre	Variable	Fuente	Periodo	Descripción
Costo de deuda	Kd	Cálculo CRA -Estados Financieros de las Empresas - SUI	2008-2012	Promedio aritmético del costo de deuda
Inflación Colombia	π_{COL}	Banco de la República	2014	Proyección
Inflación USA	π_{EU}	Federal Reserve of Saint Louis	2014	Proyección
Tasa de Impuesto	t	Estatuto Tributario	2013	Tasa de Impuesto de Renta.
Beta desapalancado	β_U	Cálculo CRA (Ponderación Submuestra sector Trucking and Environmental and Wasted) - Fuente Damodaran	2013	Parámetro que representa el riesgo operacional de una industria en relación con el mercado donde se desarrolla.
Beta equity	β_e	Cálculo CRA	2013	$\beta_e = \beta_u [1 + (1 + \tau) W_d / W_e]$
Tasa Libre de Riesgo	Rf	Federal Reserve of Saint Louis	1928-2013	Promedio aritmético de la tasa de retorno anual de los bonos de tesoro Americano con maduración a 10 años.
Riesgo de Mercado	Rm	Standard & Poors	1928-2013	Promedio aritmético del Índice anual S&P500.

Riesgo País	Rp	JP Morgan	2009-2013	Spread de los bonos soberanos colombianos en dólares. Promedio mensual del Índice Plus de bonos de mercados emergentes (EMBI+).
Participación de la Deuda	Wd	Cálculo CRA -Estados Financieros de las Empresas de Aseo - SUI	2008-2012	$W_d = \frac{Deuda}{Deuda + patrimonio}$
Participación del Capital Propio	We	Cálculo CRA -Estados Financieros de las Empresas de Aseo - SUI	2008-2012	$W_e = 1 - W_d$

Fuente: Elaboración CRA.

A partir de las variables mencionadas anteriormente y el tratamiento de cada una, se obtiene un valor de WACC real de 13,88% antes de impuestos, como lo muestra la tabla a continuación:

Tabla 3. Estimación de WACC servicio público de aseo

Ítem	Variable	Valor
Costo de la deuda	t	0,33
	Kd COP\$ ai	11,64%
	Kd COP\$ai (real)	8,39%
	Kd COP\$ di(real)	5,62%
Costo del Equity	B desapalancado	0,75
	B apalancado Equity	1,072
	Rf	5,21%
	Rm	11,50%
	E(Rm-Rf)	6,29%
	Riesgo País Ajustado Rp	1,97%
	Ke US\$ di	13,92%
	Ke COP\$di	15,03%
	Ke COP\$di (real)	11,68%
	Otros parámetros	Wd
We		60,7%
Inflación Colombia		3,00%
Inflación USA		2,00%
WACC	Wacc COP\$ di (real)	9,30%
	Wacc COP\$ ai (real)	13,88%

Fuente: Cálculos CRA.

Una vez obtenido el valor del WACC anual (13,88%), se calcula su valor mensual correspondiente, el cual se utilizará en el cálculo de la recuperación de capital en los casos en que los costos deban expresarse en meses, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$WACC_{mensual} = (1 + WACC_{anual})^{1/12} - 1$$

$$WACC_{mensual} = (1 + 13,88\%)^{1/12} - 1 = 1,09\%$$

5.2 RENTABILIDAD

Todos los costos por componentes se basan en el mismo esquema de rentabilidad: i) los costos financieros por inversión son reconocidos a una tasa WACC y, ii) sobre los costos operativos anuales se reconoce una tasa de

rentabilidad de capital de trabajo. A continuación se detalla la metodología de rentabilidad sobre los diferentes costos.

5.2.1 Costos financieros por inversión

El prestador con objeto de la prestación del servicio, debe incurrir en un costo de capital por anticipar recursos para disponer de los vehículos, como para el desarrollo de obras en los rellenos sanitarios y plantas de lixiviados, entre otros. El costo financiero a reconocer será el valor de la tasa autorizada del WACC.

Para la inclusión del costo financiero en el capital anticipado para los vehículos, se realiza una conversión del costo inicial en un pago mensual equivalente calculado con la tasa de remuneración, de la siguiente manera:

$$\text{Pago mensual} = P (\text{Tasa de retorno, vida útil, costo del vehículo})$$

Donde:

P: Función de pago equivalente que depende de la tasa de retorno, la vida útil de los vehículos y el costo del vehículo.

Para el reconocimiento del costo financiero en las inversiones en obras, se realiza una distribución del costo total de las obras en la demanda total, de acuerdo con su vida útil, de tal manera que se obtiene un costo por unidad de producto: tonelada y metros cúbicos para los rellenos sanitarios y plantas de lixiviados respectivamente. Esta función se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Costo Unitario} = \frac{VP (\text{Costo Obras})}{VP (\text{Demanda})}$$

Donde:

VP(): Implica la aplicación de la función de valor presente, descontando los valores con la tasa de WACC.

5.2.2 Costos financieros de capital de trabajo

Con el objeto de garantizar los compromisos operativos mensuales, el prestador requiere anticipar unos recursos de capital por un tiempo, que corresponde al ciclo de rotación de los recursos del negocio y por lo cual incurre en un costo financiero que se reconoce en la tarifa.

El ciclo de rotación de los recursos del negocio se mide como la diferencia entre el plazo de financiación por el cobro del servicio y el plazo de financiación por el pago a proveedores, en condiciones eficientes.

Para estimar los días de rotación de cartera se parte de la muestra de empresas del servicio público de aseo con la que se determinó el costo de la deuda para el cálculo del WACC de aseo y se calcula el promedio de los días de rotación de cartera, tomando el promedio de los datos de los años 2011 y 2012, y eliminando de la muestra empresas con rotaciones de cartera menores a 20 días y mayores a 200 días.

El resultado de los días de rotación de cartera a partir de los estados financieros de 2011 y 2012, es de 68,18 días y el costo financiero de capital de trabajo quedó definido de la siguiente forma:

$$\text{Costo financiero capital de trabajo} = CO * ((1 + WACC)^{\frac{68,18}{365}} - 1)$$

Donde:

CO : Costos de Operación mensual, de los componentes de barrido y limpieza y recolección y transporte en todas sus variables, exceptuando el capital requerido para inversión en vehículos e infraestructura.

WACC: Tasa de descuento anual autorizada por la Comisión de 13,88%.

De acuerdo con lo anterior, la tasa de costo de capital de trabajo que se reconoce es de 2,46% sobre los costos mensuales de operación, como se sigue de la siguiente fórmula:

$$Tasa\ de\ costo\ de\ capital\ de\ trabajo\ (CKT) = \left((1 + WACC)^{\frac{68,18}{365}} - 1 \right)$$

$$TASA\ CKT = \left((1 + 13,88\%)^{\frac{68,18}{365}} - 1 \right) = 2,46\%$$

5.3 FACTOR DE GASTOS ADMINISTRATIVOS

El factor de gastos administrativos vigente, explicado en la Revista regulación de Agua Potable y Saneamiento BÁSICO No.11 de abril 2007¹² como parte de la metodología de costos y tarifas para el servicio público de aseo, proviene del Estudio de Regulación Tarifaria de Aseo contratado por el PNUD-Ministerio de Hacienda y Crédito Público con Econometría S.A. y cuyo objetivo general, fue “establecer los criterios y la metodología tarifaria que garanticen el adecuado funcionamiento de un mercado competitivo y el aumento en el grado de contestabilidad en la prestación del servicio de aseo, con el objeto de avanzar, donde ello sea posible, hacia un esquema de formación de precios en un mercado competitivo en todos sus componentes. Así mismo, desarrollar una regulación tarifaria con incentivos explícitos de mejoras en eficiencia de las empresas prestadoras del servicio, la cual permita compartir estas eficiencias con los usuarios en forma consistente con las políticas del gobierno nacional”. El destinatario final de este estudio fue la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA).¹³

En el producto de la Fase III del Estudio de Regulación Tarifaria de Aseo se describe el análisis efectuado sobre los gastos administrativos, que fueron desagregados por costo del personal de administración y los otros gastos necesarios para funcionar, análisis que actualmente se encuentra contenido en el documento de trabajo de la Resolución CRA 351 de 2005, en los siguientes términos:

- Para el personal de administración se considera una planta eficiente (mayor número de usuarios por trabajador administrativo) y un costo eficiente por trabajador que incluye todas las previsiones de la legislación colombiana en materia de costos laborales (costo total mensual frente al número de usuarios).
- Para los vehículos asignados a administración se consideró el parque total de vehículos livianos y motos de cada empresa y se descontaron los que se remuneran en la parte operativa, es decir un vehículo liviano por supervisor de recolección y una moto por supervisor de barrido.
- La estimación del costo de inmuebles de administración se realizó bajo el supuesto que el área mínima requerida para el funcionamiento de las oficinas administrativas es de 50 metros cuadrados para áreas comunes y 8 metros cuadrados en promedio para cada empleado. A partir de la planta eficiente se calcula entonces el área requerida en condiciones de eficiencia.
- En otros gastos administrativos se incluyen contratos relacionados con las labores de administración como son los de auditoría, capacitación, asistencia técnica, casino y restaurante, seguros para protección de inmuebles, de responsabilidad civil, manejo, cumplimiento, hurto, incendio, (los seguros de vehículos no se incluyen por estar considerados en la parte operativa), computadores y software,

¹² La primer edición de esta revista fue en 2006.

¹³ Resumen Ejecutivo del Estudio de Regulación Tarifaria de Aseo, Revista Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico No. 9 junio de 2004.

comunicaciones, servicios públicos, contribuciones para la CRA y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

De esta forma, se calculó el factor alfa aplicado para las empresas con integración de 2 y 3 componentes (Recolección y Transporte, Barrido y Limpieza y Disposición Final), usando la siguiente fórmula:

De esta forma, se calculó el factor alfa aplicado para las empresas con integración de 2 y 3 componentes (Recolección y Transporte, Barrido y Limpieza y Disposición Final), usando la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Costo Administrativo}_{\text{Eficiente}}}{\text{Costo Operativo}_{\text{Eficiente}}}$$

Los resultados obtenidos a partir del procedimiento antes mencionado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4. Cálculo del coeficiente alfa Resolución CRA 351 de 2005

Estadísticos	Empresas de RyT y ByL con información completa	Empresas de RyT, ByLy DF con información completa	Ambas
Número de empresas	11	7	18
Promedio (μ)	11,25%	7,81%	9,91%
Desviación estándar (σ)	4,90%	2,44%	4,38%
Error estándar medio (ξ)	1,48%	0,92%	1,03%
Límite inferior	8,35%	6,00%	7,89%
Límite superior	14,14%	9,62%	11,93%

Fuente: Fase III del Estudio de Regulación Tarifaria de Aseo de Econometría S.A.

Se toma el promedio general que resulta muy cercano al 10%, el cual ajustado por un intervalo de confianza, quedó como el 12,8% que se encuentra plasmado en la metodología tarifaria vigente.

5.3.1 Metodología

El desarrollo del presente marco tarifario para el servicio público de aseo y la formulación de los modelos de costos que lo soportan, exige la revisión y actualización de los estudios, parámetros, supuestos y condiciones considerados en los modelos que sirvieron de base para las Resoluciones CRA 351 y 352 de 2005, toda vez que se mantienen algunos de los elementos contemplados.

Particularmente, en relación con el factor de gastos administrativos es necesario realizar nuevos cálculos que reflejen la dinámica actual de los prestadores del servicio público de aseo, toda vez que el dato usado en el anterior marco parte de un esquema de eficiencia que resultó del análisis de la información de los prestadores del año 2004, la cual debe ser actualizada. Adicionalmente, el esquema de eficiencia que se planteó involucra un listado de supuestos que en su momento fueron necesarios por las limitaciones de la información, pero que actualmente pueden ser revisados con base en la realidad del sector. De otra parte, en la estimación del factor de gastos administrativos se considera la normativa laboral vigente.

A partir de información disponible para los años 2010 al 2014 se realizan las estimaciones pertinentes para determinar un factor de gastos administrativos ajustado a la condiciones de prestación actual del servicio, el cual se incluye en la totalidad de los modelos de costos del presente marco tarifario de aseo (CRT, CBL, CDF, CTL y CLUS) excepto para el modelo de Costo de Comercialización por Suscriptor (CCS), en el cual se calcula los costos administrativos asociados al procesos de facturación y recaudo.

El análisis actualizado de este factor de gastos administrativos se realizó a partir de los estados financieros de (20) prestadores de aseo del primer segmento y los doce (12) más grandes del segundo segmento, reportados

en el SUI. La fórmula aplicada para determinar el peso de los gastos administrativos sobre los costos operativos, fue la siguiente:

$$\frac{(cuenta\ 51 + cuenta\ 53)}{cuenta\ 75}$$

Las cuentas hacen referencia a aquellas establecidas en el Plan Único de Cuentas definido por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. La cuenta 51 relaciona los gastos de administración e incluye subcuentas como gastos de personal, honorarios, impuestos, arrendamientos; la cuenta 53 relaciona las provisiones, agotamiento, depreciaciones y amortizaciones e incluye subcuentas como provisión para protección de inversiones, provisión para protección de propiedad, planta y equipos. Por último la cuenta 75 “Costos de producción” incluye entre otros los costos de personal, generales, depreciaciones, arrendamientos, amortizaciones y agotamiento asociados al proceso productivo de la empresa.

Se excluyen las cuentas que no tienen relación directa con la prestación directa del servicio, para lo cual se aplica las exclusiones de las cuentas 51, 53 y 75, detalladas en los artículos 7 y 19 de la Resolución CRA 688 de 2014, menos las siguientes cuentas (incluidas):

Tabla 5. Cuentas incluidas que eran excluidas en la Resolución CRA 688 de 2014

Número de cuenta	Nombre de la cuenta
512002	Cuota de fiscalización y auditaje
512023	Impuesto al patrimonio
512026	Notariales
756590	Otros Impuestos

Fuente: Resolución CRA 688 de 2014

La verificación de cuentas a incluir y excluir tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Se efectuó una depuración de cuentas del PUC, en el mismo sentido que se hizo en la Resolución CRA 688 de 2014.
- Se incluyen impuestos que no se reconocen en WACC o directamente en los modelos.
- No se reconoce doble costo de cuenta alguna.

De esta forma, el cálculo se efectúa desde el año 2006 hasta el 2012, pero para el análisis sólo se tienen en cuenta los resultados de los años 2010-2014, periodo para el cual se consolida información de estados financieros de 32 prestadores.

A la muestra consolidada se le realiza una verificación de consistencia en la información, haciendo uso de técnicas como la caja de bigotes del programa SPSS¹⁴ que permite la eliminación de valores atípicos para cada uno de los años objeto de análisis.

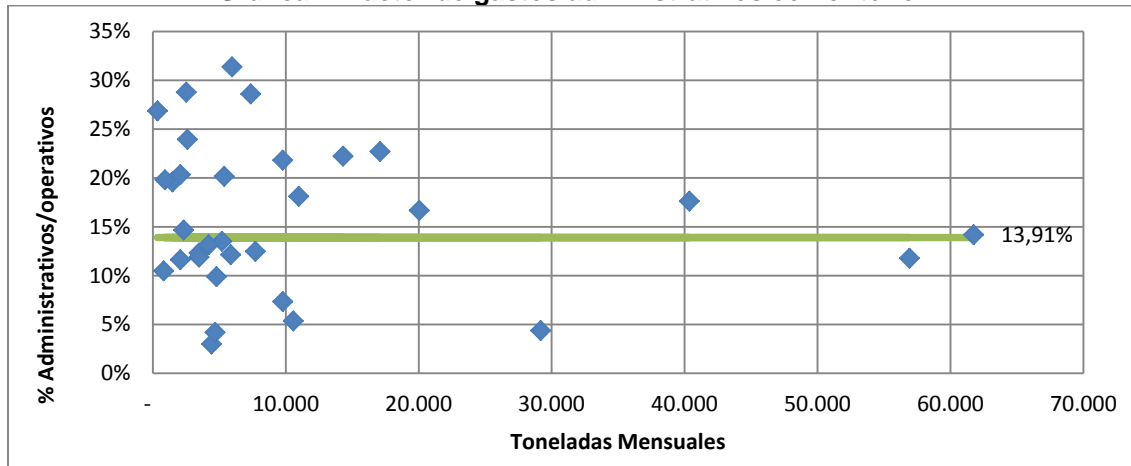
Una vez realizada la eliminación de los datos atípicos para cada uno de los años de forma independiente, se consolida una muestra de 32 prestadores, que cuentan con información completa y consistente para el periodo analizado (2010-2014), y partir de ella se estima el factor de gastos administrativos.

5.3.2 Resultados

Para definir el porcentaje de gastos administrativos se consideran el de valor fijo-media geométrica, se calcula el factor de gastos administrativos por empresa como la media geométrica de los datos del 2010 al 2014. A los datos obtenidos con el paso anterior se le calcula la media geométrica, para obtener un solo valor de la muestra. El resultado obtenido con este criterio es: 13,91%, que será incluido en la modelación de los costos de CRT, CBL, CDF, CTL y CLUS.

¹⁴ Software Predicted Analytics and solutions-IBM SPSS statistics 21. 2012

Gráfica 4. Factor de gastos administrativos con criterio 1



Fuente: SUI, cálculos CRA

5.4 SEGMENTACIÓN

En desarrollo del estudio para la actualización del marco tarifario de aseo, se analizó la definición de la segmentación del mercado del servicio público de aseo, con el fin de identificar las diferencias de la prestación del servicio en diferentes tamaños de municipios.

Como consecuencia de los procesos de descentralización de fines de los ochenta y los cambios implementados hasta la fecha, se originaron modificaciones en el esquema de prestación, pasando de un sistema centralizado a un esquema municipal bastante heterogéneo en:

- La capacidad de gestión empresarial pública y privada.
- El desarrollo institucional municipal.
- El tamaño, acceso y dispersión del mercado.

Asimismo, los municipios y distritos han desarrollado los PGIRS de manera heterogénea y han optado por esquemas de libre competencia salvo contadas excepciones.

En efecto, en el sector se ha desarrollado la capacidad de gestión pública y privada en los mercados que son atractivos (mercados más concentrados) y se espera que esta capacidad avance hacia los demás mercados en los siguientes años. Es claro que en los municipios de gran tamaño se han apropiado de tecnologías más eficientes, mientras que en pequeños municipios las actividades se realizan de forma artesanal y con equipos que comparten tareas con otros sectores adicionales al servicio de aseo.

Por lo anterior, la agrupación de municipios en segmentos obedece fundamentalmente más a la capacidad de gestión asociada al tamaño del mercado, en donde existen unos grandes mercados con prestadores que poseen una alta capacidad de gestión y en el otro extremo, unos prestadores en municipios pequeños con una baja capacidad de gestión. En el intermedio se ubican unos prestadores con una capacidad media.

Además, en Colombia la categorización de los distritos y municipios se realiza con base en el tamaño de la población y en los ingresos corrientes de libre destinación anuales en salarios mínimos legales mensuales. Por lo tanto para la segmentación del servicio de aseo el parámetro más relevante a considerar es el tamaño de la población y corresponde al número de suscriptores de un municipio y aplica a los prestadores que atienden los municipios de determinado segmento.

Vale la pena recordar que la segmentación descrita, tiene como objetivo su aplicación en la regulación tarifaria y en las medidas de control diferenciales para cuatro aspectos del marco tarifario de aseo:

- Costo de comercialización por suscriptor.
- Régimen de calidad y descuento.
- Costo de corte de césped, incluido en el Costo de Limpieza Urbana por Suscriptor.
- Plazos diferenciados para la implementación de la tecnología de medición en línea.

El primer segmento corresponde a las personas prestadoras que atiendan municipios y/o distritos de más de 100.000 suscriptores. Además, aquellos que atiendan los suscriptores de las ciudades señaladas en la Tabla 1 del Anexo 10. El segundo segmento corresponde a las personas prestadoras que atiendan en municipios y/o distritos con un número de suscriptores superior a 5.000 y hasta 100.000, con excepción de las ciudades capitales incluidas en el primer segmento, según lo establecido en la Tabla 2 del Anexo 10.

Los criterios con los cuales se basa esta segmentación son el tamaño de mercado, sin embargo se incluyen algunas ciudades capitales con menor tamaño pero que, por su condición de capital, marcan el nivel de desarrollo sectorial para los demás municipios del departamento, a través de lo cual el Regulador pretende impulsar los estándares del servicio principalmente en las ciudades capitales. Para la determinación de número de suscriptores y con ello la segmentación que le aplica, el prestador tomará el valor actualizado al momento de aplicar la nueva fórmula tarifaria.

5.5 COSTOS LABORALES

Los costos laborales que se incluyen en los modelos de cada uno de los componentes consideran los cambios ocasionados sobre la nómina establecidos en la reforma tributaria del 2012 (Ley 1607 de 2012). Adicionalmente, para la incorporación de estos costos se construye un modelo de liquidación de nómina en lugar de aplicar un factor salarial estático, con el fin de aumentar el nivel de precisión.

La construcción del modelo incluye los costos laborales legales asociados a la nómina, los de dotación, los de capacitación, bienestar y gastos médicos y los asociados con la suplencia laboral. Es importante aclarar que la reforma tributaria vigente a partir del 1 de enero de 2013, elimina la obligatoriedad para realizar los aportes a salud para los trabajadores que reciban hasta diez (10) salarios mínimos legales mensuales vigentes. En la Tabla a continuación se pueden observar los costos legales a incorporar sobre la nómina y la forma de liquidarlos de acuerdo con la reforma tributaria vigente.

Tabla 6. Costos laborales
Liquidación de nómina 2014

Rubro	2014	Base liquidación
Parafiscales	4,0%	Sobre Salario Básico + horas extra + comisiones
Pensión	12%	Sobre Salario Básico+ horas extra + comisiones
ARL	4,4%	Sobre Salario Básico + horas extra + comisiones
Cesantías	8,3%	Sobre Salario Básico + horas extra + comisiones + auxilio de transporte
Intereses cesantías	12%	Sobre Salario Básico + horas extra + comisiones + auxilio de transporte
Prima de servicios	8,3%	Sobre Salario Básico + horas extra + comisiones + auxilio de transporte
Vacaciones	4,2%	Sobre Salario Básico + comisiones

Fuente: Construcción CRA.

Los costos de dotación fueron calculados a partir de los precios de mercado de cada uno de los insumos, la tabla a continuación muestra los costos unitarios de cada implemento, las cantidades y el costo total de dotación para conductores, operarios y supervisores.

Tabla 7. Costos de dotación por mes

Pesos junio de 2012

Dotación operario y conductor	Valor unitario	Cantidad	Total
Uniforme - Overol reflectivo	\$ 144.198	0,5	\$ 72.099
Botas punta de acero	\$ 47.970	0,5	\$ 23.985
Guantes	\$ 10.478	0,5	\$ 5.239
Gafas de seguridad	\$ 6.219	0,5	\$ 518
Mascarillas	\$ 8.556	0,5	\$ 4.278
TOTAL			\$ 110.581
Dotación supervisor	Valor unitario	Cantidad	Total
Uniforme - Overol reflectivo	\$ 144.198	0,5	\$ 72.099
Botas punta de acero	\$ 47.970	0,5	\$ 23.985
TOTAL			\$ 96.048

Fuente: Precios de lista¹⁵, cálculos CRA.

Se incluyó un rubro adicional denominado capacitación y bienestar que corresponde al 2,6% adicional de los costos laborales, que comprende: capacitación, bienestar y gastos médicos en los que las empresas deben incurrir y que no son reconocidos dentro del rubro de la ARL, como vacunas y exámenes periódicos; el cual fue calculado a partir de un análisis de los estados financieros de los prestadores del servicio público de aseo del primer segmento y los 20 más grandes del segundo segmento, tomando información consistente entre el año 2010 y 2012.

Así mismo, se incluye un factor de horas extras de 3,68% en los costos laborales del modelo de CRT. Este porcentaje se calcula a partir de las inferencias realizadas en el estudio de Econometría, en "el cual se llegó a que el 48,5% de los prestadores requieren alguna fracción de horas extras que en promedio resultó de 23,55 minutos. Esto corresponde a 4,91% de horas extras en una jornada de 8 horas. Esta fracción tiene un recargo de 75%, por lo que el sobrecosto promedio por horas extras sería de 3,68% ($1 \times (1 - 0,0491) + 1,75 \times 0,0491 = 1,0368$).

De otro lado, se reconoce un factor de días festivos que implica un incremento del salario base de 4,31% y que fue calculado empleando la siguiente fórmula ($1 - 0,0575 + 1,75 \times 0,0575 = 1,0431$), considerando que en el año existen 18 festivos. Este factor se aplica en los costos laborales de los modelos de CRT, CDF, CBL, CLUS y Limpieza de Playas.

En el caso de los costos de disposición final, se reconoce que los rellenos sanitarios trabajan tres (3) turnos, uno de los cuales es nocturno (10:00 pm - 6:00 am), por lo que se incluye un factor de horas nocturnas que corresponde al recargo del 35% sobre la hora ordinaria.

Tabla 8. Factores

Factor	Valor	Base liquidación
Capacitación, bienestar y salud ocupacional	2,6%	Sobre Costo de Personal
Hora extra	3,68%	Sobre Salario Básico
Días festivos	4,31%	Sobre Salario Básico
Recargo nocturno	35%	Sobre Salario Básico
Suplencia laboral	6,47%	Sobre Costo de Personal + Capacitación, bienestar y salud ocupacional

Fuente: Construcción CRA.

Respecto al factor de suplencia laboral, se calcula a partir de la suma del número de días al año que se reemplaza un operario por ausencias justificadas, el cual corresponde a 5,2 días y los días de vacaciones que corresponde a 15 días hábiles. Esto significa que cada empleado debe ser reemplazado durante 20,2 días

¹⁵ Homecenter (consulta realizada en diciembre de 2013) <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>

hábiles de 312 días hábiles de prestación del servicio. A partir de esto se obtiene un factor de 1,0647 de suplencia laboral que se debe aplicar sobre la totalidad de los costos laborales.

Los cargos anteriormente mencionados deben ser aplicados sobre la base del salario para cada uno de los empleados. La siguiente tabla muestra el salario básico por tipo de empleado según lo establecido en los Decretos 3068 de 2013¹⁶ y Decretos 3069 de 2013¹⁷ del Ministerio de Trabajo y en donde se precisan los valores del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente y el auxilio de Transporte para el año 2014. Se aclara que los factores de actualización son diferentes para cada componente razón por la cual el salario mínimo fue afectado por dichos factores lo que genera la diferencia en los valores de salario mínimo y auxilio de transporte usados en cada componente.

Tabla 9. Salario mensual por tipo de empleado

Pesos de junio de 2012

Componente	Empleado	Número de SMLMV	Auxilio de transporte	Salario básico
CRT	Operario	1	\$ 67.961	\$ 581.440
	Conductor	2	\$ 67.961	\$ 1.162.880
	Supervisor	3	n.a.	\$ 1.744.320
CBL y CLUS	Operario	1	\$ 66.238	\$ 566.700
	Conductor	2	\$ 66.238	\$ 1.700.100
	Supervisor	3	n.a.	\$ 1.133.400
	Conductor Barredora	2	\$ 66.238	\$ 1.235.406
CCS	Asesor ventanilla/call center segmento 1	1,5	\$ 67.853	\$ 870.780
	Supervisor segmento 1	3	n.a.	\$ 1.741.560
	Asesor ventanilla/call center segmento 2	1	\$ 67.853	\$ 580.520
	Supervisor segmento 2	2,5	n.a.	\$ 1.416.750
	Profesional cargue SUI segmento 1	3	n.a.	\$ 1.700.100
	Profesional cargue SUI segmento 2	2,5	n.a.	\$ 1.451.300
CDF	Ingeniero residente	5	n.a.	\$ 2.932.097
	Especialista en geotecnia	6	n.a.	\$ 3.518.516
	Topógrafo	2	\$ 68.543	\$ 1.172.839
	Cadenero	1,2	\$ 68.543	\$ 703.703
	Inspector	1,2	\$ 68.543	\$ 791.666
	Supervisor	4,5	n.a.	\$ 2.638.887
	Operador báscula	2,5	n.a.	\$ 1.456.312
	Operador buldócer tipo d6 o similar	4,4	n.a.	\$ 2.575.790
	Operador buldócer tipo d8 o similar	4,4	n.a.	\$ 2.575.790
	Operador compactador para residuos sólidos Tipo 836 G o similar	4,4	n.a.	\$ 2.575.790
	Operador retrocargador Tipo 416 D o similar	4,4	n.a.	\$ 2.575.790
	Operador volqueta doble viaje	2,6	n.a.	\$ 1.502.544
	Conductor riego de vías	2	\$ 68.543	\$ 1.172.839
	Operador Vibrocompactador	2	\$ 68.543	\$ 1.172.839
	Orientador	1	\$ 68.543	\$ 586.419
	Mantenimiento	1	\$ 68.543	\$ 586.419
	Director de Relleno	7,5	n.a.	\$ 4.398.146

Fuente: Cálculos CRA

¹⁶ Por el cual se fija el salario mínimo mensual legal.

¹⁷ Por el cual se establece el auxilio de transporte.

Una vez se obtiene el salario básico, se debe liquidar la nómina de acuerdo con las especificaciones establecidas en la Tabla 6, adicionando los costos de dotación y aplicando los sobrecargos a reconocer de capacitación, bienestar y gastos médicos y suplencia laboral.

5.6 ACTIVIDADES COLECTIVAS DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO

En el entendido que el medio ambiente sano es un derecho colectivo, pues permite que toda la población goce de condiciones favorables de salud y bienestar, su consecución debe ser un asunto de todos, y en tal virtud, las herramientas y medios que se utilicen y requieran para la preservación del mismo, deben ser responsabilidad de toda la población, aun cuando la responsabilidad esté principalmente en cabeza del Estado como garante de estos derechos.

Sobre el particular, la Corte Constitucional señaló:

"Del mandato constitucional consagrado en el artículo 79, se colige que es responsabilidad del Estado atender y garantizar la prestación efectiva del servicio público de saneamiento ambiental, conforme a los principios de universalidad y solidaridad. Todas esas obligaciones están dirigidas a la preservación, conservación y protección del medio ambiente, a fin de obtener el mejoramiento de la calidad de vida de toda la población y el aseguramiento del bienestar general de la colectividad

(...)

"Al derecho a un ambiente sano, se le asigna a su vez la condición de servicio público, y constituye, por lo mismo, junto con la salud, la educación y el agua potable, un objetivo social, cuya realización se asume como una prioridad entre los objetivos del Estado y significa la respuesta a la exigencia constitucional de mejorar la calidad de vida de la población del país (C.P.art.366)."

(...)

"Todo lo anterior, se repite, consagra el ambiente sano como un derecho colectivo, y le otorga unos mecanismos y estrategias de defensa particulares y plenamente identificables"

Ahora bien, desde el punto de vista de los servicios públicos, de conformidad con lo dispuesto en el numeral 2.3 del artículo 2 de la Ley 142 de 1994, una de las finalidades de la intervención del Estado en los servicios públicos es la de velar por la prestación continua e ininterrumpida de los mismos, finalidad que se origina, entre otras razones, por el carácter de esenciales otorgado por el artículo 4 de la misma norma.

Esa esencialidad de los servicios públicos implica que, en concordancia con el artículo 136 de la ley de servicios públicos, la obligación principal de un prestador sea la prestación continua.

Conforme con lo anterior, para todos los servicios públicos domiciliarios de que trata la Ley 142 de 1994, la continuidad en su prestación es la obligación principal, teniendo en cuenta la esencialidad de los mismos.

Ahora bien, para el caso particular del servicio de aseo, la continuidad no tiene como único fundamento el carácter de esencial de los servicios públicos, sino que, además, se fundamenta en las razones de salubridad pública y de política ambiental que, con base en la definición dada por el numeral 14.19 del artículo 14 ibídem, lo constituye en un servicio de saneamiento básico.

Es así como el Decreto 1077 de 2015, en el capítulo contentivo de los aspectos generales de la prestación del servicio de aseo, establece que se debe prestar en todas sus actividades de manera continua e ininterrumpida, con las frecuencias mínimas establecidas, salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito.

Así mismo, dicha norma señala que es responsabilidad de los municipios y distritos asegurar que se preste a todos sus habitantes de manera eficiente dentro de su territorio, independientemente del esquema adoptado

para su prestación. Para ello, deberá planificarse la ampliación permanente de la cobertura, teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el crecimiento de la población y la producción de residuos.

A su turno, el artículo 2.3.2.2.1.13 del Decreto 1077 de 2015, establece como componentes del servicio público de aseo: la recolección, el transporte, el barrido y limpieza de vías y áreas públicas, el corte de césped, la poda de árboles en las vías y áreas públicas, la transferencia, el tratamiento, el aprovechamiento, la disposición final y el lavado de áreas públicas.

Igualmente, el artículo 2.3.2.2.4.51 del mencionado Decreto, establece que *“Las labores de barrido y limpieza de vías y áreas públicas son responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de aseo en el área de prestación donde se realice las labores de recolección y transporte”*.

En cuanto a la actividad de aprovechamiento, toda vez que su definición y esencia incluyen las razones de salubridad pública y política ambiental propias de su definición, su afectación se encuentra encaminada hacia el interés público y el bien común.

De acuerdo con lo anterior, el servicio público de aseo, es un servicio de interés colectivo, y la calidad y continuidad en su prestación beneficia directamente a todos los suscriptores o usuarios de la infraestructura y equipamiento urbano. En consecuencia, en virtud de los criterios de eficiencia económica¹⁸, neutralidad¹⁹ y suficiencia financiera²⁰, todos los suscriptores o usuarios deben contribuir al cubrimiento de los costos asociados con las actividades de barrido y limpieza, aprovechamiento y CLUS dadas sus condiciones de salubridad e interés general de la comunidad.

6. COSTO POR ACTIVIDAD

De acuerdo con las actividades del servicio público de aseo establecidas en el Decreto 1077 de 2015, y los costos asociadas a dichas actividades los componentes de la nueva metodología tarifaria para el servicio público de aseo son:

1. Costos de Comercialización y manejo del recaudo
2. Costo de Barrido y limpieza de vías y áreas públicas
3. Costos Limpieza urbana en áreas públicas
4. Costo Recolección y transporte
5. Costo Disposición final
6. Costo Tratamiento de lixiviados
7. Remuneración del Aprovechamiento

Es pertinente precisar que los cálculos se realizan con el promedio de: kilómetros de barrido y limpieza, toneladas de residuos, metros cúbicos de lixiviados y número de suscriptores, se tomará el promedio mensual del semestre inmediatamente anterior, así:

- i) Para los períodos de facturación entre enero y junio, con base en el promedio mensual de: kilómetros, residuos, caudal de lixiviados y número de suscriptores, de julio a diciembre del año inmediatamente anterior, y

¹⁸Artículo 87.1 de la Ley 142 de 1994: *“Por eficiencia económica se entiende que (...) [los costos] deben distribuirse entre la empresa y los usuarios, tal como ocurriría en un mercado competitivo (...) [y] las tarifas deben reflejar siempre tanto el nivel y la estructura de los costos económicos de prestar el servicio (...)”*.

¹⁹Artículo 87.2 ibídem: *“Por neutralidad se entiende que cada consumidor tendrá el derecho a tener el mismo tratamiento tarifario que cualquier otro si las características de los costos que ocasiona a las empresas de servicios públicos son iguales (...)”*.

²⁰Artículo 87.4 ibídem: *“Por suficiencia financiera se entiende que las fórmulas de tarifas garantizarán la recuperación de los costos y gastos propios de la operación (...)”*.

- ii) Para los períodos de facturación de julio a diciembre con base en el promedio mensual de: kilómetros, residuos, caudal de lixiviados y número de suscriptores, de enero a junio del año en cuestión, en toneladas/mes, m³/mes y suscriptores/mes, respectivamente.

6.1 COSTO DE COMERCIALIZACIÓN POR SUSCRIPTOR

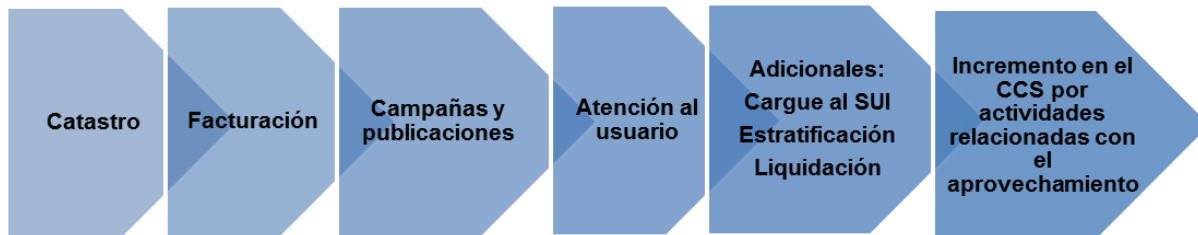
En atención a lo señalado en el Documento “*Bases de los estudios para la revisión del marco tarifario para el servicio público de aseo*”, se requiere la estructuración de un modelo de costo de comercialización por suscriptor, que involucra las actividades administrativas relacionadas con la facturación, atención al usuario y campañas educativas, entre otras.

En este sentido, partiendo del análisis del comportamiento del Costo de comercialización por suscriptor (CCS) durante la aplicación de la Resolución CRA 351 de 2005 y los resultados de las diferentes encuestas realizadas con el fin de indagar sobre las actividades y costos en los que incurren los prestadores del servicio respecto de este componente, se definió el CCS del servicio público de aseo con la inclusión de los costos asociados a las actividades de catastro, facturación, campañas y publicaciones, atención al usuario, cargue al SUI, liquidación y estratificación. Adicionalmente, se reconoce un incremento en el costo de comercialización por suscriptor (CCS) en el caso que se realice la actividad de aprovechamiento en el municipio y/o distrito.

Construcción del Modelo

Partiendo de los modelos estructurados como soporte del CCS para la Resolución CRA 643 de 2013 y CRA 710 de 2015, que se construyeron a partir de la encuesta de CYDEP²¹, y considerando las observaciones allegadas del proceso de participación ciudadana, se elaboró el siguiente modelo:

Gráfica 5. Actividades asociadas a la comercialización del servicio público de aseo



Fuente: Análisis CRA.

La información recolectada a través de las encuestas de CYDEP se organizó bajo el esquema anterior, considerando así mismo, la segmentación definida para este marco tarifario y el servicio con el cual el prestador de aseo factura conjuntamente.

Los ajustes realizados a los modelos dieron origen a lo que se presenta en este documento, y se listan a continuación:

- **Actualización de precios:** Los valores se expresaron en precios de junio de 2012 y en precios de diciembre de 2014, para guardar consistencia con los demás modelos del nuevo marco tarifario del servicio público de aseo.
- **Revisión y ajustes de cálculos:** Los costos asociados a la herramienta tecnológica se estaban indexando de forma lineal sin considerar su depreciación y que el valor del hardware y software tiende a bajar, entre otros factores por la continua modernización de las tecnologías. Por ello se tuvieron en

²¹ Consultoría para evaluar el costo de las actividades administrativas y de facturación y recaudo que deben realizar los prestadores del servicio público de aseo de acuerdo con la normatividad vigente, y que debe ser recuperado a través de la tarifa para el componente de comercialización y manejo del recaudo. Bogotá D.C., Abril de 2011.

cuenta solo aquellos reportes de valor de equipos y software, cuyo año de adquisición no fuera anterior al año 2008 y el valor de compra no se indexó, es decir se dejó el mismo valor.

- **Eliminación de datos atípicos:** Se eliminaron los datos atípicos de la muestra de cada una de las actividades incluidas, haciendo uso del criterio de la caja de bigotes, según el cual son valores atípicos los que se encuentre más de dos desviaciones estándar por encima y por debajo de la media de los datos (intervalo del 95% de confianza).
Adicionalmente, se aclara que con relación al costo de facturación y recaudo se realiza el criterio de eliminación de datos atípicos con una sola desviación estándar por encima y por debajo de la media (con un intervalo del 95% de confianza).
- **Atención al usuario:** Este costo fue replanteado, pues solamente se estaba actualizando el que se tenía en la Resolución CRA 351 de 2005, pero a partir de información actualizada de 16 prestadores, de los cálculos efectuados para las actuaciones particulares aprobadas por la CRA y de cotizaciones de mercado, se calculó un costo estándar de atención al usuario por segmento.
- **Adicionales:** Se consideraron los costos asociados a las actividades de cargue al SUI, estratificación y liquidación, que son gestiones afectas a la prestación del servicio, las cuales no habían sido incluidas de forma directa en la propuesta del modelo de la Resolución 643 de 2013.
- **Actividades relacionadas con el aprovechamiento:** Se reconoce en el CCS un porcentaje adicional en el costo por realizar esta actividad.

Cálculo costo por actividad

A partir de la muestra organizada, se calcularon los costos por suscriptor de cada componente del CCS, usando los datos disponibles de los prestadores y realizando un promedio simple con la muestra consolidada.

A continuación se presentan los resultados de los costos de cada una de las actividades analizadas para la construcción del Costo de comercialización por suscriptor que se propone.

6.1.1 Costos asociados al catastro de suscriptores

La Resolución CRA 271²² de 2003 define el catastro de suscriptores como “*el listado de la respectiva persona prestadora, que contiene los usuarios del servicio con sus datos identificadores*”.

En este sentido, para la determinación del costo de manejo de este catastro se consideran dos actividades: la actualización y la administración. La actualización del catastro de suscriptores incluye la recopilación de “*información básica que registran los suscriptores en la solicitud de vinculación al servicio, como la dirección, uso y propiedad del predio, unidades residenciales y/o comerciales que se tengan en el predio y el estrato socioeconómico al cual pertenezca de acuerdo con lo establecido por las oficinas municipales o distritales de planeación (...) El catastro de suscriptores puede actualizarse masivamente por medio de censos, para verificar en el sitio los cambios o novedades que presentan los predios debido al uso o al número de unidades inscritas, o comparando la información que tenga otra empresa de servicios públicos domiciliarios (suelen ser los usuarios del acueducto), donde se tenga información similar con los suscriptores del servicio de aseo*”²³.

Por su parte, la administración del catastro hace referencia a “*la operación de adquirir la información de los suscriptores y usuarios, incorporarla en una base de datos (...) con las novedades que se presenten, bien sea para la facturación, reportes de información, la atención de reclamos o incluso las desvinculaciones*”²⁴.

La encuesta realizada en el marco del Contrato No.100 de 2010 incorporaba campos correspondientes al **Costo de actualización de catastro de suscriptores**, definido como “*el valor -en la fecha- correspondiente a la última actualización del catastro de suscriptores realizada por la ESP*”, y al **Costo de administración del catastro de suscriptores**, descrito como el “*costo total del año 2009 de la administración del catastro de*

²² “Por la cual se modifica el Artículo 1.2.1.1 y la Sección 5.2.1 del Capítulo 2, del Título V de la Resolución CRA N° 151 de 2001”.

²³ CYDEP LTDA., “*Informe Final – Contrato No. 100 de 2010*”, abril de 2011, páginas 23 y 24.

²⁴ CYDEP LTDA., “*Informe Final – Contrato No. 100 de 2010*”, abril de 2011, página 23.

suscriptores. El costo incluye el recurso humano con dedicación parcial y/o total a esta actividad y el alquiler y/o mantenimiento de equipos y programas”.

A los datos consolidados con dicha encuesta se le aplican algunos ajustes, esto es, la actualización de precios y la eliminación de datos atípicos, luego se estima un promedio simple. El resultado final para los costos relacionados con el catastro de usuarios se resume en la siguiente tabla:

Tabla 10. Costo de catastro por suscriptor

Pesos de junio de 2012

Componente	Segmento 1	Segmento 2
Actualización de catastro	\$ 69,34	\$ 213,09
Administración del catastro	\$ 114,48	\$ 80,42
Subtotal	\$ 183,82	\$ 293,51

Fuente: Análisis CRA

6.1.2 Costos de liquidación por suscriptor

Dentro del modelo de CCS se incluyeron los costos relacionados con las funciones que se realizarán para la liquidación y facturación que incluyen: la consolidación y manejo de la información, cálculos y estimaciones y la liquidación de la facturación; proceso que los prestadores deben realizar antes de entregar la información al servicio con el que se realiza la facturación conjunta.

Para calcular este costo, se establecieron las condiciones, características o requisitos óptimos necesarios para realizar esta actividad, por lo que se considera un promedio de suscriptores por segmento, el número eficiente de empleados requeridos para liquidar la información, a los cuales se les asigna un salario de acuerdo con datos del mercado. Asimismo, se establece un costo eficiente de inversión en equipos y software el cual depende del número de empleados y su respectivo costo de mantenimiento. De esta forma se llega a un costo por suscriptor total para el costo de liquidación por suscriptor, el cual se resume en la siguiente tabla.

Tabla 11. Costo de liquidación por suscriptor

Pesos de junio de 2012

Componente	Segmento 1	Segmento 2
Costo de liquidación	\$ 21,75	\$ 36,49
Subtotal	\$ 21,75	\$ 36,49

Fuente: Análisis CRA

6.1.3 Costos asociados a la facturación

La Ley 142 de 1994 dispone en su artículo 146 que “Las empresas podrán emitir factura conjunta para el cobro de los diferentes servicios que hacen parte de su objeto y para aquellos prestados por otras empresas de servicios públicos, para los que han celebrado convenios con tal propósito”. Igualmente, el artículo 147 ibídem, señala lo siguiente:

“Artículo 147. Naturaleza y requisitos de las facturas. (...)

En las facturas en las que se cobren varios servicios, será obligatorio totalizar por separado cada servicio, cada uno de los cuales podrá ser pagado independientemente de los demás con excepción del servicio público domiciliario de aseo y demás servicios de saneamiento básico. Las sanciones aplicables por no pago procederán únicamente respecto del servicio que no sea pagado.

(...)

Parágrafo. *Cuando se facturen los servicios de saneamiento básico y en particular los de aseo público y alcantarillado, conjuntamente con otro servicio domiciliario, no podrá cancelarse este último con independencia de los servicios de saneamiento básico, aseo o alcantarillado, salvo en aquellos casos en que exista prueba de mediar petición, queja o recurso debidamente interpuesto ante la entidad prestataria del servicio de saneamiento básico, aseo o alcantarillado”.*

Por su parte, el Decreto 1077 de 2015 (antes contemplado en el Decreto 2668²⁵ de 1999) establece lo siguiente:

“ARTICULO 2.3.6.2.3. Libertad de elección. *Para estos efectos la facultad de elección de empresa solicitante la facturación es absolutamente potestativa de la empresa prestadora del servicio de saneamiento básico.*

(...)

ARTICULO 2.3.6.2.4. Obligaciones. *Será obligatorio para las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios facturar los servicios de alcantarillado y aseo, suscribir el convenio de facturación conjunta, distribución y/o recaudo de pagos; así como garantizar la continuidad del mismo, si son del caso, salvo que existan razones técnicas insalvables comprobables que justifiquen la imposibilidad de hacerlo. Esta justificación se acreditará ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.*

El prestador que asuma estos procesos, por libre elección del prestador del servicio de aseo y/o alcantarillado, no podrá imponer condiciones que atenten contra la libre competencia ni abusar de una posible posición dominante”.

Igualmente, el Decreto 1987²⁶ de 2000 dispone:

“Artículo 2. Obligación de facturar. *Las entidades de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, suscribirán el convenio de facturación conjunta, distribución de ésta y/o recaudo de pago, y prestarán este servicio a las personas prestadoras de servicios de saneamiento básico, de conformidad con la regulación que al respecto expida la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, en los términos del artículo cuarto del presente decreto y ejecutarlo en la forma convenida, sin perjuicio de que este servicio se pueda contratar con empresas prestadoras de otros servicios públicos domiciliarios.*

Parágrafo 1. *El presente artículo no será aplicable a aquellas entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios que, por razones técnicas insalvables, justifiquen la imposibilidad de hacerlo ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.*

Parágrafo 2. *La entidad que asuma el proceso de facturación conjunta, distribución de ésta y/o recaudo de pago, con las personas prestadoras de servicios de saneamiento básico no podrá imponer condiciones que atenten contra la libre competencia, ni abusar de una posible posición dominante”.*

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, mediante la Resolución CRA 151²⁷ de 2001, modificada por la Resolución CRA 422²⁸ de 2007, estableció las condiciones generales para la

²⁵ “Por el cual se reglamentan los artículos 11 en los numerales 11.1, 11.6 y 146 de la Ley 142 de 1994”, expedido por el Presidente de la República.

²⁶ “Por el cual se reglamenta el artículo 11 de la Ley 142 de 1994 y se dictan otras disposiciones”, expedido por el Presidente de la República.

²⁷ “Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo”.

²⁸ “Por la cual se complementa el artículo 1.3.22.1 y se modifica el artículo 1.3.22.3 de la Resolución CRA 151 de 2001”.

suscripción de convenios de facturación conjunta entre las personas prestadoras de los servicios públicos de acueducto y de saneamiento básico.

Por su parte, la Resolución CRA 271 de 2003 define la factura conjunta como “*el documento en que se cobran dos o más servicios, los cuales deben ser cancelados en forma conjunta, salvo en la situación prevista en el párrafo del Artículo 147 de la Ley 142 de 1994*”, la facturación conjunta como “*el conjunto de actividades tendientes a garantizar el recaudo de pagos por la prestación de los servicios de saneamiento básico y, consecuentemente, la continuidad de los mismos*” y el recaudo de pagos como “*la actividad que comprende la recepción y control de pagos por los servicios y otros conceptos relacionados con los mismos, que se realicen en cajas de la persona prestadora concedente o de las entidades designadas para tal fin*”.

En virtud de lo anterior, no solo la facturación conjunta del servicio público de aseo es una posibilidad considerada desde la misma Ley 142 de 1994, sino que la misma tiene una relación directa con el recaudo del servicio.

En este sentido, debe anotarse que en general el mínimo costo de facturación conjunta para el servicio público de aseo se presenta cuando el facturador es el prestador del servicio público de acueducto, no obstante, el regulador en el nuevo marco tarifario reconoce al prestador los costos asociados de facturar con el servicio público de energía, entendiendo que este tipo de situaciones no dependen del todo de las empresas del servicio público de aseo. Por lo anterior se reconocen dos costos asociados al proceso de facturación, uno para las empresas que realicen la facturación con acueducto y otro para aquellas que realicen con el servicio de energía

Asimismo, se aclara que este marco tarifario de aseo es de carácter general y de presentarse una particularidad los prestadores pueden solicitar una modificación del costo de referencia mediante la Resolución CRA 271 de 2003, donde se evidencien las condiciones que originan dicha situación particular.

En la encuesta realizada en el marco del Contrato No.100 de 2010 se incluyeron los siguientes campos: **Costo mensual del convenio de facturación conjunta**, **Costo mensual asociado al pago de la herramienta tecnológica y su mantenimiento**, por medio de los cuales se estimó el costo total asociado al componente de facturación considerando la actualización de precios a junio de 2012.

La metodología de cálculo de este costo consistió en realizar los siguientes procedimientos:

- Se tomó la información reportada por el Contrato No.100 de 2010 y la información consistente remitida por los prestadores en la encuesta del mes de noviembre del año 2013.
- A esta información se le eliminaron los datos atípicos tomando 2 referencias, prestadores que realizan facturación con el servicio de acueducto (24 empresas) y prestadores que realizan la facturación con el servicio de energía (22 empresas). El método empleado para la eliminación fue una caja de bigotes a una desviación estándar por arriba de la media y otra desviación por debajo de la media.
- De la depuración de datos descrita anteriormente, resultó una muestra consistente de 21 prestadores que facturan con el servicio de acueducto y 16 prestadores que facturan con el servicio de energía.
- Con la muestra seleccionada se calculó un promedio simple para la estimación de este costo. Se aclara, que con el objetivo de ampliar el número de observación para definir el costo del convenio de facturación no se determinó un costo por segmento.

Asimismo, se ajustó el cálculo de la herramienta tecnológica considerando aquellos reportes de valor de equipos y software, cuyo año de adquisición fuera el 2008 o años posteriores y se dejó el mismo valor de compra que había sido reportado, es decir sin realizar indexación alguna.

Los costos relacionados con la facturación se consolidan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Costo de facturación con energía por suscriptor
Pesos de junio de 2012

Componente	Segmento 1	Segmento 2
Facturación conjunta	\$ 1.059,21	\$ 1.059,21
Herramienta tecnológica	\$ 68,86	\$ 68,86
Mantenimiento de la herramienta	\$ 42,41	\$ 42,41
Subtotal	\$ 1.170,49	\$ 1.170,49

Fuente: Análisis CRA

Tabla 13. Costo de facturación con acueducto por suscriptor

Pesos de junio de 2012

Componente	Segmento 1	Segmento 2
Facturación conjunta	\$ 558,90	\$ 558,90
Herramienta tecnológica	\$ 30,70	\$ 30,70
Mantenimiento de la herramienta	\$ 25,28	\$ 25,28
Subtotal	\$ 614,88	\$ 614,88

Fuente: Análisis CRA

6.1.4 Costos asociados a las campañas y publicaciones

La encuesta realizada en el marco del Contrato No. 100 de 2010, solicitaba información correspondiente a *Publicaciones*, definida estas como “el número total de publicaciones en medios de amplia circulación efectuadas en el año 2009, relacionados con el servicio público de aseo. No se incluyen las publicaciones relacionadas con campañas informativas, educativas y ambientales”, el *Costo Publicaciones* descrito como el “costo total en el que la ESP incurrió por el pago de las publicaciones realizadas en el 2009”, *Campañas informativas, educativas y ambientales*, determinado como el “número de campañas informativas, educativas y ambientales realizadas en el año 2009 relacionadas con la prestación del servicio o aspectos ambientales relacionados” y al *Costo de campañas*, especificado como el “costo total en el que la ESP incurrió en las campañas informativas y/o educativas realizadas en el año 2009”.

Al igual que con los demás costos, los datos resultantes de la encuesta se ajustaron con la actualización de precios, la eliminación de datos atípicos y finalmente, se calcula un promedio simple.

Los resultados del nuevo marco tarifario para los costos asociados con publicaciones y campañas se plasman en la siguiente tabla:

Tabla 14. Costo de publicaciones y campañas por suscriptor

Pesos de junio de 2012

Componente	Segmento 1	Segmento 2
Publicaciones	\$ 6,76	\$ 9,97
Campañas	\$ 63,24	\$ 73,88
Subtotal	\$ 614,88	\$ 614,88

Fuente: Análisis CRA

6.1.5 Costo asociado a la atención al usuario

El valor establecido en las Resoluciones CRA 643 de 2013 CRA 710 de 2015 para las actividades de atención al usuario, se obtiene a partir de la actualización de los valores establecidos en la Resolución CRA 351 de 2005, esto debido a que el estudio del CYDEP no incluyó este componente dentro de la encuesta.

Con respecto a este costo se replantea su cálculo con información actualizada que refleja la dinámica actual del sector, conforme a las observaciones de la participación ciudadana. Tomando como base los datos de 16 prestadores del servicio público de aseo que respondieron el formulario de CCS enviado por la CRA en

noviembre del año 2013, considerando además los cálculos de los costos que soportaron las respuestas de las actuaciones particulares definidas por la CRA y las cotizaciones de mercado, se calculó el costo de atención al usuario por segmento.

Al respecto, el modelo parte de los siguientes cálculos: promedio de suscriptores por segmento, número eficiente de empleados requeridos para llevar a cabo los procesos de atención al usuario y salario de cada cargo de acuerdo con datos del mercado. Adicionalmente, se estableció un costo eficiente de inversión en equipos y software el cual dependía del número de empleados y su respectivo mantenimiento se calcula como el 15% anual de la inversión inicial en equipos y software. De esta forma se llegó a un costo por suscriptor total para atención al usuario que se resume en la siguiente tabla.

Tabla 15. Estimación alternativa costo de personal de atención al usuario
Pesos de junio de 2012

Seg	Suscriptores Promedio	Número de empleados	Cargo	Cantidad smlmv	Salario base mes	Costo por empleado	Costo total personal mes
1	120.000	4	Asesor ventanilla	1,5	\$ 870.780	\$ 1.328.447	\$ 15.669.948
		4	Asesor Call Center	1,5	\$ 870.780	\$ 1.328.447	
		2	Supervisor	3	\$ 1.741.560	\$ 2.521.187	
2	60.000	2	Asesor ventanilla	1	\$ 580.520	\$ 908.249	\$ 7.834.974
2	60.000	2	Asesor Call Center	1	\$ 580.520	\$ 908.249	
		2	Supervisor	2,5	\$ 1.451.300	\$ 2.100.989	

Fuente: Análisis CRA.

Tabla 16. Estimación alternativa costo de insumos de atención al usuario
Pesos de junio de 2012

Seg.	Suscriptores Promedio	Inversión Equipos y software	Pago mensual Herramienta tecnológica	Costo mensual. Mantenimiento de equipos	Costo mensual. Papelería y Web	Costo mes arrendamiento locaciones
1	120.000	\$ 12.500.000	\$ 286.431	\$156.250	\$ 250.000	\$ 4.600.000
2	60.000	\$ 7.500.000	\$ 171.858	\$ 93.750	\$ 200.000	\$ 2.300.000

Fuente: Análisis CRA.

Los cálculos contenidos en la tabla anterior, consideran los valores de salario mínimo mensual y auxilio de transporte vigentes para el año 2012 y un factor prestacional del 44,77%, que fue calculado con base en los siguientes porcentajes:

Tabla 17. Estimación factor prestacional

Factor	Porcentaje
Parafiscales	4,00%
Pensión	12,00%
ARL	0,50%
Cesantías	8,30%
Interés a las cesantías	1,00%
Prima de servicios	8,30%
Vacaciones	4,20%
Suplencia laboral	6,47%
Total Prestaciones	44,77%

Fuente: Ministerio del Trabajo y Análisis CRA.

El comparativo del costo de atención al usuario por segmento del presente marco tarifario, está contenido en la siguiente tabla:

Tabla 18. Costo de atención al usuario por suscriptor
Pesos de junio de 2012

Componente	Segmento 1	Segmento 2
Atención al usuario del servicio público de aseo.	\$ 174,69	\$ 176,68
Subtotal	\$ 174,69	\$ 176,68

Fuente: Análisis CRA

6.1.6 Costo asociado a las gestiones adicionales

Dentro de las nuevas inclusiones al modelo se destacan los costos asociados a las actividades de cargue al SUI y estratificación, que son gestiones afectas a la prestación del servicio, las cuales no habían sido consideradas de forma directa en la propuesta del modelo anterior. A continuación se describe la metodología usada para el cálculo de estos costos y los resultados obtenidos.

a) Cargue al SUI

Según el artículo 88 de la Ley 142 de 1994 que señala que *“Las empresas deberán ceñirse a las fórmulas que defina periódicamente la respectiva comisión para fijar sus tarifas (...) De acuerdo con los estudios de costos, la comisión reguladora podrá establecer topes máximos y mínimos tarifarios, de obligatorio cumplimiento por parte de las empresas”* (subrayado fuera del texto original).

Así mismo, de acuerdo con lo establecido en el Anexo 1 de la Resolución CRA 151 de 2001, los convenios de facturación no incluyen la actividad de Cargue al SUI sino únicamente el procesamiento, impresión, distribución, recaudo, recuperación de cartera, reportes y servicio de novedades. Dado que los prestadores del servicio público de aseo incurren en costos de personal especializado, software y hardware para el reporte de la información al SUI para el control tarifario que no habían sido considerados, se incluye este costo en la propuesta del costo de comercialización en las Resoluciones CRA 643 de 2013 y 710 de 2015.

Para calcular dicho costo se establecen las características o requisitos necesarios para desempeñar esta actividad, por lo que se considera promedio de suscriptores por segmento, número eficiente de empleados requeridos para cargar la información al SUI, a los cuales se les asigna un salario de acuerdo con datos del mercado. Asimismo, se establece un costo eficiente de inversión en equipos y software el cual depende del número de empleados y su respectivo costo de mantenimiento. De esta forma se llega a un costo por suscriptor total para el cargue al SUI el cual se resume en la siguiente tabla.

Tabla 19. Estimación alternativa costo de cargue al SUI
Pesos de junio de 2012

Segmento	Primer segmento	Segundo segmento
Suscriptores promedio	120.000	60.000
Cantidad de empleados	2	1
Cantidad de SMLMV	3	2,5
Salario base/mes	\$ 1.741.560	\$ 1.451.300

Segmento	Primer segmento	Segundo segmento
Costo por empleado/mes	\$ 2.521.187	\$ 2.100.989
Costo total personal/ mes	\$ 5.042.375	\$ 2.100.989
Inversión en Equipos y software	\$ 5.000.000	\$ 2.500.000
Pago mensual herramienta tecnológica	\$ 114.572	\$ 57.286
Costo mensual mantenimiento de equipos	\$ 62.500	\$ 31.250
Costo Cargue al SU1	\$ 43	\$ 36

Fuente: Análisis CRA

Los cálculos anteriores, consideran los valores de salario mínimo mensual y auxilio de transporte vigentes para el año 2014 deflactados a pesos de junio de 2012 y un factor prestacional del 44,77%.

b) Estratificación

El artículo 11 de la Ley 505 de 1999 determinó que las empresas de servicios públicos domiciliarios deberán hacer parte de un concurso económico para efectos de la actualización de la estratificación:

ARTÍCULO 11. *Los alcaldes deberán garantizar que las estratificaciones se realicen, se adopten, se apliquen y permanezcan actualizadas a través del Comité Permanente de Estratificación Municipal o Distrital. Para esto contarán con el concurso económico de las empresas de servicios públicos domiciliarios en su localidad, quienes aportaran en partes iguales a cada servicio que se preste, descontando una parte correspondiente a la localidad; tratándose de varias empresas prestadoras de un mismo servicio, el monto correspondiente al servicio se repartirá proporcionalmente entre el número de empresas que lo presten. (Subrayado fuera del texto original).*

La fórmula para establecer el valor asignado a las empresas fue establecida en el artículo tercero del Decreto 007 de 2010, es decir que este valor se constituye en un nuevo costo para los prestadores del servicio que no fue contemplado en la Resolución 351 de 2005, y es:

$$CE_i = \sum_i^{NSPD} \left(\frac{CSE}{NSPD + 1} \right) * \left(\frac{NUR_{ij}}{NUR_j} \right)$$

Donde:

CE_i: Concurso Económico correspondiente a la empresa comercializadora de servicios públicos *i*.

i: Cada una de las empresas comercializadoras de servicios públicos domiciliarios en la localidad.

j: Cada uno de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y telefonía local móvil en el sector rural; prestados por la empresa *i* en la localidad.

NSPD: Número de servicios públicos domiciliarios prestados en la localidad.

CSE: Costo anual del Servicio de Estratificación, calculado de acuerdo con el artículo 2 del Decreto 007 de 2010.

NUR_{ij}: Número de usuarios residenciales de la empresa *i* para el servicio público domiciliario *j* en la localidad, durante el año inmediatamente anterior.

NUR_j: Número total de usuarios residenciales para el servicio público domiciliario *j* en la localidad, durante el año inmediatamente anterior.

La inclusión del costo de estratificación parte de la información relacionada por los 17 prestadores del servicio público de aseo, los cuales estaban incluidos en la muestra inicial de 47 empresas y así mismo, tenían

reportada información completa del aporte realizado al concurso económico de estratificación del municipio donde prestan el servicio, entre los años 2010 y 2013. Con la información de estos años se calculó el promedio del aporte anual realizado y este se dividió por el número de suscriptores promedio. Con una muestra ajustada a un intervalo de confianza del 95%. Teniendo en cuenta la escasez de los datos para el segmento 2 y en aras de no reducir el tamaño de la muestra, se tomaron todos los datos consistentes disponibles y se calculó un promedio, que se asignó para ambos segmentos. Los resultados de dicho cálculo se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 20. Costo de estratificación por suscriptor
Pesos de junio de 2012

Componente	Costo por suscriptor
Estratificación	\$ 12,16

Fuente: Análisis CRA.

6.1.7 Costo asociado a las actividades relacionadas con aprovechamiento

Debido a que el aprovechamiento es una actividad del servicio público de aseo de carácter colectivo, los costos de la prestación de las actividades de recolección y transporte selectivo, clasificación y pesaje serán divididos equitativamente entre todos los usuarios del servicio de aseo.

Por lo anterior, el marco regulatorio incluyó un valor adicional del CCS del servicio público de aseo del 30%, el cual representa los costos asociados a: liquidación, campañas y publicaciones, atención al usuario, cargue al SUI y un costo por imprevistos ligado a la facturación y recaudo. El 30% fue estimado al sumar los rubros de las actividades antes mencionadas y hallar la proporción de cuanto representaba adicionalmente con relación al costo total de comercialización.

6.1.8 Costo máximo para el componente de comercialización

A partir de los costos descritos anteriormente, se estima un CCS así:

$$CCS = Cc + Cl + Cf + Cp + Ca + Cad$$

Donde:

- Cc*: Costo de catastro de suscriptores, incluye la actualización y administración del catastro (\$/suscriptor-mes).
- Cl*: Costo de liquidación por suscriptor, incluye manejo de la información y liquidación (\$/suscriptor-mes).
- Cf*: Costo de facturación por suscriptor, que incluye los costos de facturación directa, convenio de facturación, herramienta tecnológica y el mantenimiento de la herramienta (\$/suscriptor-mes).
- Cp*: Costo de campañas y publicaciones (\$/suscriptor-mes).
- Ca*: Costo de atención al usuario (\$/suscriptor-mes).
- Cad*: Costo de adicionales, que incluye cargue al SUI y estratificación (\$/suscriptor-mes).

Cuando en el municipio y/o distrito se preste la actividad de aprovechamiento, el CCS se deberá incrementar en un 30% del precio techo así:

$$CCS = (Cc + Cl + Cf + Cp + Ca + Cad) * (1 + 30\%)$$

De igual manera, a las ecuaciones anteriores se aplica un ajuste correspondiente al impuesto a las transacciones financieras del 4X1.000 y el factor de rendimiento de capital de trabajo, estimado en 2,46%. Finalmente, se estimaron los precios máximos para el Costo de Comercialización del servicio público de aseo por Suscriptor, así:

Tabla 21. Costo de Comercialización por Suscriptor

Costo	Componente	Unidad	Primer segmento	Segundo segmento
Catastro	Actualización de catastro	\$ jun 2012	\$ 69,34	\$ 213,09
	Administración del catastro	\$ jun 2012	\$ 114,48	\$ 80,42
Liquidación	Costo de liquidación	\$ jun 2012	\$ 21,75	\$ 36,49
Facturación y recaudo	Facturación Acueducto	\$ jun 2012	\$ 558,90	\$ 558,90
	Herramienta tecnológica Acueducto	\$ jun 2012	\$ 30,70	\$ 30,70
	Mantenimiento herramienta tecnológica Acueducto	\$ jun 2012	\$ 25,28	\$ 25,28
	Facturación Energía	\$ jun 2012	\$ 1.059,21	\$ 1.059,21
	Herramienta tecnológica Energía	\$ jun 2012	\$ 68,86	\$ 68,86
	Mantenimiento herramienta tecnológica Energía	\$ jun 2012	\$ 42,41	\$ 42,41
Campañas y publicaciones	Publicaciones	\$ jun 2012	\$ 6,76	\$ 9,97
	Campañas	\$ jun 2012	\$ 63,24	\$ 73,88
Atención al usuario	Atención al usuario	\$ jun 2012	\$ 174,69	\$ 176,68
Adicionales	Estratificación	\$ jun 2012	\$ 12,16	\$ 12,16
	Cargue al SUI	\$ jun 2012	\$ 43,50	\$ 36,49
Subtotal - Facturación Acueducto		\$jun 2012	\$ 1.120,79	\$ 1.254,05
Subtotal - Facturación Energía		\$jun 2012	\$ 1.676,40	\$ 1.809,65
Total CCS - Facturación Acueducto		\$jun 2012	\$ 1.153	\$ 1.290
Total CCS - Facturación Energía		\$jun 2012	\$ 1.724	\$ 1.862
Total CCS - Facturación Acueducto		\$ dic 2013	\$ 1.223	\$ 1.369
Total CCS - Facturación Energía		\$ dic 2013	\$ 1.830	\$ 1.975

Fuente: Encuestas prestadores del servicio público de aseo y análisis CRA.

En este sentido, vale la pena recordar que la metodología de precios techo provee un precio de referencia, sobre el cual los prestadores deben maximizar sus beneficios, asumiendo las correspondientes responsabilidades en la gestión de los costos. Así las cosas, si un prestador toma una decisión operativa o económica que le permite superar los parámetros de eficiencia establecidos en la metodología tarifaria vigente, tal ganancia en eficiencia y en costos es apropiada por el prestador. Por el contrario, cuando un prestador no cumple con los parámetros establecidos en el precio techo, debe asumir los efectos y costos de tal ineficiencia, y trasladar, como máximo, el precio techo definido por la metodología tarifaria.

Se trata entonces de una regulación por incentivos representada en los mencionados precios máximos que permite cierta flexibilidad en las decisiones empresariales, en la medida que, excluyendo las posibilidades reprochables de los *precios predatorios*²⁹, facilita la competencia por precios en mercados sujetos a competencia dentro del mercado, de manera que los competidores se aproximen a los costos marginales para fijar el precio en competencia, que siempre deberá ser inferior al techo determinado como eficiente por el regulador.

De esta forma, el techo puede considerarse como el costo en que incurre una nueva empresa eficiente si decide producir un bien o servicio de los que está produciendo la empresa regulada o una determinada cesta

²⁹ Se conoce como precios predatorios la práctica de vender un producto o servicio a un precio muy bajo, con la intención de expulsar a los competidores fuera del mercado, o crear barreras de entrada para los potenciales nuevos competidores.

compuesta por combinaciones de estos bienes y servicios; en otras palabras, es el máximo precio que una empresa puede establecer, ya que cualquier precio superior provocaría la entrada de nuevas empresas atraídas por los beneficios excesivos derivados de precios superiores a los costos reales³⁰.

Por lo anterior, corresponde a una decisión empresarial la utilización de alternativas para las actividades contenidas en el CCS que conlleven a costos diferentes a los establecidos en la metodología tarifaria general del servicio público de aseo, por lo que es labor de los prestadores buscar el escenario que les permita ajustarse a dicha estructura y, así mismo, es su responsabilidad asumir los costos que se alejen de aquellos definidos como eficientes por el regulador.

Adicionalmente, cuando un prestador del servicio público de aseo tiene que decidir con qué servicio facturar, se enfrenta a una decisión de costo-beneficio, en la cual pueden existir mayores costos de facturación pero así mismo se genera mayores beneficios representados en un mayor recaudo.

De igual manera, en lo relacionado al factor de recaudo la ley prevé como mecanismo para recuperar los costos asociados con su provisión, el corte de los servicios en caso que se presente mora en el pago; sin embargo, los servicios públicos de saneamiento básico por razones técnicas no se le aplica corte ni suspensión, dadas las implicaciones de tipo ambiental y sanitario que podrían generar. En este sentido, por la misma naturaleza del servicio, se cuenta con un mecanismo, que es el cobro mediante otro servicio público domiciliario que sea sujeto de corte.

Asimismo, la nueva regulación está proporcionando un WACC de 13,88% superior al de acueducto establecido en la Resolución CRA 688 de 2014 en 12,28% para el segmento 1 y 12,76% para el segmento 2 que reconoce un aumento en el Beta desapalancado de 0,61 a 0,75, lo que a su vez está reconociendo el riesgo propio del servicio de aseo y proporciona una mejora sustancial en los ingresos percibidos por los prestadores.

6.2 COSTO DE BARRIDO Y LIMPIEZA POR SUSCRIPTOR (CBLS)

El componente de barrido y limpieza de vías y áreas públicas se desarrolló mediante el modelo adoptado en la Resolución CRA 351 de 2005, debido a que sobre éste no se presentaron objeciones en el periodo regulatorio, y porque recoge los elementos necesarios para realizar la actividad.

El enfoque conceptual del barrido como una actividad del servicio público de aseo que se realiza en las áreas públicas del municipio y por tanto su costo debe ser asumido por igual, por todos los suscriptores del área urbana del municipio, conlleva a que la formulación del costo por suscriptor sea de la siguiente forma:

$$CBLS = \frac{\sum_{j=1}^m (CBL_j * LBL_j)}{N}$$

Donde:

- CBLS*: Costo de Barrido y Limpieza de Vías y Áreas Públicas por suscriptor (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).
- CBL_j*: Costo de Barrido y Limpieza de Vías y Áreas Públicas, que será como máximo de \$28.985 por la longitud de vías y áreas barridas de la persona prestadora *j* (pesos de diciembre de 2014/kilómetro).
- LBL_j*: Longitud de vías y áreas barridas por la persona prestadora *j*, en su APS, según las frecuencias definidas para el municipio y/o distrito en el PGIRS y el Programa para la Prestación del servicio y corresponde al promedio de los últimos seis (6) meses

³⁰ LASHERAS, M. A., *“La regulación económica de los servicios públicos”*. Ariel Economía, Barcelona, 1999, p. 97.

(kilómetros/mes), de acuerdo con lo establecido en el artículo 4 de la Resolución 720 de 2015.

N: Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores totales en el municipio y/o distrito, de acuerdo con lo establecido en el artículo 4 de la Resolución 720 de 2015.

j: Número de personas prestadoras de CBLS en un mismo perímetro urbano donde $j = \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$.

De tal manera que los suscriptores que pertenece a zonas de la ciudad que requieren una mayor atención de barrido y limpieza, no se vean afectados tarifariamente.

De otra parte, y conforme a lo establecido en los artículos 2.3.2.2.2.4.52 y 2.3.2.2.2.4.53 del Decreto 1077 de 2015, cuando en un municipio exista más de un prestador, éstos deberán suscribir acuerdos en los que se determinen la vías y áreas públicas que cada prestador vaya a atender y la forma de remunerarse entre los prestadores, sin perjuicio de las acciones de vigilancia y control de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Se determinaron los costos fijos y variables del modelo, ajustando aquellos que para el presente marco tarifario se han modificado, como el costo de personal, la tasa de descuento (WACC), la rentabilidad del capital de trabajo, el factor de gastos administrativos; el cálculo del mantenimiento de la barredora mecánica se realiza sobre el costo de inversión inicial, adicionalmente se ajusta el precio de la barredora mecánica contemplando las variaciones de la Tasa Representativa de Mercado TRM a diciembre de 2014 y se modifica el rendimiento de combustible de la barredora mecánica de acuerdo a fichas técnicas proporcionados por los fabricantes de estos equipos.

Para la modelación de los costos, se analizaron en forma separada el barrido y limpieza manual y el mecánico, sin embargo, al calcular el costo final de la actividad se establece el costo final en forma proporcional, de acuerdo a lo reportado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en su *"Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010"*. El cual indica que en Colombia se presta barrido mecánico únicamente en ciudades con más de 300.000 habitantes. Las ciudades megas presentan una proporción de 23,4% de barrido mecánico y las ciudades grandes presentan una proporción de 8,7%. Por lo tanto, para el nuevo marco regulatorio, se tomó la información del BID y se ponderó la proporción por población para las ciudades de ambos rangos y se obtuvo un porcentaje de 14%. Adicionalmente, se utilizaron factores de eficiencia aplicados en la resolución CRA 351 de 2005.

6.2.1 Aspectos relacionados con la responsabilidad

De acuerdo con lo establecido en el artículo 2.3.2.2.2.4.51 del Decreto 1077 de 2015, la actividad de barrido y limpieza de áreas públicas es responsabilidad de la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte de residuos no aprovechables en su área de prestación del servicio.

El prestador, en su Programa para la Prestación del Servicio, debe consignar la información de frecuencias, horarios y longitudes de acuerdo con lo determinado en el PGIRS.

Adicionalmente, el artículo 2.3.2.2.2.4.52 del mencionado decreto determina la obligación de los prestadores en un mismo municipio, de suscribir acuerdos de barrido y limpieza en los que se determinen las vías y áreas públicas a atender por cada uno y la forma de remuneración entre ellos.

Construcción del modelo

La metodología que se adopta para el costo de barrido y limpieza es similar a la establecida en la Resolución CRA 351 de 2005. El componente de barrido y limpieza refleja los costos de barrido y limpieza de vías y áreas públicas; cuyo costo está expresado en pesos por kilómetro (\$/km), se incluye también los costos relacionados

con el barrido de áreas públicas como parques y plazas. Así mismo, dentro de la modelación se considera las definiciones en esta materia consagradas en el Decreto 1077 de 2015.

El precio techo de este componente está estructurado teniendo en cuenta las opciones de barrido mecánico y manual, este último es el más utilizado por las empresas del servicio de aseo del país que, en su mayoría, está constituido por costos de personal. Los ajustes realizados al modelo establecido en la Resolución CRA 351 de 2005 son:

- Ajuste y actualización de los costos laborales
- Inclusión del costo de comunicaciones de los vehículos de apoyo, así como los costos de seguimiento por georreferenciación para estos vehículos.
- Actualización del esquema de rentabilidad.
- Incorporación del costo de recolección y transporte de los residuos de barrido.

Respecto a las áreas públicas barridas, se estableció un factor de conversión a kilómetros lineales con el fin de unificar y facilitar las unidades de medida de áreas barridas. Este factor corresponde al recorrido de un operario en un metro cuadrado (m^2) bajo una medida estándar de un cepillo (50 cm), lo que equivale a $0,002 \text{ km}/m^2$. En este sentido si un prestador del componente de barrido y limpieza atiende un área pública deberá realizar la conversión de la siguiente forma:

$$\text{kilómetros barridos de áreas públicas} = \text{Número de } m_{\text{atendidos}}^2 * 0,002 \text{ km}/m^2$$

6.2.2 Barrido y limpieza de vías y áreas públicas manual

La fórmula del costo por kilómetro de barrido y limpieza manual se define como:

$$CBk = \left(\frac{S_o \theta \xi + D_e}{52,14 * \tau_e} \right) * (1 + \alpha)$$

Donde:

- S_o : Salario anual del operario.
- θ : Factor de supervisión en que se incrementa dicho costo de personal debido a este concepto.
- ξ : Factor de transporte de implementos de barrido en que se incrementa el costo anual de personal mencionado.
- D_e : Costo de dotación anual de un operario, que incluye el carro manual y el subsidio anual de transporte.
- τ_e : Relación eficiente de barrido (kilómetros barridos por operario a la semana).
- 52,14: Número de semanas de un año.
- α : Factor de gastos administrativos.

Debido a que la actividad tiene un fuerte componente de mano de obra, la fórmula se basa en los costos de personal, dotación de los operarios y personal requerido, ajustados por una relación eficiente de supervisores y del rendimiento en términos de $\text{km}/\text{operario-semana}$.

Se aplicó el valor de eficiencia de barrido manual de 17,73 km/operario por semana, definido como el promedio simple del rendimiento de la muestra de prestadores que soportó el modelo CRA de Barrido y Limpieza de la Resolución CRA 351 de 2005.

a) Costo laboral mensual

De acuerdo con lo definido en el título 5.5 COSTOS LABORALES del presente documento, se calcula el salario anual eficiente de un operario, del supervisor y conductor del vehículo que transporta el personal y elementos utilizados en esta actividad. Nótese que dentro de los costos del personal se incluye la dotación del operario.

Tabla 22. Costos de personal mensual
Pesos de junio de 2012

Rubro	Operario	Supervisor	Conductor
Básico	\$ 566.700	\$ 1.700.100	\$ 1.133.400
Auxilio de transporte	\$ 66.238		\$ 66.238
Recargo horas extras y festivos	\$ 24.425	\$ 73.274	\$ 48.850
Parafiscales	\$ 23.645	\$ 70.935	\$ 47.290
Aportes a pensión	\$ 70.935	\$ 212.805	\$ 141.870
ARL	\$ 25.714	\$ 77.142	\$ 51.428
Cesantías	\$ 54.780	\$ 147.781	\$ 104.041
Interés Cesantías	\$ 6.574	\$ 17.734	\$ 12.485
Prima de servicios	\$ 54.780	\$ 147.781	\$ 104.041
Vacaciones	\$ 23.613	\$ 70.838	\$ 47.225
Salario + factor salarial	\$ 917.403	\$ 2.518.390	\$ 1.756.866
Dotación	\$ 112.151	\$ 112.151	\$ 112.151
Subtotal costo personal	\$ 1.029.554	\$ 2.630.541	\$ 1.869.017
Capacitación, bienestar y salud ocupacional	\$ 26.768	\$ 68.394	\$ 48.594
Suplencia laboral	\$ 68.390	\$ 174.739	\$ 124.153
Costo total personal (CTP) mensual	\$ 1.124.712	\$ 2.873.673	\$ 2.041.765

Fuente: Cálculos CRA.

b) Factor de supervisión (θ)

El factor de costo de supervisión, se calcula así:

$$\theta = \frac{\gamma * S_s}{S_o} + 1$$

Donde:

γ : Relación eficiente de los supervisores por operario, de la Resolución CRA 351 de 2005.

S_s : Salario anual del supervisor, afectado por el factor de rentabilidad del capital del trabajo.

S_o : Salario anual del operario, afectado por el factor de rentabilidad del capital del trabajo.

Tabla 23. Factor de supervisión
Pesos de junio de 2012

Concepto	Valor
Relación γ	0,06
$S_o = CTP \text{ operario} * (1+r_k) * 12$	\$ 13.828.237
$S_s = CTP \text{ supervisor} * (1+r_k) * 12$	\$ 35.331.554
θ : Factor de supervisión	1,15

Fuente: Estudio Diseño de Regulación Tarifaria-Econometría S.A. Cálculos CRA.

La relación γ es el promedio de los reportes de la muestra de empresas, con base en la cual, se determinó una relación estadística entre el número de supervisores y el número de operarios de barrido y conductores³¹.

Se estableció la relación de operarios y conductores, a partir de dichos reportes, tomando el promedio general, se calculó para ambos casos, un promedio de 4 conductores y 16 operarios por supervisor respectivamente, de lo que se puede concluir que un supervisor cubre 3,6 veces más operarios que conductores.

c) Factor de transporte de personal e implementos de barrido (ξ)

El sobre costo por el transporte de personal e implementos de barrido, ξ , se calcula con base en los vehículos requeridos para el transporte de implementos de barrido por operario, costos fijos anuales, los costos variables de operación anuales y los costos de inversión de estos vehículos más el salario del conductor.

Debido a que en los mercados pequeños, no se utilizan camiones para el transporte de implementos de barrido, se hará el supuesto del uso de una moto por supervisor. Esto como resultado de la información recolectada en los apartes de la encuesta.

$$\xi = \left(\frac{\delta * (K + F + S_c)}{S_o} \right) + 1$$

Donde:

- δ : Relación eficiente de camiones para transporte de utensilios por operario.
- K : Costo anual equivalente de inversión en un camión o moto.
- F : Costos fijos anuales de inversión en un camión o moto.
- M : Costos variables anuales de un camión o moto (combustible, aceites, llantas y otros de mantenimiento).
- S_c : Salario anual del conductor.

La relación eficiente de camiones por operario se calculó con datos de la misma muestra, encontrando que los resultados son muy similares a los obtenidos de la relación eficiente de supervisores por operario, por lo cual se asume que $\delta = \gamma$.

El factor de transporte de personal e implementos de barrido ξ equivale a 1,36

d) Costos de un camión de estacas

Los costos del camión corresponden en la fórmula a la suma de la variables $(K+F+M+S_c)$, anteriormente enunciada. El costo de un camión de estacas nuevo de 3,5 toneladas de capacidad, que normalmente es utilizado para esta labor, es de \$100.988.276 pesos de junio de 2012. Se estima una vida útil de ocho (8) años, por lo que su costo anual equivalente, afectado por la tasa de descuento del 13,88%, es de \$21.682.472 a pesos de junio 2012.

Los costos fijos y variable por año se presentan a continuación y son afectados por el factor de rentabilidad de capital de trabajo:

³¹ De acuerdo con la información reportada por las empresas en 2013, para una muestra de 33 empresas.

Tabla 24. Costos fijos anuales de un camión (F)
Pesos junio de 2012

Concepto	Tasa	Valor
Impuestos	2,50%	\$ 2.524.707
Seguros	7,85%	\$ 7.927.580
Plan móvil de datos (anual)	n.a.	\$ 600.000
Total (ajustado por K_T)		\$ 11.323.904,93

Fuente: Cálculos CRA.

Tabla 25. Costos variables por año de un camión para movilización de utensilios
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valor
Gasto de ACPM anual	140 gls/mes	\$ 12.727.258
Mantenimiento	10%	\$ 10.098.828
Total (ajustado por K_T)		\$ 23.387.054

Fuente: Cálculos CRA.

El estacionamiento del camión y la barredora se realiza en la base de operaciones incluida en el componente de recolección y transporte, por lo tanto no se incluye su costo en este componente.

e) Costo de la moto

El costo de reposición de una moto nueva es de \$3.000.000 a pesos de junio 2012. La vida útil de la moto considerada es de ocho (8) años, y se utiliza la tasa de descuento del 13,88%, obteniendo un costo anual de \$644.108,6 a pesos de junio de 2012.

Los costos fijos y los variables anuales de una motocicleta se describirán a continuación, y son afectados por el factor de rentabilidad de capital de trabajo:

Tabla 26. Costos fijos anuales asociados a una moto
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valor
Impuestos	2,50%	\$ 75.000
Seguros	7,85%	\$ 235.500
Comunicaciones		\$ 2.031.590
Plan móvil de datos		\$ 600.000
Total (ajustado por K_T)		\$ 3.014.395

Fuente: Cálculos CRA.

En los costos variables se incluyen los gastos de combustible y mantenimiento, los cuales son afectados por el factor de rentabilidad de capital de trabajo.

Tabla 27. Costos variables por año de una moto
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valor
Gasto de combustible anual	1 gls/día	\$ 2.405.975
Mantenimiento	10%	\$ 300.000
Total (ajustado por K_T)		\$ 2.772.477

Fuente: Cálculos CRA.

Finalmente, se calcula el factor de transporte de personal e implementos.

Tabla 28. Factor de transporte de personal e implementos
Pesos de junio de 2012

Concepto	Valor
δ	0,06
S_o	13.828.237
S_c	25.103.311
F : Costos fijos	14.338.299
V : Costos variables	26.159.531
K : Costos de inversión	22.326.581
$e: \delta*(S_c+F+V+K)/S_o+1$	1,36

Fuente: Cálculos CRA.

f) Dotación de los operarios (D_e)

La dotación del operario de barrido, el supervisor y el conductor del vehículo está incluida en el costo de personal. Para el barrido y limpieza de vías y áreas públicas se determinaron las herramientas y el equipo que requiere cada operario incluyendo el carro papelerero, cuyos costos se calculan a partir de precios de mercado.

Tabla 29. Costos de equipo del operario
Pesos de junio de 2012

Ítem	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Pala	0,5	\$ 17.487	\$ 8.743
Cepillo	1	\$ 12.900	\$ 12.900
Rastrillo	1	\$ 15.533	\$ 15.533
Bolsas	9.244	\$ 80	\$ 739.554
Cono señalización	1	\$ 46.795	\$ 46.795
Carro papelerero	0,5	\$ 200.000	\$ 100.000
D_e (ajustado por K_T)			\$ 946.221

Fuente: Cálculos CRA.

g) Relación eficiente de barrido (τ_e)

En el reporte de las empresas de la muestra para el año 2013, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre el promedio de kilómetros barridos entre empresas grandes y medianas. Por esta razón, se tomó el promedio general para esta variable, de 17,73 kilómetros por operario a la semana.

6.2.3 Barrido y limpieza de vías mecánico

De acuerdo con el BID (2010)³², en Colombia se presta barrido mecánico únicamente las ciudades con más de 300.000 habitantes. Las ciudades megas³³ presentan una proporción de 23,4% de barrido mecánico y las ciudades grandes³⁴ presentan una proporción de 8,7%. Por lo tanto, para el nuevo marco regulatorio, se tomó la información del BID y se ponderó por la población para las ciudades de ambos rangos y se obtuvo una proporción de 14%.

El costo del barrido mecánico, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CBM_k = \left(\frac{S_q \theta + K_b + F_b + M_b}{52,14 * \tau_q} \right) * (1 + \alpha)$$

Donde:

- S_q : Salario anual del conductor de la barredora, se incluye los costos de dotación del conductor.
- θ : Factor de supervisión (se emplea el mismo valor de barrido manual).
- K_b : Costo anual equivalente de inversión de la barredora.
- F_b : Costos fijos anuales de una barredora.
- M_b : Costos variables anuales de una barredora (combustibles, aceites, llantas y otros de mantenimiento).
- τ_q : Relación eficiente de barrido (kilómetros barridos por barredora a la semana).
- 52,14 Número de semanas en un año.
- α : Factor de gastos administrativos equivalente a 13.91%.

a) Salario anual del conductor de la barredora (S_q)

El salario del conductor de la barredora es como se presentó en la tabla 22 del presente documento.

b) Dotación del conductor (D_q)

La dotación del conductor es la misma del operario y el costo se calcula de acuerdo con el requerimiento anual definido en el artículo 7 de Código Sustantivo y Procesal de Trabajo, Ley 11 de 1984, al cual se le incluyó una dotación adicional en razón a que la condición propia del servicio requiere que el trabajador pueda disponer de un uniforme limpio en forma permanente. Este costo se incluye dentro de los costos laborales (S_q) y de encuentra discriminado en la tabla 28 del presente documento.

c) Costo anual equivalente de inversión de la barredora mecánica (K_b)

El valor de una barredora mecánica se obtuvo del valor promedio reportado por los prestadores³⁵ y es de \$514.758.460 a pesos de junio 2012. Se fija una vida útil de ocho (8) años y se incluye en el costo una tasa de descuento del 13,88%, igual que en las anteriores variables, por lo que el costo anual equivalente es de \$ 110.520.117 pesos de junio de 2012.

³² Banco Interamericano de Desarrollo (2010). "Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010". Pp; 111.

³³ Ciudades con más de 5.000.000 de habitantes, según la clasificación del BID. En Colombia solo Bogotá clasifica dentro de este rango. Pp; 111.

³⁴ Ciudades con población entre 300.000 y 5.000.000 de habitantes, según la clasificación del BID. Pp, 111.

³⁵ A partir de la información reportada por los prestadores en la encuesta realizada para la Resolución 351 de 2005.

d) Costos fijos anuales de la barredora mecánica (F_b)

En la tabla que se presenta a continuación se detallan los costos fijos, entre ellos los impuestos, seguros, lavado y limpieza, entre otros, de una barredora mecánica de cuatro (4) toneladas de peso, los cuales están afectados por el factor de rentabilidad de capital de trabajo.

Tabla 30. Costos fijos anuales de una barredora mecánica
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valor
Impuestos	2,50% del valor del vehículo	\$ 12.868.962
Seguros	7,85% del valor del vehículo	\$ 40.408.539
Lavado y limpieza		\$ 2.879.088
Comunicaciones por año		\$ 1.440.000
Costos fijos iniciales de tecnología		\$ 1.119.031
Total (ajustado por K_T)		\$ 60.158.600

Fuente: Cálculos CRA.

e) Costos variables anuales de la barredora mecánica (M_b)

Los costos variables anuales reconocen los costos de mantenimiento y el valor de reposición del vehículo, los cuales están afectados por el factor de rentabilidad de capital de trabajo:

Tabla 31. Costo de variable anual de una barredora mecánica
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valor
Mantenimiento	10%	\$ 51.475.846
Total gasto anual (ajustado por K_T)		\$ 51.475.847

Fuente: Cálculos CRA.

El costo total anual de la barredora mecánica corresponde a: $(K_b + F_b + M_b)$, obteniendo un valor de \$ 222.154.564 a pesos de junio 2012.

f) Relación eficiente de barrido (τ_q)

A partir de un turno diario de ocho (8) horas para seis (6) días a la semana, con una velocidad media de 6 km/h equivale a 288 kilómetros por barredora por semana.

$$\tau_q = 288 \text{ km} / \text{barredora} - \text{semana}$$

6.2.4 Costo máximo para el componente de barrido y limpieza

Con los datos anteriores se llega al costo promedio de barrido mecánico de \$ 19.118 a pesos de junio de 2012 y al de barrido manual de \$ 27.780 a pesos de junio de 2012, que incluye el factor de gastos administrativos del 13,91% y el ajuste por el factor de rentabilidad al capital del trabajo del 2,46% que se aplica a los costos laborales, fijos y variables.

Finalmente, se realiza la ponderación entre el barrido manual y el mecánico, se ajusta por el impuesto a las transacciones financieras de 4 por 1.000 y se obtiene un costo de pesos a junio de 2012 de \$ 26.665 y \$ 28.985 a pesos de diciembre de 2014.

Tabla 32. Costo máximo para el componente de barrido y limpieza
Pesos de junio de 2012

Proporción barrido manual	85,90%
Proporción barrido mecánico	14,10%
CBL Manual	\$ 27.780
CBL Mecánico	\$ 19.118
CBL \$ junio de 2012/km	\$ 26.665
CBL \$ diciembre de 2013/km	\$ 28.985

Fuente: Cálculos CRA.

6.2.5 Costo de transporte y disposición final de los residuos de barrido y limpieza

Se remunera el costo del transporte y disposición final y tratamiento de lixiviados de los residuos de barrido y de limpieza de acuerdo al Anexo 4 que establece las tarifas para las actividades del servicio público de Aseo, Tarifa para la actividad de Recolección y Transporte TRT incluye las Toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor TRBL definidas en el artículo 40 de la Resolución 720 de 2015.

6.3 COSTO DE LIMPIEZA URBANA POR SUSCRIPTOR (CLUS)

El presente marco tarifario del servicio público de aseo, incluye un componente nuevo denominado Costo de limpieza urbana por suscriptor (CLUS), que reúne las actividades del servicio adicionadas por el Decreto 1077 de 2015, que son:

- Corte de césped en las vías y áreas públicas.
- Poda de árboles en las vías y áreas públicas.
- Lavado de áreas públicas.
- Limpieza de playas costeras o ribereñas en las áreas urbanas.
- Compra, instalación y mantenimiento de cestas en vías y áreas públicas.

La inclusión de estos costos en la tarifa, se soporta en que son actividades que se realizan en las vías y áreas públicas de los centros urbanos que benefician a todos los habitantes por igual; razón por la cual, sus costos deben ser asumidos por todos los suscriptores.

En cuanto a la definición de los costos de referencia, es necesario precisar, que debido a que las actividades del CLUS no hacían parte del servicio público de aseo, no existe información histórica en el SUI; por lo que esta Comisión procedió a solicitar información a los prestadores, ya que en algunas ciudades del país se han incluido en el marco de la prestación del servicio público de aseo; y a los municipios por ser quienes han tenido esta responsabilidad hasta ahora.

Construcción de los modelos

De acuerdo con las nuevas disposiciones establecidas en el Decreto 1077 de 2015, el presente marco tarifario del servicio público de aseo incluye dentro del cargo fijo los costos asociados a la limpieza urbana por suscriptor, compuesto por: poda de árboles, corte de césped y lavado de áreas públicas, limpieza de playas e instalación y mantenimiento de cestas públicas.

Para las actividades de corte de césped, lavado de áreas públicas y limpieza de playas se desarrollaron modelos de ingeniería cuyos componentes se precisan más adelante.

El costo del CLUS, resulta de la sumatoria de los costos individuales de cada una de sus actividades multiplicado por las cantidades atendidas por cada actividad, distribuidos entre la totalidad de los suscriptores del área urbana del municipio.

Cuando hay varios prestadores de las actividades del CLUS en un mismo municipio se suman los costos de todos los prestadores, de la siguiente forma:

$$CLUS = \frac{\sum_{j=1}^m (CP_j + CCC * m_{CCj}^2 + CLAV * m_{LAVj}^2 + CLP * kLP_j + (CCEI * TI_j + CCEM * TM_j))}{N}$$

Donde:

- CLUS*: Costo de Limpieza Urbana por suscriptor (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).
- CP_j*: Costo de Poda de Árboles definido en los siguientes títulos del presente documento, de la persona prestadora *j* (pesos diciembre de 2014).
- CCC*: Costo de Corte de Césped definido en los siguientes títulos del presente documento (pesos diciembre de 2014/m²).
- m_{CCj}²*: Metros cuadrados totales de césped cortados por la persona prestadora *j*, en el período de facturación.
- CLAV*: Costo de Lavado de Áreas Públicas definido en los siguientes títulos del presente documento (pesos diciembre de 2014/m²).
- m_{LAVj}²*: Metros cuadrados totales de áreas públicas lavadas por la persona prestadora *j*, en el período de facturación.
- CLP*: Costo de Limpieza de Playas costeras o ribereñas definido en los siguientes títulos del presente documento (pesos de diciembre de 2014/km).
- kLP_j*: Kilómetros totales de playas costeras limpiados por la persona prestadora *j*, en el período de facturación.
- CCEI*: Costo de suministro e instalación de Cestas en vías y áreas públicas definido en los siguientes títulos del presente documento (pesos de diciembre de 2014).
- CCEM*: Costo de mantenimiento de las cestas previamente instaladas por la persona prestadora en su APS.
- TI_j*: Número de cestas que hayan sido instaladas por la persona prestadora *j* en el APS y aprobadas por el municipio y/o distrito.
- TM_j*: Número de cestas objeto de mantenimiento por la persona prestadora *j* en la APS y que hayan sido mantenidas por la persona prestadora *j*.

- N : Número de suscriptores totales en el municipio, para el periodo de facturación, calculado como la suma de suscriptores a facturar en el período de facturación de las APS del municipio.
- j : Número de personas prestadoras de CLUS en un mismo perímetro urbano donde $j = \{1,2,3,4,\dots,m\}$.

A continuación se detalla el tratamiento de los costos laborales incluidos y se especifica cada uno de los componentes del CLUS así como el precio máximo a cobrar.

6.3.1 Costos de dotación

Los costos laborales son calculados a partir del modelo descrito previamente en la sección 5.5 COSTOS LABORALES. Por su parte, los costos de dotación fueron calculados a partir de los precios de mercado de cada uno de los insumos. La tabla a continuación muestra los costos unitarios de cada implemento, las cantidades y el costo total de dotación para conductores, operarios y supervisores.

Tabla 33. Costo de dotación en la actividad de lavado mensual

Dotación Conductor Carro tanque	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Uniforme - overol reflectivo	0,5	\$ 144.198	\$ 72.099
Vestuario invierno (pantalón, chaqueta y pechera)	0,5	\$ 51.815	\$ 25.908
Botas punta de acero	0,5	\$ 47.970	\$ 23.985
Guantes	0,5	\$ 10.478	\$ 5.239
Gafas de seguridad	0,5	\$ 8.556	\$ 4.278
Subtotal			\$ 131.509
Dotación Operario Hidrolavadora	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Uniforme - Overol Reflectivo	0,5	\$ 144.198	\$ 72.099
Delantal sintético	0,5	\$ 23.937	\$ 11.968
Vestuario Invierno (Pantalón, Chaqueta y Pechera)	0,5	\$ 51.815	\$ 25.908
Casco con Barbuquejo	0,5	\$ 17.208	\$ 8.604
Botas Pantaneras Punta de Acero	0,5	\$ 47.970	\$ 23.985
Protección Auditiva de inserción	2	\$ 3.365	\$ 6.729
Guantes	0,25	\$ 10.478	\$ 2.620
Conos de Señalización /Seguridad	0,25	\$ 46.047	\$ 11.512
Cinta de señalización	0,25	\$ 24.898	\$ 6.225
Espátula	0,25	\$ 6.922	\$ 1.730
Gafas de Seguridad	0,5	\$ 8.556	\$ 4.278
Subtotal			\$ 175.658
Dotación Operario	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Uniforme - Overol Reflectivo	0,5	\$ 144.198	\$ 72.099
Delantal sintético	0,5	\$ 23.937	\$ 11.968
Vestuario Invierno (Pantalón, Chaqueta y Pechera)	0,5	\$ 51.815	\$ 25.908
Casco con Barbuquejo	0,5	\$ 17.208	\$ 8.604
Botas Pantaneras Punta de Acero	0,5	\$ 47.970	\$ 23.985
Protección Auditiva de inserción	2	\$ 3.365	\$ 6.729
Guantes	0,25	\$ 10.478	\$ 2.620
Gafas de Seguridad	0,5	\$ 8.556	\$ 4.278
Conos de Señalización /Seguridad	0,33	\$ 46.047	\$ 15.349
Cinta de señalización	0,25	\$ 24.898	\$ 6.225
Rastrillo	0,25	\$ 15.285	\$ 3.821
Espátula	0,25	\$ 6.922	\$ 1.730
Pala	0,5	\$ 17.208	\$ 8.604
Subtotal			\$ 191.920

Fuente: Precios de lista³⁶, cálculos CRA., diciembre de 2013 Cálculos CRA.

Tabla 34. Costo de dotación en la actividad de corte de césped mensual

Dotación conductor	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Uniforme - Overol Reflectivo	0,5	\$ 144.198	\$ 72.099
Botas Punta de Acero	0,5	\$ 47.970	\$ 23.985
Guantes	0,5	\$ 10.478	\$ 5.239
Extintor	0,083	\$ 6.219	\$ 518
Gafas de Seguridad	0,5	\$ 8.556	\$ 4.278
Mascarillas	0,5	\$ 8.922	\$ 4.461
Subtotal			\$ 110.581
Dotación operario empaque de residuo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Gorra de sol + Cuello	0,5	\$ 28.840	\$ 14.420
Uniforme - Overol Reflectivo	0,5	\$ 144.198	\$ 72.099
Vestuario Invierno (Pantalón, Chaqueta y Pechera)	0,5	\$ 51.815	\$ 25.908
Botas Punta de Acero	0,5	\$ 47.970	\$ 23.985
Gafas de Seguridad	0,5	\$ 8.556	\$ 4.278
Guantes	0,5	\$ 10.478	\$ 5.239
Mascarillas	0,5	\$ 8.922	\$ 4.461
Peto Carnaza	0,5	\$ 37.395	\$ 18.698
Protección Auditiva	2	\$ 3.365	\$ 6.729
Colombina Plástica	0,5	\$ 27.782	\$ 13.891
Bolsas	1	\$ 63.158	\$ 63.158
Fumigante	1	\$ 47.847	\$ 47.847
Subtotal			\$ 300.713
Dotación operario de guadaña	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Gorra de sol + Cuello	0,5	\$ 28.840	\$ 14.420
Uniforme - Overol reflectivo	0,5	\$ 144.198	\$ 72.099
Vestuario Invierno (pantalón, chaqueta y pechera)	0,5	\$ 51.815	\$ 25.908
Botas punta de acero	0,5	\$ 47.970	\$ 23.985
Canilleras	0,5	\$ 6.281	\$ 3.140
Gafas de seguridad	0,5	\$ 8.556	\$ 4.278
Guantes	0,5	\$ 10.478	\$ 5.239
Mascarillas	0,5	\$ 8.922	\$ 4.461
Peto carnaza	0,5	\$ 37.395	\$ 18.698
Protección auditiva	2	\$ 3.365	\$ 6.729
Visor en malla	0,5	\$ 19.130	\$ 9.565
Conos de señalización /Seguridad	0,5	\$ 46.047	\$ 23.024
Cinta de seguridad – Demarcación	1	\$ 24.898	\$ 24.898
Colombina plástica	1	\$ 27.782	\$ 27.782
Mallas de protección	1	\$ 19.820	\$ 19.820
Subtotal			\$ 284.047

Fuente: Precios de lista, cálculos CRA., diciembre de 2013 Cálculos CRA.

6.3.2 Costo de poda de árboles

Ante la poca información existente y a las observaciones recibidas en el proceso de participación ciudadana en relación con las grandes diferencias que existen en el arbolado urbano y su intervención en los municipios del país, se determina que el Costo mensual máximo de Poda de Árboles se determine de acuerdo con la siguiente ecuación y será al precio techo de cada prestador en su área de prestación -APS.

³⁶ Consulta septiembre 2013 Homecenter.com <<http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>>

$$CP = \frac{\sum \text{Costos de poda de arboles en 6 meses consecutivos}}{6 \text{ meses}}$$

El prestador deberá reportar el precio que trasladará a la tarifa con sus respectivos soportes, a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico y a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios el valor que haya determinado. Es pertinente recordar que la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento Básico podrá revisar el costo y determinar un valor máximo si a ello hubiere lugar, de conformidad con lo establecido en el artículo 126 de la Ley 142 de 1994.

6.3.3 Costo de corte de césped (CCC)

El costo de corte de césped fue determinado mediante el desarrollo de un modelo parametrizado de ingeniería y está compuesto por rubros específicos relacionados con los costos directos de realización de la actividad.

Se define un esquema básico para realizar la actividad con base en el rendimiento reportado por la Federación Nacional de Cafeteros³⁷, para una cuadrilla. Se definió un precio techo por cada segmento debido a que la actividad tiene una economía de escala por el manejo de las cuadrillas y los equipos.

A continuación se detallan los rubros que incluyeron para calcular el precio máximo.

Tabla 35. Costos reconocidos para el corte de césped

Concepto	Costo a incluir
Laborales	Operarios guadaña
	Operario empaque de residuos
	Operario conductor camión estacas
Inversión	Equipos menores y camión de estacas
Combustible	Combustible guadaña y camión estacas
Mantenimiento	Mantenimiento equipos y vehículo

Fuente: Construcción CRA.

Es importante señalar que el costo total resulta de la suma de los costos laborales, dotación y elementos de seguridad, compra de un camión de estacas, guadañas, gasto de combustible, mantenimiento del vehículo y guadañas y la recolección y empaque de los residuos. Dichos costos se establecen para cada segmento. Para el segmento 1, los costos de personal son para una cuadrilla compuesta por diez (10) operarios de guadaña, veinte (20) operarios de empaque, dos (2) conductores del camión de estacas y una porción (0,1) de supervisor.

En los costos laborales se consideran las prestaciones sociales y demás conceptos que afectan la remuneración, tal como se explicó en la sección 5.5 COSTOS LABORALES. Adicionalmente, se incluye el costo de una guadaña de respaldo. En el caso del segmento 2, la cuadrilla se integra por cinco (5) operarios de guadaña, cinco (5) operarios de empaque, un (1) conductor del camión de estacas y una porción (0,1) de supervisor.

Tabla 36. Costo mensual de operación e inversión en la actividad de corte de césped
Pesos de junio de 2012

	Segmento 1	Segmento 2
Total Operación	\$ 57.731.607	\$ 21.084.016
Costo de personal	\$ 43.720.869	\$ 15.472.456
Costo de operación y mantenimiento	\$ 12.625.972	\$ 5.105.832

³⁷ Cálculos CRA con información tomada de:
http://www.federaciondecafeteros.org/static/files/GC_Guia7_SignosVitalesDeMiEmpresa10.pdf

Total Inversión	\$ 1.952.754	\$ 1.522.608
Guadañas	\$ 573.528	\$ 143.382
Camión de estacas	\$ 1.379.226	\$ 1.379.226
Total + factor gastos administrativos (mes)	\$ 67.986.455	\$ 25.751.205

Fuente: Radicados CRA 2010-321-0060372-2, 2010-321-002833-2 y 2009-321-005957-2. Construcción CRA

Tabla 37. Costo mensual de mantenimiento y de combustible en la actividad de corte de césped
Pesos de junio de 2012

Costo mensual de operación y mantenimiento					
Concepto		Segmento 1		Segmento 2	
Costos de operación y mantenimiento		\$ 12.625.972		\$ 5.105.832	
Mantenimiento camión de estacas		\$ 2.561.634		\$ 1.280.817	
Combustible camión de estacas		\$ 3.498.178		\$ 1.749.089	
Seguros	7,85% del valor del vehículo	\$ 535.602		\$ 535.602	
Impuestos	2,5% del valor del vehículo	\$ 34.481		\$ 34.481	
Revisión tecno mecánica		\$ 27.297		\$ 13.649	
Mantenimiento guadañas		\$ 689.847		\$ 172.462	
Combustible guadaña		\$ 5.278.933		\$ 1.319.733	
Costo mensual de mantenimiento por hora					
Concepto	Valor unitario (h)	Cantidad		Costo Mantenimiento/hora	
		Segmento 1	Segmento 2	Segmento 1	Segmento 2
Costo de Mantenimiento Guadaña (\$/h)	\$137	22	6	\$ 626.912	\$ 156.728
Costo de Mantenimiento Camión de Estacas (\$/h)	\$5.596	2	1	\$ 2.327.936	\$ 1.163.968
Costo mensual de combustible					
Costo de combustible (mes)	Consumo (gal/mes)		Precio combustible	Costo combustible	
	Segmento 1	Segmento 2		Segmento 1	Segmento 2
Camión de estacas	462	231	\$ 7.575,75	\$ 3.498.178	\$ 1.749.089
Guadañas	686	172	\$ 7.690,75	\$ 5.278.933	\$ 1.319.733

Fuente: Cálculos CRA.

El total de costos de corte de césped es de \$52/ m² a pesos de junio 2012 para el segmento 1, y de \$79/m² a pesos de junio de 2012 para segmento 2. A pesos de diciembre de 2014, corresponde a \$57/ m² para el primer segmento y \$86 /m² para el segundo.

Tabla 38. Costo total por metro cuadrado (m²)

Pesos de junio de 2012

	Segmento 1	Segmento 2
Costo Total mes * (1+ factor de gastos administrativos)	\$ 67.986.455	\$ 25.751.205
Área de Corte de referencia (m ² /mes)	1.300.000	325.000
Costo de Corte de Césped (\$ jun. 2012/m ²)	\$52	\$79
Costo de Corte de Césped (\$ dic. 2014/m ²)	\$57	\$86

Fuente: Cálculos CRA.

Aunque la información disponible para la modelación es escasa, la CRA utilizó con fines comparativos la información reportada por las ciudades de Bogotá, Bucaramanga que son del segmento 1 y sus costos son cercanos al calculado por la CRA y Yumbo, que es del segmento 2 un valor de m² cercano al obtenido en la

modelación realizada por la CRA; confirmando que el costo en municipios del segmento 2 debe ser un poco mayor.

Tabla 39. Comparación costo de corte de césped por ciudad

Pesos de junio de 2012

Ciudad	Costo por m ²
Bucaramanga	\$ 46
Bogotá	\$ 39
Yumbo	\$ 66
Modelo CRA Segmento 1	\$ 52

Fuente: Radicados CRA 2010-321-0060372-2, CRA 2010-321-002833-2 y CRA 2009-321-005957-2.

Respecto al área intervenida, el prestador deberá incluir en el CLUS la totalidad del área pública de césped cortado (expresada en m²) en el área de prestación del servicio durante el periodo de facturación.

6.3.4 Costo de lavado de áreas públicas (CLAV)

La estimación del precio techo de lavado de áreas públicas (CLAV) se hace mediante un modelo parametrizado, en el que se adopta el consumo de agua promedio estimado con base en los reportes de Itagüí, Pereira, Cartagena y Lime Bogotá. El rendimiento de la actividad se toma de información oficial reportada por la ciudad de Bogotá del modelo financiero de la estructuración mediante e área de servicio exclusivo (ASE) presentado a la CRA en el año 2010; y los precios unitarios del carro tanque, equipo y elementos necesarios para su realización, se toma de precios de lista en el mercado.

Tabla 40. Precios de referencia para la actividad de lavado

Pesos de junio de 2012

Costo	Costo/m ²
Operación	\$ 104
Inversión	\$ 34
Total	\$ 137
Total *(1+ gastos administrativos)	\$ 153

Fuente: Cálculos CRA.

Los costos de operación se calculan a partir de la suma de los costos de personal, combustible, mantenimiento y costos fijos como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 41. Costos de operación actividad de lavado

Pesos de junio de 2012

Costo mensual de mantenimiento (1 hidrolavadora y 2 Carro tanques)	\$ 3.786.327
Hidrolavadora	\$ 476.299
Turnos diarios	1
Horas turno	8
Días por Mes (hábiles base 365)	26
Costo de Mantenimiento Hidrolavadora (\$/h)	\$ 2.289,90
Carro tanque	\$ 1.655.014
Turnos diarios	1
Horas turno	8
Días por Mes (hábiles base 365)	26,0
Costo de Mantenimiento Carro tanque (\$/h)	\$ 7.956,80
Costo mensual de combustible	\$ 7.407.191
Hidrolavadora (x1)	\$ 1.008.484
Galones	\$ 133

ACPM	\$ 7.576
Carro tanque (x2)	\$ 6.398.707
Galones	\$ 832
ACPM	\$ 7.691
Costo mensual fijo	\$ 725.421
Carro tanque (x2)	\$ 725.421
Revisión técnico mecánica	\$ 14.467
Seguros 10%	\$ 539.226
Impuestos 5%	\$ 171.728

Fuente: Cálculos CRA.

A los costos descritos anteriormente, se le suman los costos mensuales de personal que corresponden a \$ 9.460.840 a pesos de junio 2012, que resulta de la cuadrilla compuesta por un (1) operario de hidrolavadora, tres (3) operarios de lavado, dos (2) conductores de carro tanque y una porción de 0,1 de tiempo de dedicación del supervisor. Posteriormente se ajustan estos costos laborales de acuerdo con lo explicado en la sección 5.5 COSTOS LABORALES y se adiciona el valor de la dotación respectiva.

De otra parte, los costos de inversión corresponden a la adquisición de dos carrotanques, una hidrolavadora y un remolque, a través de un pago mensualizado con una tasa de descuento mensual de 1,09%, como puede observarse en las siguientes tablas.

Tabla 42. Costos de inversión actividad de lavado
Pesos de junio de 2012

Carro tanque 8,1 m³ (#2)	\$407.774.387
Vida útil (meses)	96
Tasa	1,09%
Costo mensual equivalente	\$ 6.869.122
Hidrolavadora (#1)	\$7.402.385
Vida útil (meses)	96
Tasa	1,09%
Costo mensual equivalente	\$ 124.696
Remolque (#1)	\$ 4.000.000
Vida útil (meses)	60
Tasa	1,09%
Costo mensual equivalente	\$ 91.152

Fuente: Construcción CRA

Para obtener el valor total de los costos se suman los costos de operación e inversión y se estima un rendimiento de 5,56 l/m²³⁸ de agua a presión y un área lavada total al mes de 211.454 m²³⁹. A pesar de que el lavado de vías y áreas públicas puede modelarse, es importante resaltar que el agua empleada para esta actividad es un factor que varía conforme a las condiciones operativas de cada municipio, por tanto se ha dejado como un factor variable en el precio máximo. La siguiente ecuación establece el precio máximo a cobrar por la actividad de lavado por metro cuadrado:

$$CLAV = \$153 + 5,56 * \left(\frac{\$ m_{agua}^3}{1.000} \right)$$

Donde:

CLAV: Costo mensual de lavado de áreas públicas (pesos de junio de 2012) por metro cuadrado (m²).

\$ m_{agua}³: Valor del metro cúbico (m³) facturado por el prestador de acueducto.

³⁸ Nota explicativa Promedio calculado a partir de la información recibida por la CRA para las ciudades de Itagüí, Pereira y Cartagena

³⁹ Promedio calculado a partir de la información recibida por la CRA para las ciudades de Itagüí, Pereira y Cartagena.

Esta ecuación expresada a pesos de diciembre de 2014 es:

$$CLAV = \$166 + 5,56 * \left(\frac{\$m_{agua}^3}{1.000} \right)$$

6.3.5 Costo de suministro, instalación y mantenimiento de cestas en vías y áreas públicas (CCE)

El costo de cestas a reconocer al prestador del servicio público de aseo, corresponde a los costos asociados a la adquisición de la cesta, su instalación y mantenimiento de cada una de ellas. Los costos de la cesta (caneca M-120), se toma de referencia por ser la más común y costo eficiente.

Los costos de instalación fueron obtenidos de la Revista Construdata No.168 septiembre-noviembre de 2013 y deflactados a pesos de junio de 2012, como lo muestra la tabla a continuación:

Tabla 43. Costo de adquisición e instalación de cestas

Precios noviembre de 2013						
Rubro	Bogotá	Cali	Barranquilla	Medellín	Promedio	\$ junio de 2012
Caneca M-120	\$ 222.684	\$ 222.684	\$ 222.684	\$ 222.684	\$ 222.684	\$ 214.071
Instalación (cuadrilla de albañilería y mortero)	\$ 17.311	\$ 16.796	\$ 16.785	\$ 16.723	\$ 16.904	\$ 16.250

Fuente: Construdata Revista No.168 de 2013.

A cada cesta se le asigna un valor de mantenimiento del 10% de la recuperación del capital con una vida útil de 60 meses, para los costos asociados a cambio de tornillos, pintura, lavado y engrase. De esta forma los costos a reconocer se describen en la tabla a continuación:

Tabla 44. Costo de inversión y mantenimiento de cestas

Pesos de junio de 2012

Costo total	
Inversión	\$ 230.321
Caneca M-120	\$ 214.071
Instalación	\$ 16.250
Mantenimiento	10%
Costo total mensual	
Inversión	\$ 5.249
Mantenimiento	\$ 525
Total (\$ jun. 2012)	\$ 5.773
Total (\$ dic. 2013)	\$ 6.276

Fuente: Construdata Revista No.168 de 2013, Cálculos CRA.

Por mantenimiento de cestas previamente instaladas por la persona prestadora en su APS, se reconocerá el mantenimiento de cada cesta y el costo mensual máximo será de \$571 pesos de diciembre 2014 por cesta.

Es pertinente precisar que el costo de adquisición de una cesta nueva, su instalación y mantenimiento debe cobrarse todos los meses en la tarifa hasta que termine su vida útil.

Por las cestas a las que sólo se les realiza mantenimiento, el valor que corresponde a esta actividad.

6.3.6 Costo de limpieza de playas (CLP)

La construcción del costo de limpieza de playas costeras o ribereñas en áreas urbanas se realiza aplicando la metodología del costo de barrido y limpieza desarrollada en la Resolución CRA 351 de 2005, bajo la cual resulta un costo en pesos por kilómetros (\$/km) que reconoce la limpieza manual y mecánica.

Para determinar las condiciones, equipo y forma de realizar la actividad, la CRA adelantó visitas de campo en las que inspeccionó los equipos y personal en operación, en las ciudades de Santa Marta y Cartagena. Se visitaron las playas de Puerto Colombia, cuya conformación y tipo de limpieza es diferente. Se establece un precio techo con el cual puede realizarse la actividad de manera estándar. No se incluyen limpiezas especiales ni actividades que requieran equipo diferente al que se utiliza en la modelación.

Respecto a las áreas públicas de playas, se estableció un factor de conversión a kilómetros lineales con el fin de unificar y facilitar las unidades de medida de áreas objeto de limpieza. Este factor corresponde al recorrido del equipo de limpieza mecánica de playas en un (1) metro cuadrado bajo una medida estándar del ancho del cepillo (tomado de la ficha técnica) igual a 1,5 metros, lo que equivale a 0,0007 km/m². De esta forma, las áreas públicas de playas determinadas por el PGIRS y en el Programa de Prestación del Servicio, deberán ser convertidas a kilómetros lineales, multiplicando el área (m²) total a limpiar por 0,0007 km/m².

- **Limpieza de playas manual**

El costo del servicio de limpieza de playas manual, se construyó a partir de la información de las empresas que realizan este servicio en las ciudades con playas. La fórmula para el costo por kilómetro de limpieza de playas se define como:

$$CLP_{manual} = \left(\frac{S_o \theta + D_o}{52,14 * \tau_e} \right) * (1 + \alpha)$$

Donde:

CLP_{manual} :	Costo de limpieza de playas manual por kilómetro.
S_o :	Salario anual operario limpieza de playas.
θ :	Factor de supervisión en que se incrementa el costo de personal por este concepto.
D_o :	Costo anual del equipo necesario para cada operario.
τ_e :	Relación de limpieza de playas (kilómetros de limpieza por operario a la semana).
α :	Factor de gastos administrativos.

Nótese que se elimina de la formulación el factor de transporte de implementos para la limpieza de playas, dado que de acuerdo con la información de los prestadores que realizan este servicio, pudo verificarse que los vehículos utilizados para el transporte de utensilios y personal involucrados en la limpieza de playas, son los mismos que se reconocen en el componente de barrido y limpieza urbana. Por lo cual, se excluyen de este componente para evitar la doble contabilidad del costo asociado a los vehículos o equipos dispuestos para tal fin.

a) Costos laborales (S_o, S_c, S_s)

Los costos laborales se mantienen la estructura establecida en el título 5.5 COSTOS LABORALES del presente documento, de esta forma, se establece el costo laboral para los operarios y supervisores. En la siguiente tabla se observa el costo laboral por cada uno de los tipos de empleados, considerando el salario nominal, las prestaciones sociales, las horas extras y festivos, el subsidio de transporte, la dotación y el rendimiento del capital del trabajo (2,46%).

Tabla 45. Costo laboral de playas
Pesos de junio de 2012

	Mensual	Anual
S_o : CTP operario $*(1+rk)$	\$ 1.124.712	\$ 13.828.237
S_s : CTP supervisor $*(1+rk)$	\$2.873.675	\$ 35.331.568

Fuente: Cálculos CRA

Donde:

S_o : Salario mensual operador (pesos de junio de 2012).

S_s : Salario mensual supervisor (pesos de junio de 2012).

b) Factor de supervisión (θ)

El factor de sobre costo de supervisión se calculará de la siguiente forma:

$$\theta = \frac{(\gamma * S_s)}{S_o} + 1$$

Donde:

γ : Relación de supervisores por operarios.

S_s : Salario anual del supervisor.

La estimación del factor de supervisión se realiza con la información disponible de tres ciudades costeras: Santa Marta, Cartagena y San Andrés y se estima una media geométrica, obteniendo un valor de γ de 0,11, como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 46. Factor de supervisión

Municipio	# supervisores	# operarios	Relación γ
Santa Marta	4	20	0,20
Cartagena	1	12	0,08
San Andrés	4	47	0,09
Promedio	3	26,3	0,11

Fuente: Cálculos CRA

c) Equipo por operario (D_e)

En la encuesta realizada por la CRA en mayo de 2014, respecto a los costos de limpieza de playas se indagó sobre el equipo empleado por operario para esta actividad. Se encontró que en general los operarios emplean palas, rastrillos, bolsas y el uso de una carreta. Este equipo es diferente de la dotación por operario, pues se refiere a implementos usados específicamente para esta actividad, la dotación por operario está incluida en los costos laborales.

Los resultados de la encuesta muestran variaciones significativas en los precios de estos implementos para las ciudades encuestadas (Santa Marta, Cartagena y San Andrés), por lo que se decidió utilizar precios de lista. La tabla a continuación, muestra el equipo anual utilizado por operario y su costo. El costo del equipo por operario es afectado por la tasa de rentabilidad sobre el capital del trabajo.

Tabla 47. Equipo anual por operario

Pesos de junio de 2012

Ítem	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Pala	0,5	\$ 17.208	\$ 8.604
Rastrillo	1	\$ 15.285	\$ 15.285
Bolsas	936	\$ 80	\$ 74.880
Carreta	0,5	\$ 200.000	\$ 100.000
De			\$ 203.654

Fuente: Cálculos CRA

d) Relación eficiente de rendimiento por operario (τ_e)

De la información de rendimiento por operario solicitada, solo fue reportada para la ciudad Santa Marta y Cartagena, a partir de esta información se toma el valor de rendimiento de limpieza de playas con mayor eficiencia que corresponde a 55,8 km por semana/operario reportado para la ciudad de Santa Marta.

- **Limpieza de playas mecánica**

El costo de limpieza de playas mecánica, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CLP_{mecánica} = \left(\frac{(S_q * \theta) + K_b + F_b + M_b}{52,14 * \tau_q} \right) * (1 + \alpha)$$

Donde:

- S_q : Salario anual del conductor del equipo de limpieza mecánica de playas.
- θ : Factor de supervisión (se emplea el mismo valor de barrido manual).
- K_b : Costo anual equivalente de inversión del equipo de limpieza mecánica de playas y caja estacionaria.
- F_b : Costos fijos anuales del equipo de limpieza mecánica de playas.
- M_b : Costos variables anuales del equipo de limpieza mecánica de playas. (combustibles, aceites, llantas y otros de mantenimiento).
- τ_q : Relación eficiente de limpieza mecánica de playas (kilómetros de limpieza por equipo a la semana).
- 52,14 Número de semanas en un año.
- α : Factor de gastos administrativos.

a) Salario anual del conductor del equipo de limpieza mecánica de playas (S_q)

El salario mensual del conductor del equipo es de \$ 2.566.216 a pesos junio de 2012, como se presentó en el título 5.5 COSTOS LABORALES, el cual incluye la dotación del conductor de acuerdo con el requerimiento anual definido en el artículo 7 del Código Sustantivo y Procesal del Trabajo, Ley 11 de 1984, y se adiciona una dotación más en razón a que la condición propia del servicio que requiere que el trabajador pueda disponer de un uniforme limpio en forma permanente.

Cabe anotar, que para el cálculo de este salario se tiene en cuenta el factor de recargo nocturno considerando que esta actividad se realiza en la franja comprendida entre 8:00 pm y 5:00 am como se verificó en la inspección ocular que llevó a cabo la CRA a la actividad que realizan los prestadores de Santa Marta y Cartagena.

b) Costo anual equivalente de inversión del equipo de limpieza mecánica y caja estacionaria (K_b)

Se toma el valor de adquisición de un equipo de limpieza mecánica de playas, reportado por el prestador Interaseo Santa Marta, igual a USD \$171.893 que a pesos de junio 2012 equivalen a \$378.650.398. Se considera una vida útil de diez (10) años y se incluye en el costo una tasa de descuento del capital del 13,88%, por lo que el costo anual equivalente es de \$72.252.756,96 a pesos de junio de 2012.

Así mismo se reconoce la inversión en una caja estacionaria con capacidad de tres (3) yardas cúbicas (yd^3) para el almacenamiento temporal de los residuos recolectados con el equipo de limpieza mecánica de playas de playas. El valor de la caja estacionaria se determinó con cotizaciones de mercado en \$4.849.412, se consideró una vida útil de cinco (5) años y una tasa de descuento del 13,88%, dando como resultado un costo anual equivalente de \$ 1.408.482 a pesos de junio de 2012.

La tabla a continuación resume lo enunciado sobre los costos de inversión de la limpieza de playas mecánica.

Tabla 48. Costo inversión equivalente anual en limpieza de playas mecánica
Pesos a junio de 2012

Variable	Equipo de limpieza mecánica de playas	Caja Estacionaria
Valor de adquisición de un camión de 3,5 TM	\$ 378.650.398	\$ 4.849.412
Vida útil (años)	10	5
Tasa	13,88%	
K: Costos anual equivalente de inversión	\$ 72.252.757	\$ 1.408.482

Fuente: Cálculos CRA.

c) Costos fijos anuales del equipo de limpieza mecánica de playas (F_b)

La tabla que se presenta a continuación muestra los costos fijos, entre ellos los impuestos y los seguros, de un equipo de limpieza mecánica de playas. Se incluye un rubro de arrendamiento de los equipos, asociado al costo de los equipos adicionales que se requieren para llevar a cabo esquemas operativos especiales en las playas, como son la oxigenación con motoniveladora, el movimiento de arena con retroexcavadora o la recolección de material voluminoso con mini-cargador y volquetas.

Tabla 49. Costos fijos anuales de un equipo de limpieza mecánica de playas
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valores
Impuestos	2,50% del valor del vehículo	\$ 9.466.260
Seguros	7,85% del valor del vehículo	\$ 29.724.056
Lavado y limpieza		\$ 2.879.088
Arrendamiento de equipos		\$ 27.000.000
TOTAL (ajustado por KT)		\$ 70.766.837

Fuente: Cálculos CRA.

d) Costos variables anuales de un equipo de limpieza mecánica de playas (M_b)

Los costos variables anuales incluyen combustible, aceites, lubricantes y mantenimiento:

Tabla 50. Costo de variable anual de un equipo de limpieza mecánica de playas
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tasa	Valores
Gasto de ACPM anual	0,14 gal/km	\$ 16.653
Mantenimiento	10% del valor	\$ 38.349.981
TOTAL (ajustado por KT)		\$ 56.354.501

Fuente: Cálculos CRA.

El costo total de un equipo de limpieza mecánica de playas y la caja estacionaria de 3 yd³ corresponde a la suma de: ($K_b+F_b+M_b$), obteniendo un valor de \$200.782.577 a pesos de junio de 2012.

e) Relación eficiente de limpieza mecánica de playas (τ_q)

Se establece un turno nocturno de cinco (5) horas para seis (6) días a la semana, con una velocidad media de 10 km/h, el cual equivale a 300 km/ barredora a la semana

$$\tau_q = 300 \text{ km/ barredora} - \text{ semana}$$

- Costo máximo para la limpieza de playas**

Con los datos anteriores se llega a un costo promedio de limpieza mecánica de playas de \$15.001 a junio de 2012 y al de limpieza manual de playas de \$7.048 a pesos de junio de 2012, que incluye el factor de gastos administrativos del de 13.91% y el ajuste por el factor de rentabilidad al capital del trabajo del 2,46% que se aplica a los costos laborales, costos fijos y costos variables.

La ponderación entre la limpieza manual y mecánica, se determinó como el promedio del reporte de áreas atendidas con limpieza mecánica sobre áreas atendida con limpieza manual de los prestadores Promoambiental Caribe de Cartagena e Interaseo Santa Marta.

El valor obtenido con la ponderación se ajusta por el impuesto a las transacciones financieras del 4x1.000 y se obtiene un costo de \$ 10.789 en pesos a diciembre de 2014.

En resumen el costo máximo a remunerar por la actividad de playas se muestra a continuación:

Tabla 51. Costo máximo actividad de limpieza de playas

Proporción limpieza manual	64,3%
Proporción limpieza mecánica	35,7%
CLP Manual	\$ 7.048
CLP Mecánico	\$ 10.789
CLP \$ jun. de 2012	\$ 9.925
CLP \$ dic. de 2014	\$ 10.789

Fuente: Cálculos CRA.

6.4 COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE (CRT)

Para estimar el Costo de Recolección y Transporte (CRT), se parte de la necesidad de unificar los componentes de recolección y transporte y de tramo excedente, a partir de una función que dependiera de la distancia a recorrer desde el centroide hasta el sitio de disposición final y del tamaño del mercado en toneladas de residuos sólidos. De este modo, se elimina el concepto de costo de transporte por tramo excedente y, de la distancia como una constante de 20 km, a partir de la cual se ajustaba la remuneración en la Resolución CRA 351 de 2005.

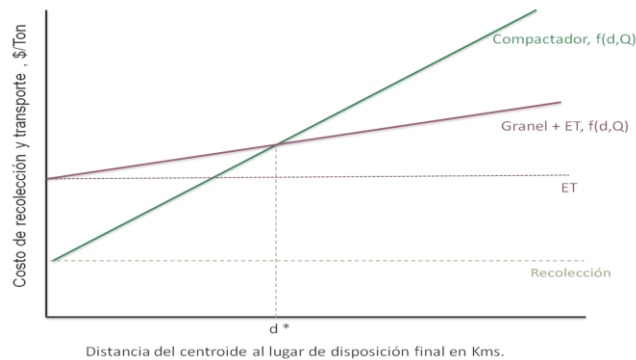
En el modelo desarrollado, la distancia de cada mercado al sitio de disposición es una variable de entrada, con lo cual es posible remunerar con mayor precisión el consumo de lubricantes, combustibles, repuestos y mantenimiento, entre otros. Así mismo, se propone remunerar el mínimo entre dos funciones construidas a partir de modelos parametrizados que representan dos opciones de prestación del servicio de recolección de residuos sólidos de forma eficiente.

La primera función, representa la actividad de recolección y transporte del servicio público de aseo realizada en un vehículo compactador con una capacidad media o capacidad equivalente de 21,3 yardas cúbicas (yd³) hasta el sitio de disposición final. La segunda función, refleja el costo de recolección con compactadores con las

mismas características de la primera función, transporte a granel mediante el uso de tracto-camiones con una capacidad de 26 toneladas para 5 ejes y 30 toneladas para 6 ejes e incluye el costo de construcción y operación de la estación de transferencia.

El punto en donde se intersectan las dos funciones para cada tamaño de mercado, es la distancia en la que para el prestador es costo-eficiente construir una estación de transferencia. La gráfica siguiente describe el comportamiento de las curvas. Se puede observar que el costo variable de transportar una tonelada en compactador es mayor al costo variable de hacerlo en transporte a granel, a partir de la distancia d^* .

Gráfica 6. Función de Costo de Recolección y Transporte por tonelada vs Distancia recorrida



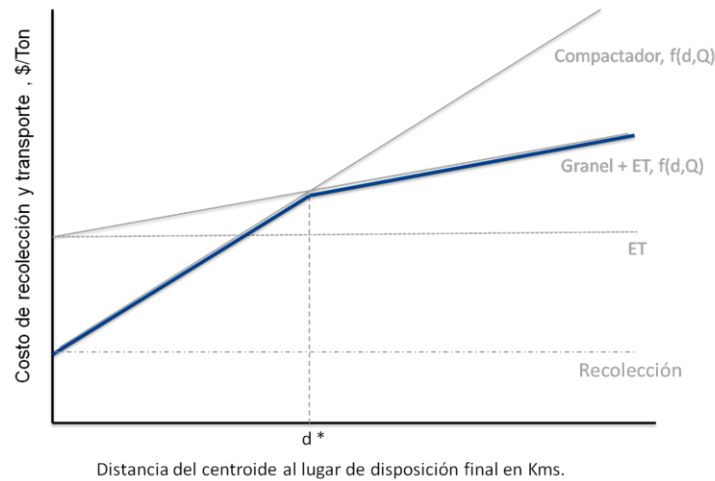
Fuente: Construcción CRA.

Se incluye en la presente metodología, el incentivo establecido por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio en el Decreto 920 del 8 de mayo de 2013, "Por el cual se reglamenta el artículo 251 de la Ley 1450 de 2011 en relación con el incentivo a los municipios donde se ubiquen rellenos sanitarios y estaciones de transferencia regionales para residuos sólidos". Tal valor se adicionará al costo de recolección y transporte establecido por la metodología desarrollada.

La gráfica a continuación ilustra la función de costos a remunerar en el Marco Tarifario de Aseo que resulta de la combinación de dos funciones. El punto d^* es la distancia a la que un prestador de un mercado Q , decide construir la estación de transferencia, debido a que a partir de ésta, la solución de mínimo costo es utilizar el transporte a granel y no en compactador⁴⁰.

Gráfica 7. Costo de Recolección y Transporte por tonelada remunerado

⁴⁰ Esta aproximación se tomó del Manual para de la agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos.



Fuente: Construcción CRA.

Construcción del modelo

La función se construye a partir de un modelo de ingeniería incorporando los costos en los que se incurre por concepto del transporte en camiones compactadores y el transporte en tracto-camiones o a granel, para diferentes distancias y tamaños de mercado. Posteriormente, se estima una función por mínimos cuadrados ordinarios⁴¹ que determina el costo de recolección y transporte de acuerdo con la distancia recorrida y el tamaño del mercado.

En cuanto a la caracterización de la flota, la CRA solicitó información a los prestadores del servicio, sobre los vehículos empleados para la actividad de recolección y transporte. A partir de esta información se estimó un vehículo con una capacidad media, que representa los vehículos compactadores de diferentes tamaños; el valor de adquisición fue calculado a partir de cotizaciones de camiones que cumplan las pruebas de emisiones Euro IV siguiendo las exigencias de la Resolución 1111 del 2013 expedida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible dicha resolución es “Por la cual se modifica la Resolución 910 de 2008”⁴².

En la tabla que se muestra a continuación, se encuentra el número de vehículos reportados por capacidad en yardas cúbicas. El valor de capacidad se calcula como un promedio ponderado de todos los vehículos reportados, obteniendo un vehículo con capacidad promedio de 21,3 yd³, el costo de adquisición de los vehículos compactadores es ajustado por los requerimientos de emisiones Euro IV y los impactos de la tasa representativa del mercado TRM de diciembre de 2014, lo que corresponde a un valor \$374.515.237 por vehículo a pesos de junio de 2012. Debe anotarse que la información asociada a los vehículos de cinco (5) yardas cúbicas (yd³) se excluye de los cálculos de los promedios.

Tabla 52. Capacidad media vehículo compactadores
Pesos de junio de 2012

Capacidad vehículo (yd ³)	Toneladas	Número de vehículos	Proporción de vehículos
5	204	1	0,2%
6	50	1	0,2%
7	2243	11	1,7%
8	8362	37	5,6%

⁴¹ Ver argumentos para elegir la estimación por mínimos cuadrados ordinarios al final de la sección “6.4.1.4 Estimación de las curvas”.

⁴² “Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.

9	149	5	0,8%
10	971	3	0,5%
13	1328	8	1,2%
14	4582	13	2,0%
16	37048	77	11,8%
17	7679	14	2,1%
18	8131	15	2,3%
20	27944	42	6,4%
21	10855	24	3,7%
25	284366	399	60,9%
28	4217	5	0,8%
Total	397.926	655	100,0%
Capacidad media			21,3yd³

Fuente: Encuestas a prestadores, cálculos CRA.

Para los vehículos de transporte a granel se determinó la capacidad con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad(ton)} = \text{PBV} - \text{Tara}$$

Donde:

PBV: Peso bruto vehicular.

Tara: Peso del vehículo vacío.

El PBV es tomado de la Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte, “por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional.” Modificada por la Resolución 1782 de 2009. Este dato para vehículos de cinco (5) ejes es de 48 toneladas y para vehículos de seis (6) ejes es 52 toneladas.

Por su parte, el peso del vehículo vacío se determinó en 22 toneladas, tanto para vehículos de 5 como de 6 ejes. Dado que, en lo relacionado a los vehículos de transporte a granel, se define la capacidad de carga máxima para dos tipos de tracto-camiones, de 5 y 6 ejes que se asocian respectivamente al segundo y primer segmento. Tal carga es estimada como la diferencia de dos variables: i) Peso Bruto Vehicular –PBV- y ii) Carga máxima de residuos. El dato PBV para vehículos de 5 ejes es 48 toneladas y para vehículos de 6 ejes es 52 toneladas. Por otra parte la carga máxima de residuos por tipo de vehículo se establece de acuerdo a lo reportado por el SUI; lo cual da como resultado se obtiene una capacidad máxima de carga de residuos de 26 toneladas para vehículos de 5 ejes y 30 toneladas para vehículos de 6 ejes.

Tabla 53. Capacidad vehículos tracto camión
Toneladas

Tipo Vehículo	Capacidad (Ton)	PBV	Tara
Tracto camión 5 ejes	26	48	22
Tracto camión 6 ejes	30	52	22

Fuente: Ministerio de Transporte, SUI, Cálculos CRA.

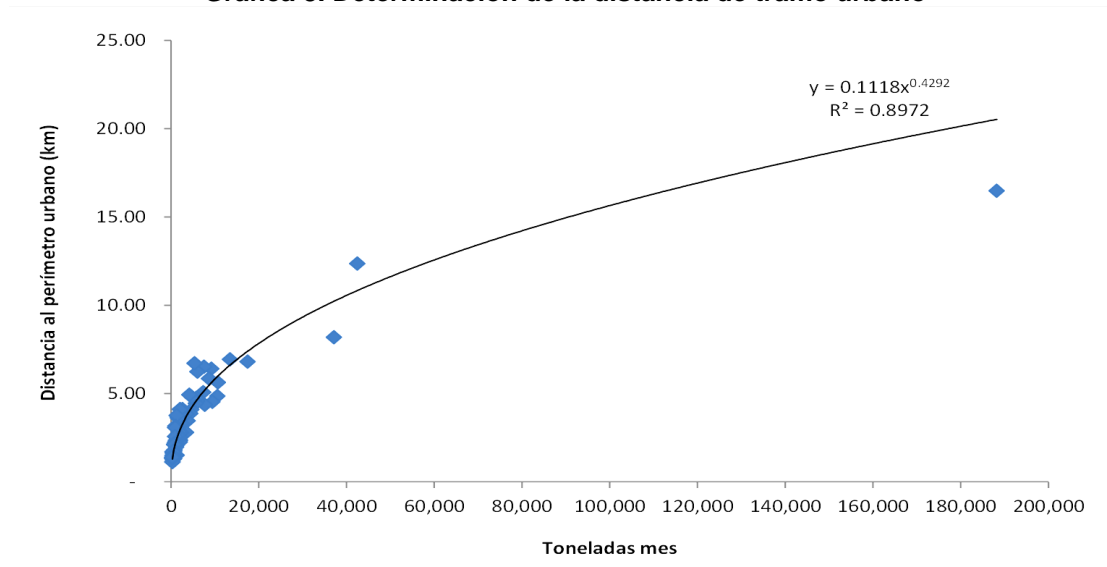
6.4.1 Estimación de tiempos

Para la estimación de los tiempos, es necesario primero calcular el recorrido que realiza el vehículo durante la recolección y transporte urbano.

El tiempo de recolección fue determinado a partir del reporte de información realizado por las empresas a CYDEP en el 2010, ponderando por el número de vehículos de cada capacidad (yd³), de acuerdo con lo establecido en la capacidad media, se obtiene el tiempo de recolección correspondiente a 4,17 horas.

Para determinar el tramo de transporte urbano, se estiman los kilómetros de viaje de recolección como una función que depende de la cantidad de toneladas a recoger; aunque el tamaño del mercado por sí solo no puede establecer la cantidad de kilómetros a recorrer, permite diferenciar valores por tipo de mercado en lugar de determinar un valor fijo. La función que calcula la distancia recorrida de recolección, fue construida a partir del área de 79 municipios en Colombia, repartiendo esta área dentro de un rectángulo⁴³ y suponiendo que el centroide está ubicado exactamente en la mitad del área, se puede determinar la distancia desde el centroide hasta el perímetro urbano en función de las toneladas de la siguiente forma.

Gráfica 8. Determinación de la distancia de tramo urbano



Fuente: SUI, Federación Nacional de Municipios, Cálculos CRA

Para continuar con los cálculos es necesario determinar la velocidad de cada una de las actividades recolección, transporte urbano y transporte en carretera. La velocidad de recolección se calcula a partir de la información recibida por CYDEP, la velocidad de transporte urbano, a partir del punto más crítico correspondiente a la velocidad media de cuatro ciudades⁴⁴ y la velocidad en carretera fue tomada del Ministerio de Transporte⁴⁵.

Tabla 54. Velocidades de recolección y transporte

Actividad	km/hora
Recolección	4
Transporte Tramo Urbano	26,29
Transporte Carretera	35

Fuente: Ministerio de Transporte, Alcaldía de Bogotá, CYDEP.

Una vez definida la velocidad, se pueden establecer los kilómetros recorridos por viaje durante la recolección multiplicando el tiempo de 4,17 horas por la velocidad de 4 km/h, obteniendo un valor de 17 km/viaje. El tiempo de transporte urbano se determina a partir de la distancia al perímetro urbano, con la función descrita anteriormente y la velocidad de 26,29 km/h.

⁴³ De acuerdo con la metodología descrita en el Anexo 7.

⁴⁴ Bogotá: Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá <http://www.movilidadbogota.gov.co/?pag=1284> (25km/hr); Bucaramanga: Secretaría de Infraestructura (29.16 km/hr); Cartagena: Cartagena Cómo Vamos, reporte segundo semestre 2008 (17 km/hr); y Medellín: Alcaldía de Medellín http://www.medellin.gov.co/transito/sistema_inteligente_movilidad.html.

⁴⁵ Caracterización del Transporte en Colombia Diagnostico y Proyectos de Transporte e Infraestructura, Ministerio de Transporte.

Con la distancia, se pueden determinar los tiempos necesarios para la actividad de recolección y transporte. La secuencia es establecer el tiempo de recolección, el tiempo de transporte urbano (ida y regreso), el tiempo de transporte en carretera (ida y regreso), tiempo en el sitio de descarga, el tiempo de transferencia (si aplica) y el tiempo de alistamiento (1,26 h) donde la cuadrilla debe hacer entrega del vehículo lavado y con combustible. La estimación de tiempos depende del mercado (toneladas/mes) y de la distancia desde el centroide al sitio de disposición final, a modo de ejemplo las tablas a continuación muestran la longitud de recolección y transporte y la estimación de tiempos para un mercado de 20.000 toneladas y 20 km al sitio de disposición final, tanto para la función 1 (recolección y transporte en vehículo compactador) como para la función 2 (recolección en vehículo compactador y transporte a granel en tracto camión).

Tabla 55 Longitud de recolección y transporte*

Ítem	Unidad	F1	F2 (recolección)	F2 (transporte)
Longitud en recolección	km	17	17	
Tramo transporte urbano	km	8	8	
Tramo transporte carretera	km	12		12
Tramo transporte total	km	20	8	12
Distancia al relleno sanitario (D)	km	20		20

Fuente: Cálculos CRA

*Estimación para 20.000 toneladas mes y 20 kilómetros al relleno sanitario

Tabla 56. Estimación de tiempos*

Ítem	Unidad	F1	F2 (recolección)	F2 (transporte)
Tiempo recolección	Horas	4,2	4,2	
Tiempo en transporte urbano	Horas	0,6	0,6	
Tiempo en transporte carretera	Horas	0,7		0,7
Tiempo en sitio de descarga	Horas	0,4		0,4
Tiempo de alistamiento	Horas	1,26	1,26	1,26
Tiempo de transferencia	Horas		0,70	2,19
Tiempo total de cada viaje	Horas	7,1	6,7	4,5

Fuente: Cálculos CRA

*Estimación para 20.000 toneladas mes y 20 kilómetros al relleno sanitario.

6.4.2 Estimación de recursos

La estimación de recursos permite establecer el número de vehículos y la cantidad de cuadrillas necesarias para cada mercado, mediante la combinación de toneladas mes y distancia al relleno sanitario. Para ello, primero se debe calcular el número de viajes totales al mes:

$$\text{Número de viajes mes (Vj/mes)} = \frac{\text{tamaño de mercado}}{\text{capacidad media de los vehículos}}$$

Posteriormente, el número de turnos por día y los viajes posibles en cada turno para calcular el número de vehículos. Los turnos se calculan suponiendo una operación diurna de dos turnos (16 h) y el tiempo total de cada viaje; en caso en que el resultado sea fracciones de turno, se establece el mayor entero al final de los cálculos de número de vehículos completos, número de motocicletas y cuadrillas requeridas al mes.

$$\text{Turnos diurnos posibles} = \frac{16}{\text{Tiempo total de cada viaje}}$$

Una vez determinada la cantidad de turnos posibles, se calculan los viajes que puede realizar una cuadrilla en cada turno, suponiendo que un turno como máximo puede durar 10 horas (8 horas de turno más 2 horas extra).

$$\text{Viajes por turno} = \frac{10}{\text{tiempo total de cada viaje}}$$

Nuevamente, en caso en que los viajes por turno de como resultado fracciones de viaje, se establece el mayor entero al final de los cálculos de número de vehículos completos, número de motocicletas y cuadrillas requeridas al mes.

Una vez determinados los turnos posibles y los viajes por turno posibles, se puede calcular el número de vehículos requeridos, con una operación de 26 días al mes y un 10% de vehículos de respaldo. En números enteros se toma el mayor entero con el propósito de no dejar fracciones de vehículos:

$$\text{Vehículos requeridos} = \frac{(\text{número de viajes mes} / 26)}{(\text{Turnos completos} * \text{viajes por turnos posibles})} * (1 + 10\%)$$

A partir de la cantidad de vehículos necesarios, sin los vehículos de respaldo, se puede determinar la cantidad de cuadrillas necesarias, el resultado se toma como el mayor entero, debido a que no es posible fraccionar el número de cuadrillas:

$$\text{Cuadrillas de recolección y transporte} = (\text{vehículos requeridos} * \text{turnos completos})$$

6.4.3 Estimación de costos

El costo total de recolección y transporte es la suma de los costos fijos, los costos variables y los costos administrativos. A continuación se detalla el cálculo y los componentes de cada uno. Adicionalmente, en los costos fijos se incluye la tecnología mínima y las motocicleta/s requeridas para la supervisión de cada vehículo y el reporte en línea de la información del servicio, tanto para los vehículos como a la entrada del relleno sanitario.

a) Costos variables de recolección y transporte

Los costos variables son aquellos que dependen del consumo de los insumos necesarios para la operación del vehículo y dependen de la distancia recorrida, por lo cual se encuentran expresados en \$/km. Estos costos incluyen el consumo de combustibles, llantas, lubricantes, filtros, mantenimientos, reparaciones, lavado e imprevistos.

Es importante aclarar que dentro de los costos de reparaciones se incluyen los costos de: reparación de motores mecánicos y electrónicos, reparación de sistemas de transmisiones y caja, reparación de sistemas de dirección, reparación de sistemas de suspensión, reparación de sistemas de inyección, reparación caja de velocidades, frenos, reparación y mantenimiento tráiler, rodamiento, inyección y latonería y pintura. Por tanto todos los costos asociados a reparaciones de motor y chasis están incluidos dentro de los costos variables por kilómetros.

De esta forma, se ajustó el cálculo de los costos asociados al mantenimiento de acuerdo con lo establecido en la Resolución CRA 351 de 2005 al 10% sobre el valor de la inversión que integra, aceite, lubricantes, llantas y mantenimiento; asimismo, para estos costos se está generando un factor de ajuste del 20% más para el tramo de recolección evidenciado en el (1,2) y que fue calculado mediante 3 ejercicios de ruteo con distinta composición de manzanas para analizar el porcentaje de recorridos improductivos y con lo que se obtuvo que en promedio el recorrido improductivo del recorrido corresponde al 17,6% del total del recorrido, razón por la cual se toma el 20% como un aproximado para incluir adicionalmente en los costos variables de la flota del servicio público de aseo. Adicionalmente, no se reconoce un costo extra asociado a la repotenciación del vehículo por dos razones; i) El 10% de mantenimiento y posibles reparaciones ya lo contempla y ii) El valor de la vida útil se redujo de 8,88 años a 6 años.

Los costos variables por kilómetro fueron determinados a partir del informe “Estructura de costos de operación vehicular 2006” del Ministerio de Transporte. Debido a que los costos están en pesos de 2006, fue necesario en primera instancia, actualizar los costos a pesos de junio de 2012. Los rubros diferentes al costo de combustible fueron actualizados con la variación del IPC, mientras que los costos de combustible fueron actualizados con el ICFO.

A partir de los costos actualizados, se establece una relación lineal entre las capacidades de los vehículos del informe del Ministerio de Transporte y la capacidad del vehículo de recolección y los vehículos tractocamiones y de esta forma, determinar los costos variables por kilómetro del modelo.

Para calcular con mayor precisión los costos en los que se incurre por efectos de la recolección y el transporte, es importante determinar la composición de las vías en Colombia diferenciando por recolección y transporte, de la siguiente forma:

Tabla 57. Composición de las vías

Tipo de terreno	Recolección y transporte urbano	Transporte en carretera
Plano	65%	48%
Ondulado	13%	29%
Montañoso	22%	23%

Fuente: Estudio Diseño de Regulación Tarifaria, Ministerio de Transporte

Los valores por tipo de terreno para el caso de recolección y transporte urbano se toman del análisis realizado por la CRA, que se presenta en el Anexo 6; para la distribución de transporte en carretera se toman los valores del “Diagnóstico del Transporte 2011” del Ministerio de Transporte.

Con la composición de las vías se ponderan los costos variables (\$/km) por la distribución de las vías, de esta forma resulta un costo variable por kilómetro de vía urbana y un costo variable por kilómetro de transporte en carretera. Adicionalmente, por efectos de costos adicionales resultantes del microrroteo los costos variables de recolección se incrementan en un 20%⁴⁶. Las tablas a continuación muestran los costos de recolección y transporte en vehículo recolector y los costos de transporte en tracto camión.

Tabla 58. Costos variables: pesos por kilómetro
Pesos de junio de 2012

Costos Variables	Recolección y transporte	Tracto camión 30 toneladas	Tracto camión 26 toneladas
Transporte urbano vacío	2.959	4.052	3.512
Recolección	3.550		
Transporte urbano al relleno	2.959	4.052	3.512
Transporte por carretera ida lleno	3.033	4.153	3.599
Transporte por carretera regreso vacío	3.033	4.153	3.599
Transporte urbano regreso vacío	2.959	4.052	3.512

Fuente: Cálculos CRA

Una vez estimados los costos variables por kilómetro, se calculan los costos variables mensuales a partir del número de viajes al mes, la longitud de cada tramo y los costos por kilómetro, de la siguiente forma, donde i corresponde a un tramo específico (recolección, transporte urbano, transporte carretera):

$$Costo\ variable_i = \left[\text{Número de viajes mes} \left(\frac{V_j}{mes} \right) * distancia\ recorrida_i (km) \right] * \left[Costo\ por\ kilómetro_i \left(\frac{\$}{km} \right) \right]$$

⁴⁶ Cálculos CRA que se encuentran en el Anexo 8 de este documento.

Continuando con el ejemplo propuesto anteriormente, 20.000 toneladas mes y 20 kilómetros desde el centroide hasta el sitio de disposición final, se presentan en la tabla a continuación los costos variables:

Tabla 59. Costos mensuales variables totales*
Pesos de junio de 2012

Rubro	F1	F2 (recolección)	F2 (transporte)
Recolección	123.560.693	123.560.693	
Transporte urbano vacío	48.456.559	48.456.559	
Transporte urbano lleno	48.456.559	48.456.559	
Transporte por carretera ida lleno	77.006.338		29.172.415
Transporte por carretera regreso vacío	77.006.338		29.172.415
Transporte urbano regreso vacío	48.456.559	48.456.559	
Costos variables motocicleta	3.929.134	3.929.134	

Fuente: Cálculos CRA.

*Estimación para 20.000 toneladas mes y 20 kilómetros al relleno sanitario.

b) Costos de personal

El cálculo de los costos de personal corresponde al modelo descrito en el título 5.5 COSTOS LABORALES. El costo total de personal se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de personal} = (\text{Costo cuadrilla mes} * \text{número cuadrillas requeridas mes}) * (1 + \text{rendimiento KT})$$

Donde el costo cuadrilla mes incluye las prestaciones sociales como auxilio de transporte, recargo horas extras y festivos, parafiscales, pensión, ARL, cesantías, intereses de cesantías, prima de servicios, vacaciones, más la dotación, el factor de capacitación, bienestar y salud ocupacional y el factor de suplencia laboral.

Sin embargo y dadas las observaciones de participación ciudadana se ajustó el factor de días festivos y horas extras se secciona, se reconocen un 4,31% de salario adicional para días festivos y 3,68% para horas extras aplicado a los días en que tiene que realizar una operación más extensa por una mayor producción; esta estimación puede verse en detalle en título 5.5 COSTOS LABORALES del presente documento de trabajo.

c) Costos fijos y de inversión

Los costos fijos corresponden a impuestos, seguros, comunicaciones, revisión técnico mecánica y extintor. Los costos de inversión corresponden a la adquisición de vehículos, identificación de vehículos, adquisición en tecnología GPS y base de operaciones.

Los costos de impuestos y seguros corresponden a porcentajes del valor de adquisición de los vehículos, que se determinaron en 0,5% y 10% respectivamente, de acuerdo con los valores relacionados por el Ministerio de Transporte. Los costos de comunicación corresponden a un plan móvil de datos y de voz, y los costos de revisión técnico mecánica y extintor se incluyeron como una provisión mensual, partiendo de los precios obtenidos con cotizaciones de mercado.

Asimismo, los costos de impuestos y seguros para la motocicleta se establecieron en 2.50% y 7.85%, respectivamente, se incluye adicionalmente para este equipo equipos de comunicaciones y plan móvil de datos tomando como referente la Resolución CRA 351 de 2005.

Tabla 60. Costos fijos mensuales por vehículo
Pesos de junio de 2012

Concepto	Tipo de vehículo		
	Compactador	Tracto camión	Tracto camión

		26 ton	30 ton
Impuestos (0,5%)	\$ 157.298	\$ 190.426	\$ 207.284
Seguros (10%)	\$ 3.145.960	\$ 3.808.512	\$ 4.145.683
Comunicaciones (plan móvil de datos y voz)	\$ 112.500	\$ 112.500	\$ 112.500
Revisión técnico mecánica	\$ 7.233	\$ 8.983	\$ 8.983
Extintor	\$ 4.876	\$ 4.876	\$ 4.876
Costos Fijos Totales Mes/Vehículo	\$ 3.427.868	\$ 4.125.298	\$ 4.479.327

Fuente: Ministerio de Transporte, Cálculos CRA.

Respecto a la inversión de los vehículos compactadores corresponde a un promedio de tres cotizaciones de mercado entregadas a esta Comisión a precios de mayo de 2015 remitidas a la entidad, deflactadas por IPCC a pesos de junio de 2012.

En el caso de los vehículos de transporte a granel, se obtiene su costo de cotizaciones de diferentes comercializadores y además dichos equipos cuentan con equipos de descargue automático de los residuos para facilitar la operación. Se incluyen adicionalmente los costos de identificación, pintura de vehículos y de comunicación que incluyen el Chip ibutton, computador, software y GPS que se calcularon de acuerdo al promedio de los costos del mercado. En este sentido, se calculan los costos de inversión total por vehículo, como lo muestra la tabla a continuación:

Tabla 61. Costo de inversión por vehículo
Pesos de junio de 2012

Rubro	Compactador	Tracto camión 26 ton	Tracto camión 30 ton
Inversión inicial	\$ 374.515.237	\$ 454.021.482	\$ 494.481.914
Costo de identificación vehículos	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Costo de tecnología (GPS)	\$ 7.212.000	\$ 7.212.000	\$ 7.212.000
Inversión total	\$ 384.727.237	\$ 464.233.482	\$ 504.693914

Fuente: Cálculos CRA.

Es importante precisar que la repotenciación de los vehículos no ha sido incluida en las funciones de compactador y de granel, bajo el criterio que la modelación de los costos se ha diseñado para un período de al menos seis (6) años y corresponde a decisiones empresariales del prestador hacer una repotenciación o reposición de los vehículos una vez se agote la vida útil de los mismos. Adicionalmente el 10% del valor de la inversión destinado a mantenimiento contiene las reparaciones mayores de estos equipos.

Al respecto, la vida útil constituye un parámetro de entrada que permite determinar mediante un modelo parametrizado los costos eficientes de la prestación del servicio en un mercado promedio.

Para el caso de los compactadores se emplea una vida útil de 6 años, este parámetro se encuentra al tomar las horas de vida útil de los vehículos otorgados por la ficha técnica del fabricante, equivalente a 30.000 horas por cualquier tipo de compactador. Los seis años se obtienen de dividir las 30.000 horas sobre dos turnos diarios de 8 horas cada uno, multiplicado por 26 días al mes por 12 meses al año, que da en total 4.992 horas al año de operación de cada camión. Y las 30.000 horas de vida útil equivalen a 6,009 años, dato que se toma como la vida útil promedio para los vehículos compactadores. De manera similar, la vida útil manejada para los vehículos de granel es de ocho (8) años y sigue los lineamientos establecidos en la Resolución CRA 351 de 2005.

Por otra parte, la tecnología es abordada con una vida útil de 3,75 años calculada con base en las directrices del Estatuto Tributario Colombiano que establece en el artículo 140, el cual establece la posibilidad de realizar una depreciación acelerada de los activos en 25% de alícuota adicional, por cada turno superior a 8 horas diarias.

d) Costo de transferencia

Para la estructuración de los costos de transferencia se utilizaron modelos de ingeniería a partir del precio de los predios por hectárea de las estaciones de transferencia de Interaseo en Palmaseca – Valle del Cauca y en Sabaneta- Antioquia, que representan una tecnología de referencia.

Se definen los costos para tres tamaños de estación de transferencia, con capacidad instalada diferente: ET1 con capacidad de 65.000 toneladas mensuales, ET2 con capacidad de 11.648 toneladas mensuales y ET3 con capacidad de 3.000 toneladas mensuales.

La metodología establece un costo por tonelada y a pesar de que el modelo establece tres (3) tamaños diferentes, se construye un techo variable con el fin de que existan otros tamaños de estaciones de transferencia diferentes, arrojando un valor por tonelada. Es importante resaltar que los costos asociados a la inversión y operación de la estación de transferencia son incluidos dentro de los costos por tonelada de la segunda función.

A continuación se detallan los costos de inversión de capital para cada uno de los tres tamaños de estación de transferencia, a partir de una vida útil de 20 años y un porcentaje por Administración, Imprevistos y Utilidad (AIU) de 18%.

Tabla 62. Costos de capital estación de transferencia
Pesos de junio de 2012

Ítem	ET 1	ET 2	ET 3
Predio	\$ 13.186.118.093	\$ 3.068.672.183	\$ 1.152.606.314
Adecuación vías de acceso	\$ 1.191.598.652	\$ 867.968.402	\$ 268.141.384
Vías internas y patios de maniobra	\$ 612.180.411	\$ 106.960.161	\$ 17.846.502
Estación de transferencia costo de construcción	\$ 8.099.881.119	\$ 1.446.660.368	\$ 372.594.531
Áreas de control ambiental	\$ 847.698	\$ 266.561	\$ 236.125
Área de almacenamiento temporal	\$ 1.656.537.620	\$ 334.452.737	\$ 86.139.956
Cerramiento.	\$ 34.798.199	\$ 14.924.133	\$ 7.852.445
Edificios administrativos y servicios generales	\$ 474.301.488	\$ 110.493.275	\$ 28.458.089
Postes de alumbrado	\$ 143.217.315	\$ 45.557.361	\$ 23.036.075
Red de alumbrado	\$ 27.302.706	\$ 8.579.204	\$ 4.338.073
Minicargador	\$ 143.000.000	\$ 143.000.000	\$ 143.000.000
Lavado de Trailer	\$ 140.000.000	\$ 140.000.000	\$ 140.000.000
Brazo Hidráulico	\$ 234.000.000		
Extractor de gases	\$ 56.896.490		
Báscula y equipo de registro de entrada y pesaje	\$ 69.657.266	\$ 69.657.266	\$ 69.657.266
Planta de energía eléctrica	\$ 414.700.000	\$ 110.586.667	\$ 110.586.667
Red de acueducto	\$ 73.699.629	\$ 36.849.814	\$ 22.109.889
Red de alcantarillado	\$ 99.944.096	\$ 49.972.048	\$ 20.930.931
Control de olores	\$ 241.273.193	\$ 73.120.240	\$ 73.120.240
Pozo séptico	\$ 644.127	\$ 644.127	\$ 422.975
Sistema de recolección y almacenamiento de lixiviados. Carro tanque	\$ 314.542.008	\$ 157.271.004	\$ 157.271.004
Tanque almacenamiento lixiviados (10000 L)	\$ 4.512.284	\$ 4.512.284	\$ 4.512.284
Pozos de monitoreo	\$ 1.298.446	\$ 1.298.446	\$ 1.298.446
Hidrolavadora	\$ 15.660.000	\$ 10.440.000	\$ 5.220.000
Total costos de inversión	\$ 27.236.610.838	\$ 6.801.886.278	\$ 2.709.379.196

Fuente: Construdata, Cálculos CRA.

De igual forma, los costos de operación a continuación se detallan los costos de operación anual:

Tabla 63. Costos de operación estación de transferencia
Pesos de junio de 2012

Rubro	ET 1	ET 2	ET 3
Mantenimiento y operación (25% costo de capital)	\$ 1.213.724.853	\$ 300.867.698	\$ 119.843.915
Personal	\$ 384.025.209	\$ 287.401.622	\$ 185.749.889
Combustible carro tanque	\$ 12.115.019,79	\$ 6.057.510	\$ 6.057.510
Subtotal	\$ 1.609.865.082	\$ 594.326.830	\$ 311.651.314
Administración	\$ 162.596.373	\$ 74.290.854	\$ 42.072.927
Total costos de operación anual	\$ 1.772.461.455	\$ 668.617.683	\$ 353.724.241

Fuente: Construdata, Cálculos CRA.

Los resultados de los modelos de ingeniería parametrizados son los siguientes:

- Costo operativo por tonelada de ET1: \$8.133/tonelada (pesos de junio de 2012)
- Costo operativo por tonelada de ET2: \$12.890/tonelada (pesos de junio de 2012)
- Costo operativo por tonelada de ET3: \$22.363/tonelada (pesos de junio de 2012)

Estos datos constituyen la base del cálculo de la función que soporta el costo máximo de transferencia. Se ha asumido que las economías de escala de una estación de transferencia se producen por un costo fijo de inversiones, por lo que el costo total operativo bajo una misma tecnología es una función lineal de las toneladas de transferencia, que corta el eje vertical (en este caso el costo) en un punto igual a dicho costo fijo. Así, el costo operativo por tonelada, es una función de la forma:

$$\text{Costo operativo} = a + \left(\frac{b}{\text{Toneladas día}} \right)$$

Se estimó esta función a partir de dos puntos: uno, ET2 con 448 toneladas/día y un costo por tonelada de \$12.890 y, dos, ET1 con 2.500 toneladas/día y un costo de \$8.133. Con estos dos puntos se plantean las siguientes ecuaciones:

$$ET_1 = a + (b/T_1) \quad \$8.133 = a + b/2.500 \quad (1)$$

$$ET_2 = a + (b/T_2) \quad \$12.890 = a + b/448 \quad (2)$$

Igualando (1) y (2) y despejando a y b, se obtiene:

$$a = 7.094$$

$$b = 2.596.593$$

De forma similar se puede correr un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios en el programa de Stata que da resultado la siguiente función a pesos de diciembre de 2014:

$$\min \left\{ \$23.692 ; \left(\$7.516 + \frac{\$2.750.930}{\overline{Qag}} \right) \right\}$$

Donde:

\overline{Qag} : Toneladas por mes recibidas en la estación de transferencia, calculadas como el promedio de los últimos seis (6) meses (toneladas/mes).

De esta forma se obtiene un precio máximo variable que refleja economías de escala; la gráfica 13 muestra que a medida que la estación de transferencia tiene una mayor capacidad, el costo por tonelada disminuye.

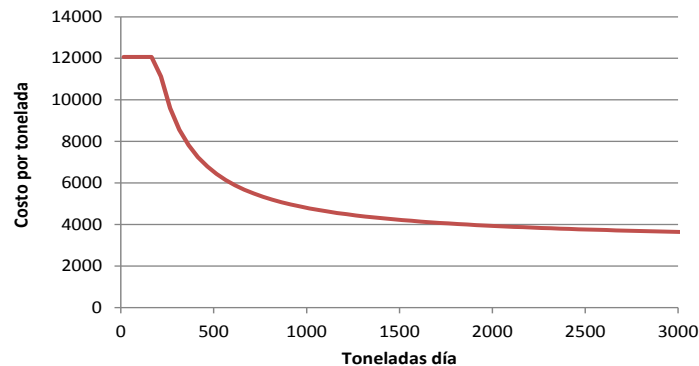
Es pertinente precisar que el modelo de CRT definido en la función dos (F2) no tiene por objeto incentivar la construcción de estaciones de transferencia, ya que esta actividad solo es eficiente cuando la distancia al

relleno sanitaria hace esencial su construcción y que hace parte de una solución integral del transporte eficiente de los residuos para determinados mercados y distancias.

Adicionalmente dado el proceso de participación ciudadana se modificaron los siguientes componentes: precio de los terrenos, inclusión de algunos equipos y solicitud de ajuste del personal de acuerdo a la inclusión de estos nuevos equipos. Los resultados son los siguientes:

- Se incluye el lavado de Trailer, el Brazo hidráulico y el Extractor de gases para la ET 1 (65.000 Toneladas- mes) y el lavado de tráiler para las ET 2 (11.648 Toneladas-mes) y ET 3 (3.000 Toneladas-mes).
- Se ajusta el valor del predio de acuerdo a la información disponible de las estaciones de Sabaneta en Antioquia y Palmaseca en el Valle del Cauca, que se encuentran actualmente en funcionamiento.
- Se incluyen los costos de personal asociados a los nuevos equipos incluidos.

Gráfica 9. Costo estación de transferencia (Pesos de junio de 2012/tonelada)



Fuente: Cálculos CRA.

6.4.4 Estimación de las curvas

El costo total de recolección y transporte será la suma de los costos variables, de personal, fijos, de inversión y transferencia para el caso de la segunda función, afectado por el factor de gastos administrativos descrito en la sección 5.3, el esquema de rentabilidad descrito en la sección 5.2 y sumado el gravamen a las transacciones financieras (4x1.000), se obtiene un costo por tonelada para cada una de las dos funciones.

A partir del modelo descrito anteriormente, se ha obtenido una función de costos de ingeniería. Para los componentes del proceso, se han calculado costos eficientes técnicamente, considerando determinantes como distancias recorridas para prestar el servicio y cantidades recogidas; este segundo elemento, niveles de producción, recoge características de economías de escala presentes en la prestación del servicio.

Para la estimación de las curvas se encontró que podría existir una desviación estándar muy alta en la variable distancia, por tanto se buscó el modelo que minimizara la desviación estándar. La función uno fue estimada con datos de distancias al relleno hasta 65 kilómetros⁴⁷, lo que permite un mayor ajuste del modelo en cuanto a la dispersión de los datos.

Tabla 64. Estimación Costo de Recolección y Transporte: Función uno

⁴⁷ El modelo también fue estimado con distancias hasta 30 kilómetros y hasta 100 kilómetros, pero para todos estos casos se obtuvo una desviación estándar superior en los coeficientes de las variables distancia y toneladas.

Source	SS	df	MS			
Model	3.2134e+11	2	1.6067e+11	Number of obs =	1521	
Residual	2.4785e+10	1518	16327533.2	F(2, 1518) =	9840.45	
				Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9284	
				Adj R-squared =	0.9283	
				Root MSE =	4040.7	
Total	3.4613e+11	1520	227714382			

crt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
d	696.234	5.538111	125.72	0.000	685.3708	707.0972
q_prime	819.665	13.16542	62.26	0.000	793.8407	845.4894
_cons	61112.14	224.2453	272.52	0.000	60672.28	61552

Fuente: Cálculos CRA

De la misma forma, se realizó el ejercicio con la estimación de la función dos. En este caso la mejor muestra es con datos desde 40 km⁴⁸ de distancia hasta 100km, disminuyendo la desviación estándar.

Tabla 65. Estimación Costo de Recolección y Transporte: Función dos

Source	SS	df	MS			
Model	5.7014e+11	2	2.8507e+11	Number of obs =	1521	
Residual	1.3910e+10	1518	9163677.88	F(2, 1518) =	31108.64	
				Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9762	
				Adj R-squared =	0.9762	
				Root MSE =	3027.2	
Total	5.8405e+11	1520	384243088			

crt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
d	262.5527	4.148932	63.28	0.000	254.4145	270.691
q_prime	2379.677	9.863007	241.27	0.000	2360.331	2399.024
_cons	82895.91	302.4609	274.07	0.000	82302.63	83489.2

Fuente: Cálculos CRA.

En resumen, se obtienen las siguientes dos funciones, expresadas a pesos de diciembre de 2014:

$$f_1 = 64.745 + 738 * D + \left(\frac{8.683.846}{QRT} \right)$$

⁴⁸ La función estimada con distancias desde 5 kilómetros hasta 100 kilómetros presenta una desviación estándar similar en la variable distancia pero en la variable toneladas la desviación es significativamente superior y el R2 es más bajo.

$$f_2 = 87.823 + 278 * D + \left(\frac{25.211.213}{\overline{QRT}} \right)$$

Donde:

D: Distancia desde el centroide hasta el sitio de disposición final (km). Cada kilómetro de vía despavimentada equivaldrá a 1,25 kilómetros de vía pavimentada.

\overline{QRT} : Promedio de toneladas mensuales recolectadas y transportadas en el APS de la persona prestadora *j*, de los últimos seis (6) meses (toneladas/mes).

Tabla 66. Estimación Granel: Función dos

Source	SS	df	MS			
Model	5.9443e+11	2	2.9722e+11	Number of obs =	1521	
Residual	1.7719e+10	1518	11672689.7	F(2, 1518) =	25462.59	
Total	6.1215e+11	1520	402732177	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9711	
				Adj R-squared =	0.9710	
				Root MSE =	3416.5	

crt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
d	263.2092	4.682598	56.21	0.000	254.0241	272.3942
q_prime	2432.862	11.13166	218.55	0.000	2411.027	2454.697
_cons	17412.42	341.3657	51.01	0.000	16742.82	18082.02

Fuente: Cálculos CRA.

En los casos en que existan prestadores que utilicen una misma estación de transferencia y para los que f_2 resulte ser la función de mínimo costo de CRT, el costo que corresponde a la actividad de transferencia y transporte a granel hasta el sitio de disposición final se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula a precios de diciembre de 2014:

$$CEG = \underbrace{\text{Min} \left\{ 23.692; 7.516 + \frac{2.750.930}{\overline{Qag}} \right\}}_{\text{Estación de transferencia}} + \underbrace{18.447 + 279 * \overline{Det} + \frac{25.774.675}{\overline{Qag}}}_{\text{Transporte a granel}} + PRTg$$

Donde:

CEG: Costo de estación de transferencia y transporte a granel (pesos de diciembre de 2014)

\overline{Det} : Distancia desde la estación de transferencia al sitio de disposición final (km). Cada kilómetro de vía despavimentada equivaldrá a 1,25 kilómetros de vía pavimentada.

\overline{Qag} : Toneladas por mes recibidas en la estación de transferencia, calculadas como el promedio de los últimos seis (6) meses (toneladas/mes).

PRTg: Suma de los peajes por mes que paga el vehículo de transporte a granel en su recorrido de ida y vuelta (pesos/tonelada-mes).

De acuerdo con los costos de recolección y transporte encontrados en el modelo de optimización para diferentes mercados y distancias, se estima por mínimos cuadrados ordinarios las funciones descritas en la metodología. Se establece que el costo de recolección y transporte está dado por:

$$CRT = \text{MIN}(f_1, f_2) + PRT$$

Donde:

CRT: Costo de Recolección y Transporte de los residuos sólidos (pesos/tonelada-mes)

PRT: Suma de los peajes por mes que paga el vehículo en su recorrido de ida y vuelta (pesos de diciembre de 2014/tonelada-mes). Se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$PRT = CPE / (\overline{QRT})$$

Donde:

CPE: Valor por mes de los peajes de ida y vuelta, ubicados en el en el trayecto entre el centroide del área de prestación y la entrada del sitio de disposición final (pesos de diciembre de 2014/mes).

\overline{QRT} : Promedio de toneladas recolectadas y transportadas del semestre que corresponda (toneladas/mes)

La función de costo obtenida tiene por objeto establecer una metodología rigurosa y de aplicación sencilla por parte de los prestadores para encontrar los costos que se les reconocerán, para esto:

- i. Se ha realizado una regresión determinística lineal que ajusta a tres parámetros los resultados de los cálculos: los parámetros están asociados a distancia y cantidades recogidas.
- ii. Los resultados de la regresión permitirán que el prestador encuentre sus costos, para ello, utilizará los valores de los estimadores y su datos propios sobre distancias y cantidades producidas.
- iii. La regresión se ha realizado mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), suponiendo que los datos no presentan ni autocorrelación ni heterocedasticidad. Ahora bien, dado que la regresión es determinística, no contiene un término de error. En consecuencia, no puede hablarse de autocorrelación, la cual existe si las variables del lado derecho de la ecuación están correlacionadas con el error. Por otra parte, en cuanto a heterocedasticidad, la construcción de los componentes de costo controló la varianza de variables como Distancias y Cantidades.
- iv. La regresión por MCO debe arrojar un R^2 alto porque está recogiendo los datos que sirvieron para construir los Costos. En efecto, su valor es muy cercano a uno, no es uno, porque MCO es una regresión lineal y en los cálculos iniciales de los componentes de los costos pueden existir algunas no linealidades.

6.4.5 Descuento al CRT por antigüedad de los vehículos

Para las personas prestadoras que operen un (1) turno diario de recolección y su flota de vehículos compactadores tenga en promedio una antigüedad mayor a los 12 años, aplicarán un descuento en el CRT del 2% por cada año que supere dicho parámetro. En caso que las personas prestadoras operen en dos (2) o más turnos diarios de recolección, aplicarán un descuento en el CRT del 2% por cada año cuando el promedio de la antigüedad de los vehículos compactadores supere los 6 años desde la fecha de su compra, de acuerdo con el siguiente descuento:

$$Des CRT = 0,002 * t$$

Donde:

t: Número de años en que se supera la vida útil reconocida para cada turno.

6.4.6 Factor de salinidad

Para calcular el incremento en el costo de recolección y transporte de residuos para ciudades costeras se modeló el CRT de las ciudades costeras, de la misma forma en que se modeló el CRT para las demás ciudades, teniendo en cuenta una reducción en la vida útil de 10,74%⁴⁹ de los vehículos de recolección.

Se calculó el CRT para cada una de las siguientes ciudades y se calcularon las funciones uno y dos, disminuyendo la vida útil de los vehículos en 10,74%; realizando un promedio ponderado por toneladas se obtiene un incremento de 1,97 % sobre el costo de recolección y transporte.

Tabla 67. Factor de Salinidad
Pesos de junio de 2012

Municipio	Ton/mes	Distancia (km)	CRT Estimado	CRT costas	Diferencia
Buenaventura	4.793	11	\$ 70.481	\$ 71.901	2,01%
Cartagena	17.098	21	\$ 76.386	\$ 77.882	1,96%
Cartagena	20.049	21	\$ 76.316	\$ 77.809	1,96%
Santa marta	13.445	7	\$ 66.526	\$ 67.855	2,00%
Barranquilla	23.550	23	\$ 77.474	\$ 78.985	1,95%
Total					1,97%

Fuente: SUI, cálculos CRA.

La definición de los municipios que por su localización geográfica podrán incrementar el CRT aplicando el factor de salinidad, se realizó con base en los resultados presentados en el Estudio de Clasificación de la agresividad atmosférica en Colombia mediante método estadísticos multivariados de la Universidad de Antioquia⁵⁰.

A partir de una demarcación geográfica presentada en el Estudio, en la cual se diferencia por zonas los municipios de Colombia que son afectados debido a la salinidad que se produce por la proximidad de estos al mar en las costas del país, se procedió a proyectar la zona más crítica en el sistema geodésico de referencia Magna Sirgas, mediante la aplicación del software Google Earth, el cual garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento.

Una vez proyectada la zona en mención, se construyó un listado con los municipios del país que se encuentran dentro de dicha zona. Finalmente, se procedió a depurar el listado dejando únicamente los municipios que cuenten con más de 5.000 suscriptores del servicio público de aseo. Para el ejercicio, se supuso un valor equivalente de 4 personas por suscriptor y los datos de tamaño poblacional fueron tomados de las proyecciones realizadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a partir del censo poblacional realizado por la entidad en el año 2005.

El listado de los municipios que aplican el factor poblacional se incluyó en el Anexo 1 de la resolución.

6.4.7 Costo de recolección y transporte de residuos sólidos con aporte bajo condición

Cuando el valor total de los vehículos y/o activos asociados a este componente es aportado por una entidad pública, la proporción de costo de capital en que se reduciría el costo por tonelada para el CRT es del 20%. Cuando el aporte de la entidad pública es parcial, el CRT con Aportes Bajo Condición se define de acuerdo con la siguiente función:

$$CRT_{ABC} = (1 - \rho * fCK) * CRT$$

⁴⁹ La reducción de 10,74% en la vida útil de los vehículos para ciudades costeras proviene de un análisis realizado en los documentos que soportaron la Resolución CRA 351 de 2005. Ver pág. 70 de la Revista Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico No11, abril de 2007.

⁵⁰ Estudio realizado por el Grupo de Corrosión y Protección de la Universidad de Antioquia, durante 14 meses de muestreo en campo en 21 sitios representativos del país. Las mediciones en campo incluyeron análisis de corrosión del acero y el acero galvanizado, la concentración de SO₂ y cloruros, la temperatura y el tiempo de humectación.

Donde:

CRT_{ABC} : Costo de Recolección y Transporte de residuos sólidos con Aporte Bajo Condición (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

CRT : Costo de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos (pesos diciembre de 2014/tonelada).

fCK : Fracción del costo de capital aportado bajo condición, definido como:

$$fCK = \frac{VA_{CRT_{ABC}}}{VA_{CRT}}$$

Donde:

$VA_{CRT_{ABC}}$: Valor del total de los activos aportados para el componente de recolección y transporte (pesos diciembre de 2014).

VA_{CRT} : Valor del total de los activos de la persona prestadora para el componente de recolección y transporte (pesos diciembre de 2014).

ρ : Proporción del costo total que corresponde a la adquisición de vehículos de recolección y transporte y/o activos asociados a este componente, estimado en 20%.

6.5 COSTO DE DISPOSICIÓN FINAL (CDF)

El costo de disposición final se estima a partir del modelo de ingeniería desarrollado por la CRA como soporte a la metodología tarifaria establecida en la Resolución 351 de 2005⁵¹. Dicho modelo fue desarrollado a partir de consideraciones de tipo general aplicables para la mayoría de los rellenos sanitarios en el país, y durante el periodo tarifario de la Resolución 351 de 2005 tan sólo el 4% de los rellenos sanitarios solicitaron actuaciones particulares para la modificación del precio techo de Disposición Final. El principal motivo identificado para dichas solicitudes fue la inversión en sistemas de tratamiento de lixiviados, por lo cual se incluyó un costo separado para el Tratamiento de Lixiviados en la propuesta del nuevo marco tarifario.

Por lo anterior se ratifica como tecnología de referencia para el costo de disposición final el relleno sanitario tipo rampa. Dicho modelo fue actualizado y ajustado de acuerdo con lo establecido en la normatividad ambiental y de servicios públicos vigente (Decreto 1077 de 2015)⁵² y con las recomendaciones técnicas incluidas en el Título F del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, actualizado por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio en el año 2102.

En este punto es importante resaltar que la tecnología de referencia para el modelo de disposición final es la de Relleno Sanitario tipo rampa y que en consecuencia se asume que el relleno sanitario cumple con lo estipulado en los artículos 2.3.2.3.2.2.4 y 2.3.2.3.2.2.5 del Decreto 1077 de 2015, en lo referente a las prohibiciones y restricciones en la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos.

⁵¹ "Por la cual se establecen los regímenes de regulación tarifaria a los que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo y la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio de aseo de residuos ordinarios y se dictan otras disposiciones".

⁵² "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio"

Con respecto a las condiciones topográficas requeridas para el relleno sanitario tipo rampa, se asume una pendiente del 12% en promedio y la ubicación del nivel freático por lo menos 1,5 m por debajo de la superficie del terreno. Los taludes de excavación para las celdas se establecen en 1H: 1V. La altura de las celdas se establece en 5 m y cada nivel de terraza está constituido por la altura de tres celdas logrando una altura total por terraza de 15 m. Cada vez que se logra un nivel para conformar una terraza (15 metros de altura), la siguiente deberá iniciarse dejando una berma de 3,5 m. En la base del nuevo nivel se construye una cuneta en todo el frente de la terraza para el manejo de aguas lluvias y otros vertimientos. La pendiente de los taludes de terminación para los residuos sólidos se establece en 3H:1V.

El ejercicio de valoración se realizó para tres tamaños diferentes de rellenos sanitarios, cada uno con área suficiente para la disposición de los residuos sólidos en un horizonte de veinte (20) años, así:

- **RSU 1:** relleno que recibe en promedio 1280 toneladas/día durante los 20 años
- **RSU 2:** relleno que recibe en promedio 300 toneladas-día durante los 20 años
- **RSU 3:** relleno que recibe en promedio 10 toneladas-día durante los 20 años

Adicionalmente, se incluyeron los costos relacionados con la operación de cada tipo de relleno sanitario durante una etapa de posclausura de diez (10) años.

Una vez ajustado el modelo, se actualizaron los valores de insumos, herramientas y equipos a precios de junio de 2012, tomando como referencia precios de lista⁵³ y se ajustaron las cantidades de obra y rendimiento de acuerdo con los métodos constructivos actuales. Una vez calculado el costo medio total por tonelada de disposición final para cada uno de los tres tamaños de relleno sanitario (CDF), se realizó la indexación del mismo a pesos de diciembre de 2014 con el índice IOexp.

Los costos de personal, fueron calculados de acuerdo con lo señalado en la reforma tributaria, Ley 1607 de 2012⁵⁴. Se incluyeron los costos del personal requerido para las actividades de disposición de residuos durante los veinte (20) años de operación y los diez (10) años de posclausura. Como referencia para el cálculo de los sueldos de los profesionales y técnicos requeridos, se tomaron las cantidades de salarios mínimos establecidas en la Resolución 747 de 1998⁵⁵ del Ministerio de Transporte, con precios actualizados a junio de 2012. Posteriormente, las cantidades de referencia se multiplicaron por el monto del salario mínimo legal mensual vigente para el año 2014.

En general, los costos se clasificaron en costos de inversión y costos de operación, con el fin de mantener el esquema de rentabilidad aplicado a los demás componentes del servicio público de aseo.

Construcción del modelo

Para la construcción del modelo de ingeniería y costos asociados a cada tamaño de relleno sanitario es importante realizar unas precisiones sobre el modelo geométrico para rellenos sanitarios tipo rampa y de esta forma establecer las cantidades de obra necesarias. Para los tres tipos de relleno se utilizó el modelo de ingeniería desarrollado por la CRA en el año 2005 como soporte a la metodología tarifaria establecida en la Resolución CRA 351 del mismo año.

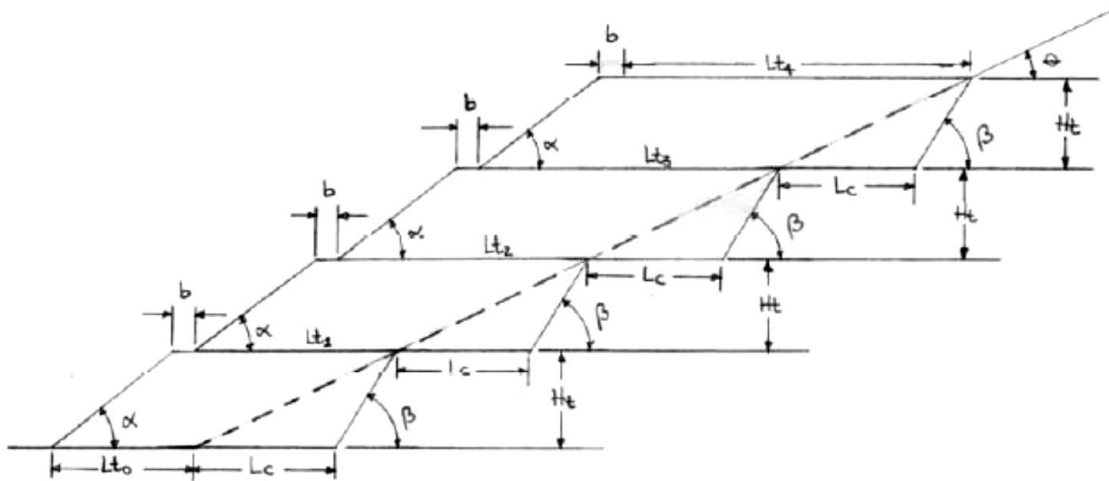
La geometría básica utilizada para el cálculo de los costos se muestra en la siguiente figura:

Gráfica 10. Geometría básica rellenos sanitarios en pendiente

⁵³ Revista Construdata. 2013 Septiembre – Noviembre No. 168, cotizaciones directas de proveedores y catálogos publicados en internet.

⁵⁴ "Por la cual se expiden normas en materia tributaria y se dictan otras disposiciones"

⁵⁵ "Por la cual se establecen los toques máximos para sueldos y demás gastos que se pueden pagar en los contratos de consultoría, por el sistema de cobro de costos directos más sueldos afectados por un multiplicador" Actualización 2012.



Fuente: CRA. Metodología de costos y tarifas para el servicio público de aseo. 2006

Los ángulos α y θ son dados, mientras que el ángulo β es calculado de acuerdo con el corte necesario para equilibrar las cantidades de capas de fondo, intermedias y superior para la totalidad del relleno, afectadas por un factor de expansión del corte (FEXP).

Las cantidades de obra necesarias y la capacidad de almacenamiento de residuos para cada uno de los tipos de relleno, fueron calculadas con base en un equilibrio de masas y teniendo en cuenta los parámetros de entrada que se presentan a continuación:

Tabla 68. Variables modelo de ingeniería

PARÁMETROS DE ENTRADA	RSU1	RSU2	RSU3
Geometría			
Número de terrazas del relleno (M) [Adim]	3	3	1
Número de celdas diarias por terraza (N) [Adim]	3	3	1
Ancho de la zona de amortiguación (Xza) [m]	10	10	10
Altura de terraza (Ht) [m]	15	15	15
Longitud inicial del talud del relleno al talud natural (Lto) [m]	60	10	10
Longitud de la berma (b) [m]	3,5	3,5	3,5
Espesor de la capa de cobertura diaria (Td) [m]	0,15	0,15	0,15
Espesor de la capa de fondo (Tf) [m]	0,70	0,70	0,70
Espesor de la capa superior (Ts) [m]	0,60	0,60	0,60
Profundidad de la terraza (Perpendicular al dibujo) [m]	720,20	205,21	30,18
Factor de expansión del corte (Fexp) [Adim]	1,3	1,30	1,30
Elementos Adicionales			
Ancho de filtros (Wf) [m]	1	1	1
Alto de filtros (Hf) [m]	1	1	1
Distancia entre filtros (Df) [m]	40	40	40
Separación longitudinal entre chimeneas (Dlch) [m]	40	40	40
Separación transversal entre chimeneas (Dtch) [m]	40	40	40

PARÁMETROS DE ENTRADA	RSU1	RSU2	RSU3
Base inferior cunetas (Bic) [m]	0,5	0,5	0,5
Base superior cunetas (Bsc) [m]	1	1	1
Profundidad cunetas (Yc) [m]	1	1	1
Ancho vías internas (Tvi) [m]	3	3	3
Ancho Vías Externas (Tve) [m]	6	6	6
Pendiente transversal del fondo (Fi) [%]	0,01	0,01	0,01
Pendiente transversal del fondo (Fi) [°]	0,57	0,57	0,57
Diámetro de tuberías de fondo (Dtf) [m]	0,25	0,25	0,25
Recubrimiento superior de tubería de fondo (Ysf) [m]	0,3	0,3	0,3
Recubrimiento inferior de tubería de fondo (Yif) [m]	0,15	0,15	0,15
Altura filtro de fondo (Hff) [m]	0,70	0,70	0,70
Ancho filtro de fondo (Tff) [m]	140,8	140,8	140,8
Número de tuberías de fondo (Ntf) [Adim]	2	2	2
Área de material filtrante en el filtro de fondo (Aff) [m ²]	49,46	49,46	49,46

Fuente: Modelo CRA

Utilizando los valores mostrados para cada uno de los tipos de relleno, y teniendo en cuenta los volúmenes de residuos que recibirían cada uno de ellos durante los 20 años de vida útil, se calcularon las cantidades de obra.

6.5.1 Costos de inversión

Los costos de inversión son costos anticipados de capital en general corresponden a los que se generan en las etapas de diseño y construcción de los rellenos sanitarios. En dichos costos se incluyen los recursos necesarios para realizar los estudios técnicos y ambientales para la localización y diseño del relleno sanitario, la evaluación de los mismos por parte de las autoridades ambientales para el otorgamiento de la Licencia Ambiental, los costos generales de construcción, la adecuación de los módulos de disposición de residuos y finalmente los costos de la ejecución de las actividades del Plan de Manejo Ambiental (PMA) especificadas para la etapa de construcción de las infraestructuras necesarias.

a) Estudios técnicos y ambientales

Los estudios técnicos y ambientales considerados en la proyección de costos de disposición final por la tecnología de relleno sanitario tipo rampa, incluyen aquellos requeridos por las autoridades ambientales para el otorgamiento de la Licencia Ambiental (Resolución 1274 de 2006)⁵⁶, así como aquellos necesarios para el diseño de la infraestructura para la disposición de los residuos, a saber:

- Levantamiento topográfico del sitio.
- Estudio geológico y geotécnico.
- Evaluación de la calidad del aire y ruido.
- Evaluación cuantitativa y cualitativa de aguas superficiales y subterráneas.
- Estudio hidrológico y meteorológico.
- Estudio de tráfico.
- Evaluación demográfica y socioeconómica regional incluyendo los talleres con la comunidad.
- Estudios de fauna y flora.
- Estudios arqueológicos.
- Diseño del relleno sanitario y obras anexas.

⁵⁶ "Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de rellenos sanitarios y se adoptan otras determinaciones"

- Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental.

Los costos de los estudios: geológico y geotécnico, de calidad del aire y ruido, hidrológico y meteorológico, de tráfico, la evaluación demográfica y socioeconómica, de fauna y flora, de diseño del relleno sanitario, de impacto ambiental y plan de manejo ambiental fueron calculados a partir del personal requerido para su elaboración, los costos de movilización de dicho personal, equipos requeridos para toma de muestras e información, análisis en laboratorios, gastos de papelería y ploteo de planos. Se tomaron como tarifas de referencia las definidas en la Resolución 747 de 1998 del Ministerio de Transporte, con precios actualizados a junio de 2012. Adicionalmente, se reconoce el pago del IVA para la elaboración de cada estudio.

Con respecto al costo del levantamiento topográfico, para los rellenos sanitarios tipo RSU1 y RSU2 se utilizaron los precios del mercado para una cuadrilla de trabajo y el uso de una estación total como tecnología para la recolección de la información. En el caso de los rellenos sanitarios tipo RSU3, la tecnología reconocida es la de GPS.

En cuanto al estudio arqueológico, los costos se ajustaron con la tarifa por hectárea de referencia para la elaboración de este tipo de estudios, utilizada por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH).

Para la definición de los costos de los análisis de laboratorio requeridos para la *Evaluación Cuantitativa y Cualitativa de las Aguas Superficiales y Subterráneas*, se realizó un estudio de mercado que incluyó las tarifas 2012, de siete (7) laboratorios acreditados en ISO 17025. Los parámetros cotizados para cada tipo de análisis corresponden a los establecidos en la normatividad ambiental correspondiente.⁵⁷

De otra parte, el costo referente al *Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA)* no fue incluido en el presupuesto del modelo, debido a que el Decreto 2041 de 2014⁵⁸ excluyó a los rellenos sanitarios de los proyectos que deben realizar dicho estudio.

Finalmente, los costos de la evaluación del *Estudio de Impacto Ambiental (EIA)*, para el otorgamiento de la Licencia Ambiental por parte de las autoridades ambientales competentes, fueron calculados de acuerdo a lo establecido en la Resolución 1280 de 2010⁵⁹, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 69. Costos de estudios y evaluaciones
Pesos de junio de 2012

ÍTEM	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Levantamiento topográfico del sitio	\$ 43.631.405	\$ 12.373.415	\$ 726.304
Estudios geológicos y geotécnicos	\$ 128.931.418	\$ 24.339.315	\$ 8.729.771
Evaluación de la calidad del aire y ruido	\$ 15.184.980	\$ 11.571.435	\$ 2.550.927
Evaluación cuantitativa y cualitativa de las aguas superficiales y subterráneas	\$ 77.042.167	\$ 13.940.640	\$ 5.779.021
Evaluación de parámetros hidrológicos y meteorológicos	\$ 7.212.382	\$ 5.585.120	\$ 2.330.595
Estudios de tráfico	\$ 13.758.180	\$ 9.427.030	\$ 4.981.475

⁵⁷ Decreto 1594 de 1984 "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos".

⁵⁸ "Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales".

⁵⁹ "Por la cual se establece la escala tarifaria para el cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de las licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de manejo y control ambiental para proyectos cuyo valor sea inferior a 2.115 smmlv y se adopta la Tabla única para la aplicación de los criterios definidos en el sistema y método definido en el artículo 96 de la Ley 633 para la liquidación de la tarifa".

ÍTEM	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Evaluación demográfica y socioeconómica regional (talleres)	\$ 17.539.925	\$ 17.539.925	\$ 3.249.668
Evaluación de fauna y flora	\$ 34.299.750	\$ 25.553.713	\$ 8.929.318
Estudios arqueológicos	\$ 52.587.873	\$ 14.913.377	\$ 1.544.042
Diseño del relleno sanitario y obras anexas	\$ 101.726.635	\$ 81.326.440	\$ 15.469.035
Estudio de impacto ambiental y plan de manejo	\$ 73.082.320	\$ 53.564.450	\$ 15.064.630
Evaluación del EIA y el PMA	\$ 41.926.426	\$ 21.177.335	\$ 4.937.551
Subtotal Costos de estudios y evaluaciones	\$ 606.923.462	\$ 291.312.192	\$ 74.292.336

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

b) Actividades de construcción

Las actividades de construcción del relleno sanitario incluyen aquellas correspondientes a la adecuación inicial del terreno y alistamiento del predio, conformación de las vías internas y externas, instalación del sistema de impermeabilización, de los sistemas de drenaje y la edificación de las obras complementarias.

Con respecto a las actividades de adecuación y alistamiento del predio, se incluyeron los costos correspondientes al descapote y limpieza del terreno, la construcción de un campamento de obra habilitado únicamente durante la etapa de construcción, la instalación de la red de acueducto y alcantarillado con sus correspondientes estructuras para almacenamiento de agua potable y tratamiento primario de aguas residuales y vertimientos para la zona administrativa, la instalación de una red de iluminación a lo largo de las vías internas y externas así como en las instalaciones de apoyo operacional y administrativo, la señalización vial fija horizontal y vertical y la valla informativa de identificación del proyecto.

También se incluyeron los costos correspondientes a la edificación de las obras complementarias como las oficinas, el almacén, la estación de pesaje y la instalación de las básculas camioneras, la zona de parqueo, el reservorio de agua potable, el patio de maniobras, y un cerramiento constituido por un cerco perimetral en alambre de púas de 9 hilos. Con respecto al cerramiento, para los rellenos sanitarios tipo RSU1 y RSU2, se incluyeron los costos correspondientes a la construcción de un murete y malla eslabonada en el frente del relleno y una puerta de ingreso en el relleno sanitario tipo RSU3, se contempló únicamente la puerta de ingreso.

Adicionalmente al cerramiento, se consideraron los costos del área de aislamiento definida como una franja perimetral donde se establecerán plantaciones arbóreas de talla y follaje suficiente para reducir la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la operación del relleno. Los costos para el área de aislamiento contemplan el número de árboles requeridos para la arborización del perímetro del predio y la siembra de los mismos. En el modelo de ingeniería se reconocen dos hileras de árboles separadas entre sí por una distancia perpendicular de 2 m.

En cuanto a las vías internas y la vía externa requeridas para la operación de cada uno de los tres tamaños de relleno, los costos de construcción fueron calculados teniendo en cuenta distancias promedio a la vía principal más cercana, las distancias internas entre la puerta de ingreso y los frentes de trabajo, los materiales de construcción requeridos en la estructura vial y las respectivas cunetas para la conducción de las aguas lluvias.

En las tablas que se presentan a continuación, se muestra la información de entrada para la modelación de las vías externas e internas para cada tipo de relleno.

Tabla 70. Información de entrada para modelación de vías externas

Tipo de relleno sanitario	Distancia de la vía de acceso a la vía principal (m)	Materiales de construcción	Espesor (m)
RSU 1	3.000	Base	0,30
		Sub - Base	0,30
RSU 2	2.185	Base	0,30
		Sub - Base	0,30
RSU 3	1.040	Base	0,40

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

Tabla 71. Información de entrada para modelación de vías internas

Tipo de relleno sanitario	Longitud vías (m)	Materiales de construcción	Espesor (m)
RSU 1	1.000	Base	0,20
		Sub - Base	0,30
RSU 2	582	Base	0,20
		Sub - Base	0,30
RSU 3	163	Base	0,30

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

Por otro lado, respecto a la infraestructura para el manejo de aguas lluvias se incluyen los costos correspondientes a la construcción de los canales perimetrales, las cunetas de cierre de nivel, los sumideros y las obras de disipación y estructura de entrega, en los tres tamaños de rellenos. En los rellenos RSU1 y RSU2, adicionalmente se incluyen los costos de revestimiento del canal principal perimetral.

Finalmente, se consideraron como infraestructuras de contingencia la construcción de una zona de emergencia que corresponde a una celda de disposición con capacidad para recibir los residuos de un mes de operación en los tres tipos de rellenos más un 20% adicional para otros imprevistos, adicionalmente la construcción de filtros verticales para amortiguación de presiones y la construcción de una pantalla enterrada que se proyecta en todo el frente del relleno.

Tabla 72. Costos de construcción

Pesos de junio de 2012

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Instalaciones generales	\$ 95.266.479	\$ 85.962.543	\$ 75.429.832
Predio	\$ 2.152.409.914	\$ 865.538.764	\$ 76.162.246
Cerramiento (cerca perimetral) en alambre de púas	\$ 113.777.840	\$ 48.397.430	\$ 12.272.764
Vías internas	\$ 210.071.687	\$ 217.401.825	\$ 21.702.637
Vías externas	\$ 1.214.412.327	\$ 884.584.805	\$ 217.569.315
Manejo de aguas lluvias	\$ 440.019.906	\$ 164.223.290	\$ 8.913.829
Infraestructura contingente	\$ 987.560.498	\$ 200.762.556	\$ 118.785.879
Subtotal Costos de construcción	\$ 5.213.518.652	\$ 2.466.871.212	\$ 530.836.503

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

c) Adecuación de los módulos de disposición de residuos

La adecuación de los módulos de disposición final considera la excavación y aplicación de suelo del área de relleno, así como la nivelación y compactación del propio suelo después del descapote y limpieza. Para tal fin,

el modelo considera la contratación de actividades de obra que incluyen la maquinaria y el personal requerido. Esta actividad se reconoce a partir del año 0 hasta el año 19 de operación para los tres tamaños de relleno.

Posteriormente se considera la instalación de una geomembrana de fondo de HPDE de 80mills para los rellenos RSU1 y RSU2 y de HPDE de 60mills para el RSU3. Se consideraron los costos de geomembranas de especificaciones técnicas altas con el fin de garantizar una excelente resistencia química y juntas confiables, de tal forma que no sufra deterioro en sus características mecánicas por reacciones con los lixiviados que las inhabiliten para cumplir su función. De esta forma se evitan también los extra costos por mantenimientos durante los años de operación de los rellenos sanitarios.

Para proteger esta geomembrana se consideran los costos de instalación de un geotextil y de una capa de suelo seleccionado con un espesor de 30 cm. Así mismo, sobre la capa de suelo protector se instala una capa de material drenante de canto rodado de 2" de diámetro máximo y un espesor de 30 cm.

Para la conducción de los lixiviados, se incluyeron los costos de un drenaje principal conformado por filtros con tubería PVC de 315 mm (dos extensiones) cubierto con grava máximo de 2". Sobre esta capa drenante se depositan los residuos sólidos directamente.

Dentro de la capa drenante se consideran los costos correspondientes a la construcción de una estructura constituida por dos tuberías paralelas de diámetro 200 mm y perforadas en rombos. Estas tuberías longitudinales se proyectan distanciadas cada 40 metros, adicionalmente se incluyeron los costos correspondientes a la construcción de las cajas de recolección de lixiviados.

Para el monitoreo de la estabilidad de los rellenos sanitarios tipo RSU1 y RSU2, se consideraron los costos de construcción de pozos para la instalación de piezómetros para la medición de la presión de poros y el nivel freático y para la instalación de inclinómetros con el fin de monitorear la estabilidad de los taludes. Para los tres tamaños de rellenos se consideró la construcción de pozos de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas.

Finalmente, la estructura de cierre se modeló para los tres tipos de rellenos sanitarios, con una geomembrana superior de PVC de 60 mills, protegida por un geotextil y una capa de suelo de 45 cm de espesor la cual se reviste finalmente con semillas de pasto forrajero. En los costos del suelo protector se incluyó un factor de seguridad del 50% con el fin de generar una profundidad suficiente para evitar que las raíces del pasto perforen la geomembrana.

Tabla 73. Costos de adecuación de los módulos de disposición de residuos
Pesos de junio de 2012

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Preparación e impermeabilización del terreno	\$ 16,461,854,726	\$ 4,111,026,654	\$ 960,706,779
Conducción de lixiviados	\$ 13,540,518,391	\$ 3,287,434,585	\$ 97,512,094
Pozos de instrumentación y monitoreo	\$ 32,563,818	\$ 9,037,499	\$ 1,300,417
Cierre de celdas	\$ 10,471,113,381	\$ 2,521,308,113	\$ 110,609,857
Sistema de evacuación de gases	\$ 735,052,866	\$ 125,719,416	\$ 4,857,511
Subtotal Costos de adecuación de módulos	\$ 41,241,103,182	\$ 10,054,526,267	\$ 1,174,986,659

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

d) Instrumentación

En el modelo se incluyeron los costos correspondientes a la instrumentación para realizar controles y monitoreos eficientes sobre las actividades de operación y posclausura del relleno sanitario. Entre los equipos

considerados se incluyen: baterías de piezómetros casa grande para el monitoreo del nivel freático (RSU1), piezómetros de hilo vibrátil para la medición de la presión de poros al interior de los rellenos (RSU 1 y RSU 2) e inclinómetros para el monitoreo de la estabilidad de los taludes (RSU 1 y RSU 2). Se determinó un promedio de dos (2) baterías de piezómetros⁶⁰ de hilo vibrátil por hectárea de relleno y los inclinómetros en las paredes laterales del relleno⁶¹.

Además de la adquisición de los equipos, el modelo incluye, el cableado, las consolas de lectura y la contratación del especialista en geotecnia quien analizará los datos obtenidos de las mediciones durante los 20 años de operación y los 10 años de posclausura, con unos rendimientos especificados para cada tipo de relleno dependiendo de las necesidades de medición.

Otros equipos incluidos dentro de la instrumentación de los rellenos son los de topografía. Para los rellenos sanitarios tipo RSU1 y RSU2 se consideró la adquisición de una estación total, equipo que incorpora un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico, además, el equipo cuenta con una calculadora, un trackeador y la posibilidad de guardar la información en formato electrónico para ser procesada posteriormente para el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimuts y distancias, entre otras. En los costos de personal, se incluye la comisión de topografía con unas dedicaciones de tiempo ajustadas a las necesidades de monitoreo y a los tamaños de cada tipo de relleno sanitario.

Para el RSU3, se consideró la contratación externa de la cuadrilla de topografía y el alquiler de un GPS para realizar el levantamiento de la información topográfica y el procesamiento de la misma, con una frecuencia bimensual durante los 20 años de operación y los 10 años de posclausura de los rellenos sanitarios.

Finalmente, en el modelo de ingeniería se incluyeron los costos correspondientes a los sistemas y equipos requeridos para la automatización del registro en tiempo real de los datos de identificación de los vehículos que ingresan al relleno sanitario y de la carga que llevan.

Este proceso de automatización se realizará mediante tecnologías como la transferencia de datos a través de canales de comunicación móvil, la cual es una alternativa de bajo costo para este propósito. Los costos de la actividad de reporte de información en línea son bajos y se espera reducir la asimetría de información y la escasez de esta en términos de cantidad y calidad, reportada hoy al SUI por las empresas del sector.

La información captada en tiempo real en cada relleno sanitario, será almacenada por el operador del relleno en una base de datos centralizada para ser procesada y reportada al SUI en los tiempos que defina para tal fin, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Los costos correspondientes a la captura y transmisión de datos incluidos en el modelo de ingeniería responden a: el software para captura directa del peso de los vehículos de carga, computador, dispositivo de adquisición y control de datos tipo GPRS, plan móvil de datos para teléfono celular.

Tabla 74. Costos instrumentación para control y monitoreo

Pesos de junio de 2012

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Batería piezómetro casa grande	\$ 45.663.179	n.a.	n.a.
Batería piezómetro hilo vibrátil	\$ 370.106.303	\$ 96.410.248	n.a.
Consola instrumentación inclinómetros	\$ 239.222.364	\$ 15.433.701	n.a.
Equipo de topografía	\$ 21.415.274	\$ 21.415.274	Alquiler bimensual
Captura y transmisión de datos	\$ 12.331.204	\$ 12.331.204	\$ 12.331.204

⁶⁰ El Relleno sanitario Doña Juana tiene un promedio de 1,5 piezómetros/Ha. y el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo cuenta con 16 baterías de piezómetros para 6 hectáreas de relleno, para una relación de 2,6 (se toma el promedio entre ambos valores). Una batería consta de tres (3) piezómetros instalados en línea.

⁶¹ Se incluyó un (1) inclinómetro por dos (2) hectáreas de relleno, que se instalan en los taludes terminados.

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Costos instrumentación y monitoreo	\$ 688.738.324	\$ 145.590.427	\$ 12.331.204

Fuente: Modelo CRA.

Los costos de instrumentación y monitoreo para el RSU 3 no se totalizan debido a que los costos del equipo de topografía son pagos bimensuales y los costos de los equipos de captura y transmisión son una inversión puntual.

e) Actividades del plan de manejo ambiental: Etapa de construcción

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) es el instrumento de planificación, contenido en la Licencia Ambiental, que establece las actividades de prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los impactos ambientales generados en cada una de las etapas de funcionamiento de los rellenos sanitarios.

Para la ejecución y cumplimiento de dichas actividades se consideran los costos relacionados con la contratación de una cuadrilla ambiental y de una interventoría ambiental. Adicionalmente se incluyeron los costos de la elaboración del informe periódico de cumplimiento ambiental, los ensayos de monitoreo de las matrices agua y aire y los talleres de información a la comunidad.

Adicionalmente se incluyen los costos del seguimiento del PMA, por parte de las autoridades ambientales competentes, que fueron calculados de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1280 de 2010⁶², expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 75. Actividades del Plan de Manejo Ambiental: Etapa de Construcción
Pesos de junio de 2012

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Cuadrilla Ambiental	\$ 42.964.249	\$ 42.964.249	\$ 12.571.500
Interventoría Ambiental	\$ 289.590.777	\$ 289.590.777	\$ 25.431.622
Preparación de informe periódico de cumplimiento ambiental	\$ 10.501.625	\$ 5.878.880	\$ 1.368.800
Pago de Seguimiento Ambiental a la Construcción (Anual)	\$ 18.363.325	\$ 11.574.635	\$ 1.697.798
Ensayos de Monitoreo (Aguas y Aire)	\$ 128.332.741	\$ 189.819.004	\$ 7.460.390
Talleres de Información a la Comunidad	\$ 13.980.000	\$ 9.900.000	\$ 1.180.000
Subtotal PMA Construcción	\$ 503.732.717	\$ 549.727.545	\$ 49.710.110

Fuente: Modelo CRA.

6.5.2 Costos de operación

Los costos de operación corresponden a inversiones periódicas que se requiere para desarrollar las actividades contempladas en las etapas de operación y posclausura de los rellenos sanitarios, incluyendo los costos relacionados con la ejecución de las actividades establecidas en el PMA para dichas etapas.

Durante los 20 años del periodo de operación de los rellenos sanitarios, los costos considerados en el modelo de ingeniería incluyen: la adquisición y/o alquiler de maquinaria pesada, el combustible y mantenimiento de las maquinas, los equipos menores, la capa de cobertura diaria de los residuos, el mantenimiento del cerramiento,

⁶² "Por la cual se establece la escala tarifaria para el cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de las licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de manejo y control ambiental para proyectos cuyo valor sea inferior a 2.115 SMLMV y se adopta la Tabla única para la aplicación de los criterios definidos en el sistema y método definido en el artículo 96 de la Ley 633 para la liquidación de la tarifa".

de la zona de aislamiento, del alumbrado y de los equipos de comunicación interna y las actividades del PMA definidas para la etapa de operación de los rellenos como el riego de las vías.

Los costos considerados durante los 10 años de la etapa de posclausura corresponden al personal necesario para la ejecución de las actividades de supervisión del relleno, el monitoreo de la estabilidad del relleno, los controles de topografía, el mantenimiento de la red eléctrica, del cerramiento, de las chimeneas de evacuación de gases y de la zona de aislamiento. Adicionalmente, se consideraron los costos de la ejecución de las actividades del Plan de Manejo Ambiental PMA entre las que se encuentra la compensación forestal y su mantenimiento.

a) Costos etapa de operación

Respecto a la maquinaria pesada requerida para la operación de los rellenos sanitarios, el modelo incluye para los rellenos sanitarios RSU1 y RSU2, la adquisición y reposición de equipos para el movimiento y compactación de residuos y tierras y un carrotanque para el riego de las vías, asumiendo una vida útil de 8 años.

Por su parte, para el RSU3 se incluyó la compra de un vibro compactador, puesto que es más eficiente adquirir el equipo que alquilarlo durante los 20 años de operación del relleno.

Para cada uno de los tipos de rellenos, se determinó la cantidad y especificación a partir de su capacidad operativa y las actividades específicas que requiere la operación del sitio de disposición, sin embargo debe entenderse que el modelo considera elementos de referencia y que el operador está en la libertad de modificar la estructura del equipo.

Tabla 76. Maquinaria pesada por tipo de relleno

Equipo	Cantidad		
	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Bulldózer tipo D6 o equivalente	2	1	n.a.
Bulldózer tipo D8 o equivalente	1	n.a.	n.a.
Compactador para residuos tipo 816 G o equivalente	1	1	n.a.
Retroexcavadora tipo 416 d sobre orugas o equivalente	1	1	n.a.
Volqueta doble troque	1	1	n.a.
Carro tanque	1	1	n.a.
Vibrocompactador	n.a.	n.a.	1

Fuente: Modelo CRA.

Los costos de la maquinaria requerida para las actividades de adecuación del predio y construcción, fueron considerados en los costos de inversión.

En el modelo se consideran los costos de combustible (ACPM) que requieren los equipos durante los 20 años de operación del relleno y se reconoce anualmente el 10% del valor total del equipo por concepto de mantenimiento del mismo.

Tabla 77. Costos adquisición, operación y mantenimiento maquinaria pesada
Pesos de junio de 2012 (Pagos anuales)

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Adquisición de maquinaria pesada	\$ 1.078.701.922	\$ 571.163.933	\$ 16.889.896
Bulldózer tipo D6 o equivalente	\$ 340.629.522	\$ 170.314.761	-
Bulldózer tipo D8 o equivalente	\$ 337.223.227	-	-
Compactador para residuos tipo 816 G o	\$ 272.503.618	\$ 272.503.618	-

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
equivalente			
Retroexcavadora tipo 416 d sobre orugas o equivalente	\$ 55.636.155	\$ 55.636.155	-
Volqueta doble troque	\$ 38.154.422	\$ 38.154.422	-
Carro tanque	\$ 34.554.977	\$ 34.554.977	
Vibrocompactador	-	-	\$ 16.889.896
Operación de maquinaria pesada	\$ 978.347.856	\$ 196.328.260	\$ 3.501.987
Bulldózer tipo D6 o equivalente	\$ 220.135.670	\$ 63.500.674	-
Bulldózer tipo D8 o equivalente	\$ 188.687.717	-	-
Compactador para residuos tipo 816 G o equivalente	\$ 408.823.387	\$ 63.500.674	-
Retroexcavadora tipo 416 d sobre orugas o equivalente	\$ 62.895.906	\$ 26.609.806	-
Volqueta doble troque	\$ 20.513.742	\$ 10.256.871	-
Carro tanque	\$ 77.291.436	\$ 32.460.235	
Vibrocompactador	-	-	\$ 3.501.987
Mantenimiento de maquinaria pesada	\$ 423.090.375	\$ 266.025.296	\$ 11.264.263,29
Bulldózer tipo D6 o equivalente	\$ 79.325.798	\$ 79.325.798	-
Bulldózer tipo D8 o equivalente	\$ 157.065.080	-	-
Compactador para residuos tipo 816 G o equivalente	\$ 126.921.277	\$ 126.921.277	-
Retroexcavadora tipo 416 d sobre orugas o equivalente	\$ 25.913.094	\$ 25.913.094	-
Volqueta doble troque	\$ 17.770.802	\$ 17.770.802	-
Carro tanque	\$ 16.094.325	\$ 16.094.325	
Vibrocompactador	-	-	\$ 11.264.263

Fuente: Modelo CRA.

Como equipos menores incluidos en el modelo para los rellenos sanitarios tipo RSU1 y RSU2 se tienen: guadañadoras, herramientas, equipos contraincendios para cada una de las instalaciones complementarias de apoyo operacional y/o administrativo y equipos de seguridad ocupacional para atención de emergencias.

Adicionalmente, se considera la instalación de un sistema de vigilancia que incluye cámaras de video de visión diurna y nocturna, un disco duro, un DVD y los amplificadores de señal. Este sistema se proyecta para ser instalado en tres (3) puntos de las instalaciones administrativas y uno en el frente de trabajo activo.

Finalmente, se incluyen equipos de comunicación para permitir la intercomunicación entre el frente de trabajo, la zona de pesaje y el patio de maniobras.

Tabla 78. Costos equipos menores
Pesos de junio de 2012 (Pagos anuales)

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Guadañadoras	\$ 1.565.671	\$ 782.836	\$ 782.836
Herramientas	\$ 4.665.772	\$ 1.062.390	\$ 818.365
Extintores y equipo para atención de emergencias	\$ 5.611.495	\$ 4.489.196	\$ 3.366.897
Equipo Interno de Comunicaciones	\$ 817.383	\$ 613.037	\$ 204.346
Cámaras de vigilancia	\$ 1.721.475	\$ 1.759.000	-
Subtotal Costos de construcción	\$ 14.381.797	\$ 8.706.459	\$ 5.172.444

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

Dentro de los costos asociados al manejo de los residuos o cantidades por módulo se incluye un sistema pasivo de evacuación de gases con instalación de chimeneas de sección de 1m x 1m en piedra, gavión (malla) con una tubería central perforada de HDPE de 10". La distribución de las chimeneas se hace en una retícula ubicándolas a una distancia de 40 m una de otra. En la parte superior se terminan con la instalación de tubería en hierro galvanizado de 3" de diámetro.

Adicionalmente, el modelo considera la capa de cobertura diaria de los residuos dispuestos con material de excavación, cuyo espesor se estableció en 0,30 m para el RSU1 y el RSU2 y de 0,15 m para el RSU3 de acuerdo con lo definido en el Título F del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)⁶³. El reconocimiento de los costos de la capa de cobertura diaria responden a que esta buena práctica de ingeniería permite el aislamiento de los residuos del entorno, impidiendo la salida indiscriminada de flujos gaseosos no controlados, cortando la infiltración de aguas de escorrentía hacia el interior de la terraza y actuando como barrera ante la posible acción de animales como aves, insectos y roedores.⁶⁴ La correcta utilización de la capa diaria de cobertura evita los costos de control de vectores como trampas, fumigaciones y utilización de materiales de cobertura sintéticos.

Respecto al mantenimiento del cerramiento con alambre de púas el modelo reconoce anualmente el 10% del costo total de instalación para el reemplazo de las áreas deterioradas, de la zona de aislamiento se reconoce el 50% del costo total para el cuidado y fertilización de los árboles y en relación al mantenimiento del alumbrado y de los equipos de comunicación, se incluye el reemplazo de las bombillas de los postes de alumbrado y el mantenimiento de la frecuencia de comunicación de los radios de largo alcance.

En cuanto a la ejecución y cumplimiento de las actividades del PMA, se consideran los costos relacionados con el pago de la cuadrilla ambiental y de la interventoría ambiental durante 20 años, adicionalmente se incluyen los costos de la elaboración del informe periódico de cumplimiento ambiental que se debe entregar anualmente a la autoridad ambiental competente, la caracterización de los residuos dispuestos y los ensayos de monitoreo de las matrices agua y aire. Respecto a los ensayos de compactación de residuos, estos constituyen una actividad que se realiza in situ y que no requiere análisis de laboratorio, por lo que se incluyen los costos de personal requerido para realizar dichas actividades.

En la etapa de operación, se reconoce el riego de vías para evitar los picos de generación de material particulado en el entorno, por lo que se reconoce la adquisición de un carro tanque para los rellenos tipo RSU1 y RSU2 y la contratación de dicha actividad para el RSU3.

En lo referente al personal requerido para la operación de los tres tamaños de rellenos sanitarios, los modelos consideran que en el RSU1 se requieren tres turnos diarios de trabajo, en el RSU2 se requieren dos turnos de trabajo y en el RSU3 se requiere un turno de trabajo al día. Adicionalmente, se reconoce un apoyo de transporte intermunicipal para todos los cargos reconocidos en cada tamaño de relleno sanitario, con el fin de garantizar los recursos para que todos los trabajadores puedan llegar hasta el relleno sanitario que en la mayoría de los casos se localiza en zonas rurales. Los costos de personal se explican en el numeral 5.4 del presente documento.

Finalmente, se incluyen los costos del seguimiento del Plan de Manejo Ambiental, por parte de las autoridades ambientales competentes, que fueron calculados de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1280 de 2010⁶⁵, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

⁶³ Actualizado por los Ministerios de Vivienda y de Ambiente en el año 2102

⁶⁴ Collazos H. (2008).

⁶⁵ "Por la cual se establece la escala tarifaria para el cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de las licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de manejo y control ambiental para proyectos cuyo valor sea inferior a 2.115 SMLMV y se adopta la Tabla única para la aplicación de los criterios definidos en el sistema y método definido en el artículo 96 de la Ley 633 para la liquidación de la tarifa"

Tabla 79. Costos asociados al manejo de residuos

Pesos de junio de 2012 (Pagos anuales)

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Capa de cobertura diaria	\$ 245.297.758	\$ 57.007.005	\$ 1.007.966
Mantenimiento			
Mantenimiento cerramiento (cerca perimetral) en alambre de púas	\$ 4.696.085	\$ 2.817.186	\$ 1.115.437
Mantenimiento área de aislamiento	\$ 1.039.273	\$ 559.531	\$ 97.438
Mantenimiento del alumbrado y equipos de comunicación	\$ 3.637.234	\$ 2.413.820	\$ 267.171
Mantenimiento de vías	\$ 51.142.060	\$ 36.304.964	\$ 6.655.654
Actividades Plan de Manejo Ambiental Etapa Operación			
Interventoría ambiental	\$ 289.590.777	\$ 289.590.777	\$ 25.431.622
Preparación de informe periódico de cumplimiento ambiental	\$ 10.501.625	\$ 5.878.880	\$ 1.368.800
Pago de seguimiento ambiental a la operación (anual)	\$ 18.363.325	\$ 11.574.635	\$ 1.697.798
Ensayos de monitoreo (aguas, suelo, aire, etc.)	\$ 128.332.741	\$ 94.909.502	\$ 7.460.390
Talleres de información a la comunidad	\$ 2.330.000	\$ 1.650.000	\$ 1.180.000
Riego de vías internas y externas	-	-	\$ 75.454.652
Subtotal Costos asociados al manejo de residuos	\$ 754.930.878	\$ 502.706.301	\$ 121.736.928

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

b) Costos etapa de posclausura

Los costos incluidos en el modelo para la etapa de 10 años de posclausura reconocen la contratación del personal que se encargará de la ejecución de supervisión del relleno, el monitoreo de la estabilidad de los taludes, los controles de topografía y las actividades de mantenimiento. La dedicación de los trabajadores fue definida de acuerdo al tamaño del relleno, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 80. Dedicación del personal en la etapa de posclausura

Equipo	Jornadas/mes		
	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Residente del relleno	1	0,5	0,25
Inspector	1	0,5	n.a
Topógrafo	0,5	0,25	0,13
Cadenero	0,5	0,25	0,13
Mantenimiento	6	3	0,5
Especialista en geotécnica	1	0,5	n.a.

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

Los costos de mantenimiento del cerramiento, del área de aislamiento y del alumbrado y los equipos de comunicación se calcularon de la misma manera que se especificó para la etapa de operación. Los costos de vigilancia, gerencia, mantenimiento y aseo se incluyen dentro del factor de costos administrativos.

En cuanto a la ejecución y cumplimiento de las actividades del PMA, se consideran los costos relacionados con el pago de la cuadrilla ambiental y de la interventoría ambiental durante 10 años, adicionalmente se incluyen los

costos de la elaboración del informe periódico de cumplimiento ambiental que se debe entregar anualmente a la autoridad ambiental competente y los ensayos de monitoreo de las matrices agua y aire.

En la etapa de posclausura, se reconoce la compensación forestal requerida por las autoridades ambientales competentes para recuperación del paisaje del lugar y también se reconoce el mantenimiento de dicha vegetación.

Finalmente, se incluyen los costos del seguimiento del PMA, por parte de las autoridades ambientales competentes, que fueron calculados de acuerdo a lo establecido en la Resolución 1280 de 2010⁶⁶, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 81. Costos etapa de posclausura
Pesos de junio de 2012 (Pagos anuales)

Ítem	RSU 1	RSU 2	RSU 3
Personal	\$ 245.493.417	\$ 122.746.709	\$ 25.885.771
Mantenimiento cerramiento (cerca perimetral) en alambre de púas	\$ 4.696.085	\$ 2.817.186	\$ 1.115.437
Mantenimiento área de aislamiento	\$ 1.039.273	\$ 559.531	\$ 97.438
Mantenimiento chimeneas de evacuación de gases	\$ 735.052.866	\$ 125.719.416	\$ 48.575.111
Mantenimiento del alumbrado y los equipos de comunicación interna	\$ 3.637.234	\$ 2.413.820	\$ 267.171
Actividades Plan de Manejo Ambiental Etapa Posclausura			
Interventoría ambiental	\$ 289.590.777	\$ 289.590.777	\$ 25.431.622
Preparación de informe periódico de cumplimiento ambiental	\$ 10.501.625	\$ 5.878.880	\$ 0
Pago de seguimiento ambiental a la operación (anual)	\$ 18.363.325	\$ 11.574.635	\$ 1.697.798
Ensayos de monitoreo (aguas, aire)	\$ 128.332.741	\$ 94.909.502	\$ 0
Compensación forestal (Siembra)	\$ 74.785.395	\$ 21.208.364	\$ 4.266.310
Mantenimiento de la vegetación	\$ 37.392.697	\$ 10.604.182	\$ 2.133.155
Subtotal Costos Etapa de Posclausura	\$ 1.548.885.435	\$ 688.023.002	\$ 109.469.813

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

6.5.3 Costo máximo de disposición final

A partir de los costos calculados del modelo de ingeniería, se calcula para cada uno de los tres tipos de relleno sanitario el costo medio de inversión y el valor presente de las inversiones, teniendo en cuenta el valor presente de las toneladas dispuestas durante la vida útil, afectados ambos datos por la tasa de descuento.

Tabla 82. Costo de disposición final por tipo de relleno
Pesos de junio de 2012

Costo	RSU 1	RSU 2	RSU 3
-------	-------	-------	-------

⁶⁶ "Por la cual se establece la escala tarifaria para el cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de las licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de manejo y control ambiental para proyectos cuyo valor sea inferior a 2.115 SMLMV y se adopta la Tabla única para la aplicación de los criterios definidos en el sistema y método definido en el artículo 96 de la Ley 633 para la liquidación de la tarifa"

CMI (Costo Medio de Inversión)	\$ 6.567	\$ 9.281	\$ 45.169
VPI (\$ junio de 2012)	\$ 20.463.025.340	\$ 6.777.454.689	\$ 1.099.536.030
VPD (Toneladas)	\$ 3.115.865	\$ 730.281	\$ 24.343
CMO (Costo Medio de Operación)	\$ 11.898	\$ 18.597	\$ 71.280
CO Mes (\$ junio de 2012/mes)	\$ 456.882.409	\$ 167.376.117	\$ 21.384.065
VD Mes (Toneladas/mes)	\$ 38.400	\$ 9.000	\$ 300
CMPC (Costo Medio de Posclausura/ ton)	\$ 456	\$ 1.284	\$ 5.169
CPC Mes (\$ junio de 2012/mes)	\$ 17.512.303	\$ 11.560.267	\$ 1.550.684
VD Mes (ton/mes)	\$ 38.400	\$ 9.000	\$ 300
Costo medio total CDF (\$ junio de 2012/ton)	\$ 18.921	\$ 29.162	\$ 121.618
Costo medio total CDF (\$ dic de 2014/ton)	\$ 19.876	\$ 30.633	\$ 127.753

Fuente: Modelo CRA - Excel CDF.

Estos datos constituyen la base del cálculo de la función en el componente de disposición final durante la etapa de operación del relleno sanitario. La forma de esta función ($y = a + b/x$), busca que los costos de disposición final por tonelada, en términos operativos y ambientales, sean menores si se logra acceder a sitios de disposición final con mayor capacidad, reconociendo las economías de escala que se adquieren a través de la regionalización o en mercados grandes por sí solos.

Se ha asumido que las economías de escala de un relleno sanitario se producen por el peso del costo fijo de las inversiones, y en consecuencia el costo total operativo bajo una misma tecnología es una función lineal de las toneladas dispuestas, que corta el eje de las ordenadas (en este caso el costo) en un punto igual a dicho costo fijo. Así, el costo operativo por tonelada, CODF, es una función de la forma:

$$CODF = a + (b/T)$$

Se estimó esta función a partir de dos puntos: uno, RSU 2 con 300 ton/día y un costo por tonelada de \$30.633 por tonelada, y dos, RSU 1 con 1280 toneladas/día y un costo de \$19.876 por tonelada a precios de diciembre de 2014, calculado como el costo de RSU 1. Con estos dos puntos se plantean las siguientes ecuaciones:

$$CDFRSU 1 = a + (b/TRSU 1)$$

$$CDFRSU 2 = a + (b/TRSU 2)$$

Las variables CDFRSU1 y CDFRSU2 corresponden al valor resultante de los modelos parametrizados de ingeniería, en los cuales se tomó el valor presente de los flujos de costos del relleno a 20 años y se dividieron por el valor presente de las toneladas a disponer.

Entonces:

$$19.876 = a + (b/1280)$$

$$30.633 = a + (b/300)$$

Igualando ambas ecuaciones despejando a y b, se tiene:

$$b = 132.924.379$$

$$a = 18.722$$

Por lo tanto la función expresada a pesos de junio de 2012 es la siguiente:

$$CDF_{VU} = 18.722 + (132.924.379/T)$$

Para los mercados pequeños, el relleno puede resultar muy costoso. Se obtiene un costo operativo de \$139.896 a pesos de diciembre de 2014 por tonelada para el RSU 3, de 10 ton/día. A partir de este tamaño, de una parte, se incrementa de manera importante el costo de un relleno manual, hasta el punto en que es mejor mecanizarlo. Por otra parte el costo de un relleno mecanizado sólo desciende a partir de unas 90 ton/día. Es decir, por encima de 10 y menos de 90 ton/día, el costo de disposición puede crecer de una manera desproporcionada.

Para determinar el precio techo por tonelada, a precios de diciembre de 2014, dispuesta se aplica el valor mínimo como se expresa en la siguiente fórmula:

$$CDF_{VU} = \min \left\{ \left(18.722 + \frac{132.924.379}{\overline{QRS}} \right), 139.896 \right\}$$

Donde:

CDF_{VU} : Costo máximo a reconocer por tonelada, por vida útil de 20 años, en el sitio de disposición final (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

$Min ()$: Función que exige escoger el menor de los dos valores separados por coma.

\overline{QRS} : Promedio mensual de residuos sólidos del semestre que corresponda que se reciben en el sitio de disposición final de acuerdo a lo definido en el artículo 4 de la Resolución 720 de 2015. En caso de personas prestadoras que inicien actividades con posterioridad a la entrada en vigencia de ésta, podrán utilizar periodos inferiores hasta acumular seis (6) meses.

Los recursos de clausura y posclausura deben provisionarse y constituir un encargo fiduciario, que se incluye en los costos, para disponer de ellos en la medida en que se requiera realizar clausuras parciales o al final de la vida útil (depende de la forma como se diseñe el proyecto). Para determinar la cantidad de dinero a provisionar, también se construyó una curva que establece el costo medio de clausura y posclausura, mediante la metodología descrita anteriormente y se incluyó una variable de tiempo, para aquellos rellenos sanitarios en los cuales la autoridad ambiental defina que dicha etapa debe ser mayor a 10 años. Por tanto el operador del relleno deberá provisionar el valor resultante de la siguiente ecuación, expresada a pesos de diciembre de 2014:

$$CDF_{PC} = \min \left\{ \left(242 + \frac{11,652,352}{\overline{QRS}} \right); 6,185 \right\} * k$$

$$k = 0,8211 * \ln(10 + \Delta T) - 0,8954$$

Donde:

CDF_{PC} : Costo máximo a reconocer por tonelada, por período de la etapa de posclausura de diez (10) años, en el sitio de disposición final (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

k : Factor que involucra el costo adicional por una duración superior a diez (10) años de la etapa de posclausura del relleno sanitario, según la exigencia de la autoridad ambiental.

Δt : Período adicional a diez (10) años de la posclausura del relleno sanitario, que ha sido aprobado por la autoridad ambiental.

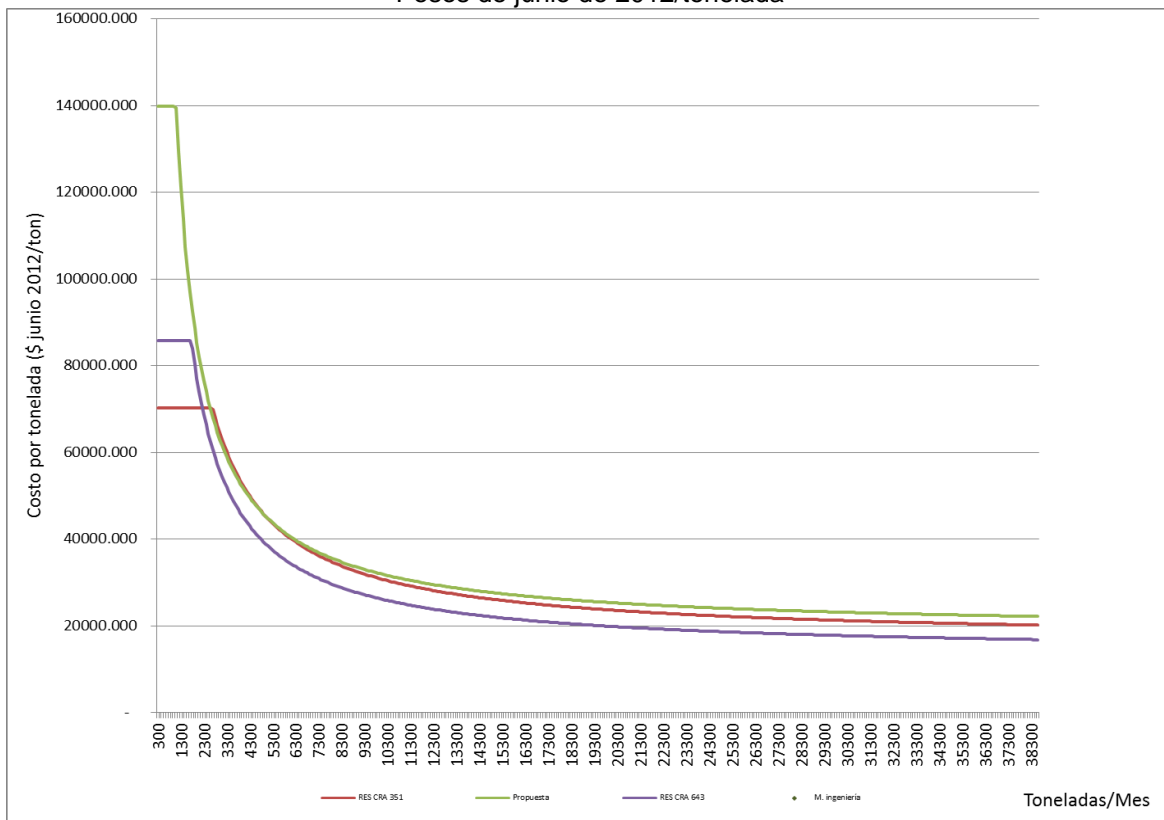
El factor k es el valor de ajuste de la función de costos en la etapa de post-clausura CDF_PC por aumento en su plazo, en los casos en los que dicho aumento sea exigido por la autoridad ambiental competente. Para rellenos sanitarios con plazo de posclausura de 10 años k será igual a 1.

Finalmente, el costo máximo a reconocer en el sitio de disposición final, está dado por:

$$CDF = CDF_VU + CDF_PC$$

De esta forma el costo por tonelada a remunerar disminuirá a medida que aumente la cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario.

Gráfica 11. Costo de Disposición Final
Pesos de junio de 2012/tonelada



Fuente: Cálculos CRA.

6.5.4 Costo de disposición final con aporte bajo condición

Cuando el valor total de los activos señalados en el párrafo anterior es aportado por una entidad pública, la proporción de costo de capital en que se reduciría el costo total por tonelada para el CDF es el siguiente, de acuerdo al tamaño del relleno sanitario:

Tabla 83. % Costo de capital de acuerdo al tipo de relleno

Tipo de Relleno	Promedio toneladas/día último año	% Costo de Capital (ρ)
RSU 1	Mayor a 791	21%

Tipo de Relleno	Promedio toneladas/día último año	% Costo de Capital (ρ)
RSU 2	Desde 156 hasta 791	32%
RSU 3	Menor a 156	37%

Fuente: Cálculos CRA.

Cuando el aporte de la entidad pública es parcial, el CDF con aportes bajo condición se define de acuerdo con la siguiente función:

$$CDF_{ABC} = (1 - \rho * fCK) * CDF$$

Donde:

- CDF_{ABC} : Costo de Disposición Final con Aporte Bajo Condición (pesos de diciembre de 2014/tonelada).
- CDF : Costo de Disposición Final (pesos de diciembre de 2014/tonelada).
- fCK : Fracción del costo de capital aportado bajo condición.
- ρ : Proporción del costo total que corresponde al costo de capital, definido en el presente artículo.

De esta forma, fCK se determinará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$fCK = \frac{VA_{CDF_{ABC}}}{VA_{CDF}}$$

Donde:

- $VA_{CDF_{ABC}}$: Valor del total de los activos aportados para la actividad de Disposición Final (pesos de diciembre de 2014).
- VA_{CDF} : Valor del total de los activos de la persona prestadora para la actividad de Disposición Final (pesos de diciembre de 2014).

6.6 COSTO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS (CTL)

El tratamiento de lixiviados corresponde a una actividad fundamental de la operación y de la posclausura de la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU). Los costos asociados a esta actividad dependen de dos factores:

- Cantidad y composición del lixiviado.
- Objetivos de tratamiento impuestos por la autoridad ambiental competente.

A nivel mundial, las autoridades ambientales fijan la calidad del vertimiento de lixiviados (objetivos de calidad), en función de los impactos ambientales que el lixiviado puede ocasionar de acuerdo con la cantidad y composición. En un gran número de países las autoridades ambientales establecen los objetivos del tratamiento de lixiviados a través de límites máximos permisibles de algunas sustancias de interés.

Idealmente, estos objetivos de tratamiento deberían reflejar las características locales de cada situación específica, que es determinada por la autoridad ambiental competente. De estas características locales, la

fuente receptora del efluente del sistema de tratamiento juega un papel esencial. Los objetivos de tratamiento deben garantizar que los usos del agua establecidos con anterioridad en el ordenamiento de dicha fuente hídrica, no se vean amenazados por el vertimiento del efluente del sistema de tratamiento de lixiviados.

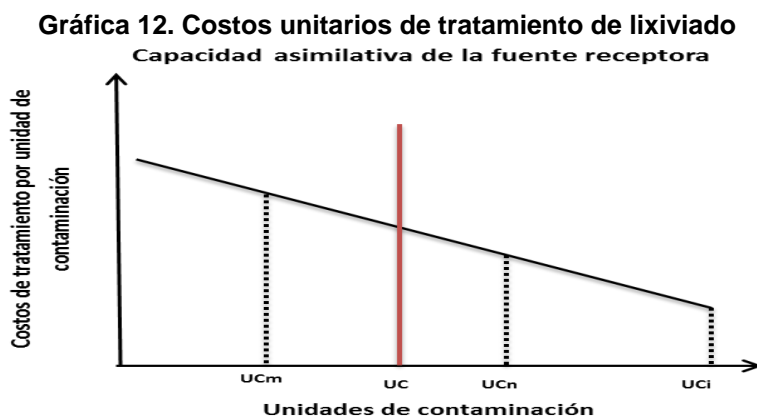
La eficiencia de los costos de tratamiento de lixiviados se encuentra relacionada, de una parte, con el cumplimiento de los objetivos de calidad impuestos por la autoridad ambiental, y de otra, con los costos mínimos asociados a alcanzar dichos objetivos. Por lo tanto, de lo anterior se desprende que los costos eficientes del tratamiento de lixiviados serán aquellos ocasionados por cumplir con los objetivos de calidad, al menor costo. En consecuencia, la regulación tarifaria debe estar orientada a reconocer tales costos eficientes.

Teóricamente pueden presentarse dos situaciones:

- Los objetivos de calidad fijados no reconocen la capacidad asimilativa de la fuente receptora y por ende se exigen remociones exageradas de contaminantes en el sistema de tratamiento, esta situación puede presentarse en lo que se refiere a carga orgánica.
- Los objetivos de tratamiento fijados son muy laxos o inexistentes y no reconocen la escasa capacidad asimilativa de la fuente receptora. Esto implica, que aun cumpliendo con los objetivos de calidad establecidos, el efluente del sistema de tratamiento de lixiviado puede ocasionar impactos negativos de consideración en la fuente receptora. Esta situación puede presentarse por ejemplo para el nitrógeno amoniacal.

Lo anterior se ilustra en la siguiente gráfica, en donde se relacionan unidades de contaminación en las abscisas, por ejemplo kg de DBO_5 o kg de N-NH_4 , con los costos unitarios de tratar dicha contaminación en las ordenadas. En el punto inicial, no hay tratamiento y las unidades de contaminación corresponden a UC_i . La pendiente negativa de la recta indica que en la medida en que se va tratando el lixiviado, el costo del tratamiento por unidad de contaminación se incrementa. Esta particularidad, se evidencia en los costos de los denominados tratamientos terciarios o de pulimento.

Ahora, asumiendo que se ha logrado cuantificar la capacidad asimilativa de la fuente y que la misma corresponde a UC^* , se puede enunciar que los costos eficientes para el tratamiento de lixiviado son aquellos que corresponden de tratar desde UC_i hasta UC^* . Los costos asociados a cualquier tratamiento hasta un nivel diferente a UC^* resultan por definición ineficiente: por un lado, a la izquierda de UC^* la ineficiencia aparece porque se está tratando en exceso desconociendo la capacidad asimilativa de la fuente receptora, y de otro, a la derecha de UC^* , la ineficiencia se manifiesta porque el nivel de tratamiento es insuficiente, y por ende, se está ocasionando un impacto negativo en la calidad de agua de la fuente receptora.

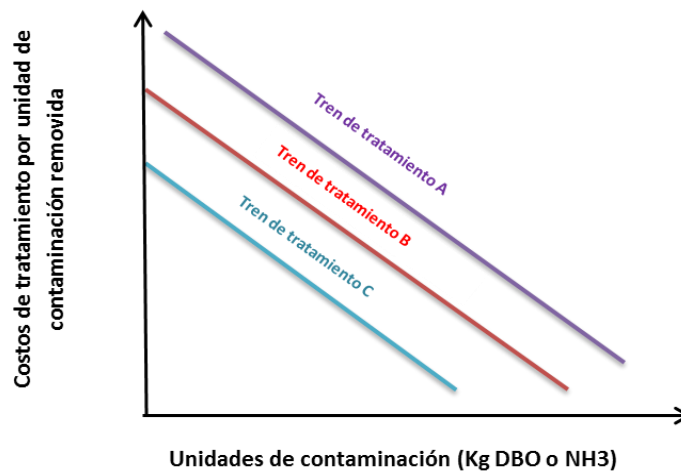


Fuente: CRA

Los costos de tratamiento, se pueden expresar con una función de los kilogramos del contaminante de interés que se deben remover del lixiviado. Como se ha mencionado, esto dependerá de los objetivos de calidad a

cumplir y por ende se encuentran directamente relacionados con las normas de vertimiento que las autoridades ambientales establecen. En general, no es sencillo acceder a información relacionada con costos reales de inversión inicial, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de lixiviado en el país; pero si esta dificultad se pudiera superar, sería muy útil construir curvas como las presentadas en la gráfica siguiente, en donde se relacionan los costos unitarios de remoción de un contaminante de interés para diferentes trenes de tratamiento.

Gráfica 13. Costos para un caso específico de tratamiento de lixiviados



Fuente: CRA

Las curvas presentadas, por simplicidad del argumento se han trazado como líneas rectas. Esta figura permite, para una situación específica, determinar (simular) los costos unitarios de tratamiento, es decir, el costo asociado a remover un kilogramo de DBO_5 , NH_3 o de cualquier contaminante, para diferentes trenes de tratamiento. Una vez se establezca el tipo de la carga (orgánica y/o nitrogenada ya sea alta, media o baja), se determinan los costos para una situación específica considerando dentro del análisis, los objetivos de calidad.

Anteriormente se definió UC_i como el tiempo cero, o punto de partida, donde no hay tratamiento de lixiviados, y UC^* como las unidades de contaminación correspondientes a cumplir con los objetivos de tratamiento establecidos por la autoridad ambiental. La aplicación del tren de tratamiento de referencia permite entonces pasar de UC_i a UC^* y sus costos asociados son el área bajo la curva. En consecuencia, dichos costos se pueden considerar como precio máximo.

Actualmente, existe una oferta tecnológica muy amplia que permite cumplir con los objetivos de calidad más exigentes, y será una responsabilidad de los operadores seleccionar aquellas alternativas tecnológicas que permitan alcanzar las eficiencias de remoción de los contaminantes exigidos por las autoridades ambientales a los menores costos. Se subraya en este punto, la importancia de que los prestadores del servicio, lleven a cabo procesos juiciosos y rigurosos de selección de tecnología costo-eficiente para el tratamiento de lixiviados, ya que la regulación tarifaria sólo reconoce aquella condición que haya sido exigida por la Autoridad Ambiental.

Para determinar si los costos de tratamiento de lixiviado de un determinado relleno sanitario son eficientes, el prestador debe cumplir un proceso riguroso de selección de tecnología en donde se evidencie que la opción tecnológica, tren de tratamiento, seleccionada cumple con las siguientes condiciones:

- a) Cumple los objetivos de tratamiento.

- b) Presenta costos iguales o inferiores a otras opciones tecnológicas que también permiten cumplir los objetivos de tratamiento.

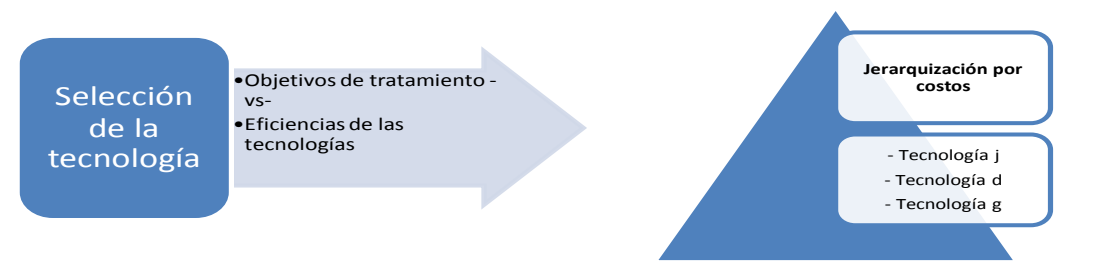
Con el fin de lograr dicho propósito, se requiere implementar un modelo simplificado de selección de tecnología para el tratamiento tal como el que se presenta en la gráfica siguiente. Las opciones tecnológicas de los trenes de tratamiento se representan con flechas, mientras los criterios de selección corresponden a triángulos o rectángulos. Los criterios de selección actúan como filtros a través de los cuales puede acceder o no, a las diferentes opciones tecnológicas. El paso de una opción tecnológica a través de un criterio dependerá de si la misma satisface o no, ciertos criterios previamente establecidos.

El propósito es obtener aquellas tecnologías, que habiendo logrado pasar los diferentes filtros, tienen las mejores características para contribuir a la sostenibilidad de las inversiones y al tratamiento de lixiviado.

En el modelo simplificado de selección de tecnología, que se presenta en la siguiente gráfica se reconocen los siguientes criterios:

- Criterio 1A. Objetivos de tratamiento.** Se definen en función del destino final o uso del efluente del tratamiento. Estarán orientados hacia la remoción de contaminantes específicos tales como materia orgánica y nitrógeno amoniacal.
- Criterio 1B. Eficiencias de tratamiento que garanticen los objetivos de tratamiento** Se refiere a la eficiencia de cada una de las opciones tecnológicas para remover los contaminantes que hacen parte de los objetivos de tratamiento. En este punto el área disponible para la planta de tratamiento juega un papel fundamental, al momento de evaluar tecnologías extensivas en comparación con las tecnologías intensivas.
- Criterio 2. Jerarquización por costos.** Aquellas tecnologías que pasan a través de los criterios 1A y 1B se jerarquizan de acuerdo con los costos totales de tratamiento donde se incluyen inversión, operación y mantenimiento.

Gráfica 14. Modelo simplificado de selección de tecnología para el tratamiento de lixiviados



Fuente: CRA

En este modelo simplificado de selección de tecnología se reconocen los siguientes criterios:

- Criterio 1A. Objetivos de tratamiento.** Se definen en función del destino final o uso del efluente del tratamiento. Estarán orientados hacia la remoción de contaminantes específicos tales como materia orgánica y nitrógeno amoniacal.
- Criterio 1B. Eficiencias de tratamiento que garanticen los objetivos de tratamiento** Se refiere a la eficiencia de cada una de las opciones tecnológicas para remover los contaminantes que hacen parte de los objetivos de tratamiento. En este punto el área disponible para la planta de tratamiento juega un papel fundamental, al momento de evaluar tecnologías extensivas en comparación con las tecnologías intensivas.

- f. **Criterio 2. Jerarquización por costos.** Aquellas tecnologías que pasan a través de los criterios 1A y 1B se jerarquizan de acuerdo con los costos totales de tratamiento donde se incluyen inversión, operación y mantenimiento.

Construcción del modelo

A partir de la exigencia de realizar un proceso de selección de tecnología riguroso por parte de la empresa, se definen los siguientes pasos para determinar si los costos asociados al tratamiento de lixiviados son eficientes:

- Determinar las cargas contaminantes de las sustancias de interés en función del tiempo y de las fases de operación del relleno sanitario. El prestador debe calcular estas cargas en función de la caracterización del lixiviado, así como las proyecciones en cantidad y calidad durante toda la vida útil del relleno.
- Examinar los objetivos de tratamiento que la autoridad ambiental haya establecido para cada una de las sustancias de interés (Criterio 1A del modelo simplificado de selección de tecnología).
- Comprobar que se hayan considerado un buen número de alternativas tecnológicas en los trenes de tratamiento (Criterio 1B del modelo simplificado de selección de tecnología).
- Comprobar que varias opciones tecnológicas pasan a través del Criterio 1.
- Verificar que entre las opciones tecnológicas que han accedido a través del Criterio 1 se ha seleccionado aquella que representa al costo mínimo, después de considerar todos los costos de inversión, operación y mantenimiento (Criterio 2).

6.6.1 Definición de escenarios de calidad

Con el propósito de calcular los costos eficientes de tratamiento de lixiviado, se definieron cuatro (4) escenarios de calidad/tratamiento en función de los posibles objetivos de calidad que las autoridades ambientales pueden establecer. Seguidamente, para cada uno de estos escenarios se selecciona un tren de tratamiento de referencia, que determina el costo eficiente de los procesos unitarios que lo componen, sobre el cual se calcula el costo de referencia asociado como precio máximo.

A continuación se describen los escenarios definidos, indicando los trenes de tratamiento de referencia y sus costos asociados. Asimismo, las funciones de costos para cada uno de los escenarios fueron construidas a partir de bibliografía internacional⁶⁷ y ajustadas con base en los costos de tratamiento reportados por algunos operadores en el país.

a) Escenario 1

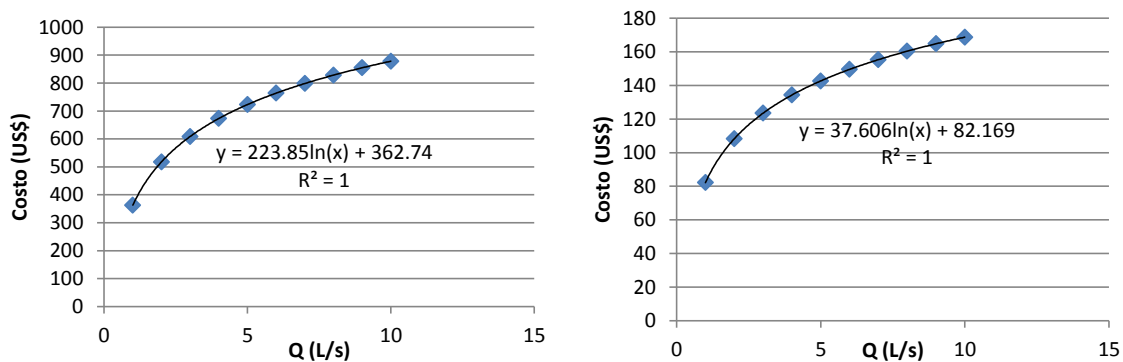
Este escenario corresponde a los objetivos de tratamiento menos exigentes, los cuales se concentran en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos. Para alcanzar dichos objetivos de tratamiento se propone contar con una unidad de tratamiento fisicoquímico y una unidad de tratamiento biológico.

- Objetivo de calidad: Remover materia orgánica y sólidos suspendidos.
- Tren de tratamiento:
 - Tratamiento fisicoquímico: Coagulación-floculación+precipitación.
 - Tratamiento biológico: Oxidación aerobia (lodos activados y variantes).

⁶⁷ Bibliografía citada al final del presente documento.

- Costos: En las siguientes gráficas se presentan las funciones de los costos de inversión y de operación y mantenimiento en función del caudal en litros/segundo, para el tren de tratamiento de referencia del escenario uno.

Gráfica 15. Función de costos de inversión y de operación y mantenimiento Escenario 1
Miles de dólares de 2013



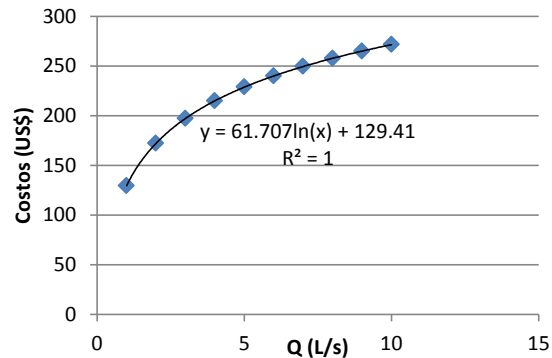
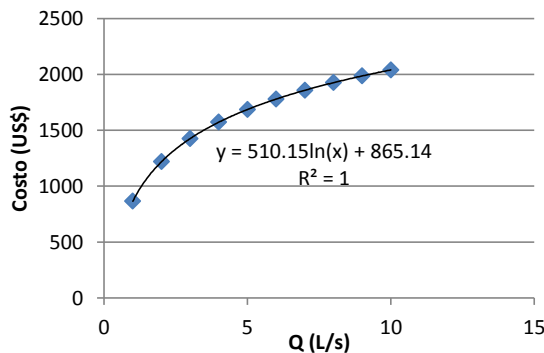
Fuente: Datos referencias bibliográficas, cálculos CRA.

b) Escenario 2

En este escenario se adiciona la remoción de nitrógeno a las remociones exigidas en el escenario anterior. En consecuencia, para alcanzar la remoción de nitrógeno se deben agregar unidades de denitrificación.

- Objetivo de calidad: Remover sólidos suspendidos, materia orgánica y nitrógeno.
- Tren de tratamiento:
 - Tratamiento fisicoquímico: Coagulación-floculación+precipitación.
 - Tratamiento biológico: Oxidación aerobia (lodos activados y variantes) + Nitrificación.
 - Denitrificación.
- Costos: En las siguientes gráficas se presentan las funciones de los costos de inversión y operación y mantenimiento en función del caudal en litros/segundo, para el tren de tratamiento de referencia del escenario dos.

Gráfica 16. Función de costos de inversión y de operación y mantenimiento Escenario 2
Miles dólares de 2013



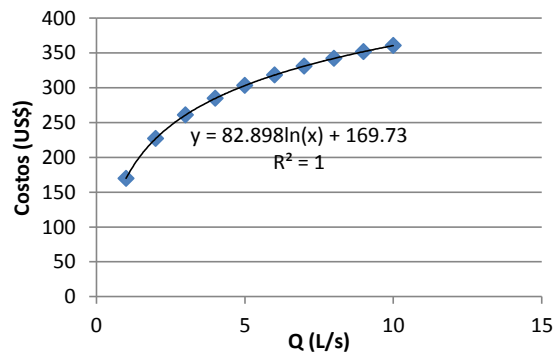
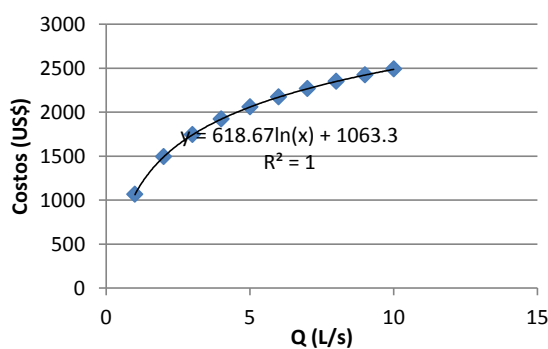
Fuente: Datos referencias bibliográficas, cálculos CRA.

c) Escenario 3

En este escenario se contemplan las exigencias del Escenario 1 adicionando otras sustancias orgánicas e inorgánicas de interés sanitario. Es importante resaltar que en este escenario no se contempla la remoción de nitrógeno. Así, para alcanzar dichos objetivos de calidad, se plantea contar con una unidad de tratamiento fisicoquímico, una unidad de tratamiento biológico y una unidad de filtración por membranas.

- Objetivo de calidad: Remover sólidos suspendidos, materia orgánica y algunas sustancias orgánicas e inorgánicas de interés sanitario.
- Tren de tratamiento:
 - Tratamiento fisicoquímico: Coagulación-floculación+precipitación.
 - Tratamiento biológico: Oxidación aerobia (lodos activados y variantes).
 - Filtración por membranas: Ósmosis inversa.
- Costos: En las siguientes gráficas se presentan las funciones de los costos de inversión y operación y mantenimiento en función del caudal en litros/segundo, para el tren de tratamiento de referencia del escenario tres.

Gráfica 17. Función de costos de inversión y de operación y mantenimiento Escenario 3
Miles dólares de 2013



Fuente: Datos referencias bibliográficas, cálculos CRA.

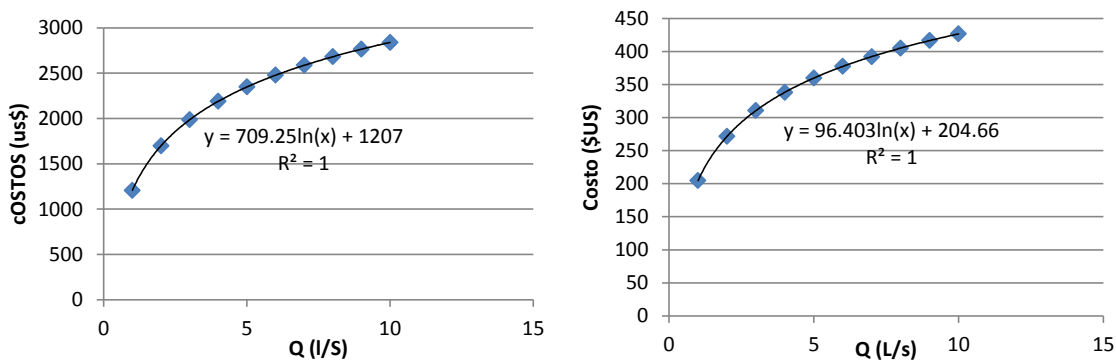
d) Escenario 4

Este escenario corresponde a los objetivos de calidad más exigentes, que están asociados a la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno y sustancias orgánicas e inorgánicas de interés sanitario. Para

alcanzar dichos objetivos de calidad, se plantea contar con una unidad de tratamiento fisicoquímico, una unidad de tratamiento biológico con denitrificación y una unidad de filtración por membranas.

- Objetivos de calidad: Remover sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno y algunas sustancias orgánicas e inorgánicas de interés sanitario.
- Tren de tratamiento:
 - Tratamiento fisicoquímico: Coagulación-floculación+precipitación.
 - Tratamiento biológico: Oxidación aerobia (lodos activados y variantes) + Nitrificación.
 - Denitrificación.
 - Filtración por membranas: Ósmosis Inversa.
- Costos: en las siguientes gráficas se presentan las funciones de los costos de inversión y operación y mantenimiento para el tren de tratamiento de referencia del escenario cuatro.

Gráfica 18. Función de costos de inversión y de operación y mantenimiento Escenario 4
Miles dólares de 2013



Fuente: Datos referencias bibliográficas, cálculos CRA.

e) Escenario 5

Se definió como escenario 5 la recirculación de los lixiviados, para que el prestador al que la autoridad ambiental no le exija tratamiento pueda aplicar el costo a este tipo de manejo de los lixiviados. Se aclara que este sistema de manejo no se puede considerar como una opción de tratamiento ya que es equivalente a un sistema de almacenamiento, y una vez haya alcanzado la capacidad volumétrica se debe proceder con el tratamiento.

La recirculación de lixiviado se puede implementar por los siguientes motivos:

- Incrementar el contenido de humedad y proveer una distribución uniforme de nutrientes y enzimas en el cuerpo de residuos dispuestos.
- Mejorar la calidad del lixiviado.
- Reducir los tiempos de estabilización.

Sin embargo, la recirculación de lixiviados podría acarrear los siguientes inconvenientes:

- Altas tasas de recirculación pueden afectar la degradación anaerobia de los residuos sólidos.
- Altos contenidos de ácidos orgánicos (como consecuencia de la recirculación) pueden inhibir la actividad metanogénica.
- Saturación.

Por lo anterior, la recirculación de lixiviado se puede implementar para mejorar la calidad del lixiviado y para acelerar los procesos de estabilización de los residuos dispuestos, siempre y cuando las tasas empleadas no sean excesivas para evitar los problemas mencionados, pero en ningún caso la recirculación puede reemplazar al sistema de tratamiento.

En la tabla a continuación se muestra el resumen de cada uno de los tratamientos incluidos para los cuatro escenarios mencionados anteriormente.

Tabla 84. Resumen objetivos de calidad

Objetivo de Calidad de remoción de contaminantes	Trenes de tratamiento		
	Físico/químico	Biológico	Filtración por membranas
Escenario 1	Opciones	Opciones	
SS, materia orgánica	Coagulación/floculación + precipitación	Tratamiento aerobio	
	Adsorción	Tratamiento anaerobio	n.a.
	Oxidación química		
Escenario 2	Opciones	Opciones	
SS, materia orgánica	Coagulación/floculación + precipitación	Tratamiento aerobio + Nitrificación	
	Nitrógeno	Tratamiento anaerobio + Denitrificación	n.a.
	Oxidación química		
Escenario 3	Opciones	Opciones	Opciones
SS, materia orgánica	Coagulación-floculación + precipitación	Tratamiento aerobio	Microfiltración
Sustancias inorgánicas, Compuestos orgánicos	Adsorción	Tratamiento anaerobio	Ultrafiltración
	Oxidación química		Osmosis inversa
Escenario 4	Opciones	Opciones	Opciones
SS, materia orgánica, Nitrógeno,	Coagulación/floculación + precipitación	Tratamiento aerobio + Nitrificación	Microfiltración
	Sustancias inorgánicas, Compuestos orgánicos	Tratamiento anaerobio + Denitrificación	Ultrafiltración
	Oxidación química		Osmosis inversa
Escenario 5. Recirculación	n.a.	n.a.	n.a.

Fuente: Estudio consultor Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico -CRA.

6.6.2 Costo máximo de tratamiento de lixiviados

A partir de los costos de tratamiento reportados en la literatura citada en la bibliografía, se construyó el modelo del Costo de Tratamiento de Lixiviados (CTL), que para Resolución CRA 710 de 2015 se construyó una función por cada escenario que depende el caudal, de manera que el precio techo lo calcula cada prestador con base en el caudal y escenario de remoción de contaminantes que le haya fijado y aprobado la autoridad ambiental en el respectivo permiso o licencia ambiental.

La consulta de los costos de base, a nivel internacional fue amplia y está referenciada en la bibliografía a final del documento. Lo anterior, debido a que no existe suficiente información a nivel nacional de costos de inversión y operación de plantas de tratamiento de lixiviados, a partir de los cuales se pudiera construir una función propia.

Con base en las funciones de costos de inversión y operación para cada uno de los escenarios, se procedió a estimar el valor presente neto de los costos de inversión y operación, en función del caudal, de manera que se

reflejen las economías de escala y el prestador pueda calcular su precio techo para el caudal instalado de la planta. En este aspecto es conveniente precisar que el prestador debe adoptar la alternativa de mínimo costo y realizar el análisis costo-beneficio de construir una planta para el periodo de diseño del relleno sanitario o por etapas.

Para el modelo de la Resolución CRA 720 de 2015, se realizaron varios ajustes producto de las observaciones de participación ciudadana y del análisis realizado por la Comisión para lograr remunerar de manera costo eficiente la actividad, como se describe a continuación.

En primer lugar se ajusta el precio de la función de inversión por las variaciones de la Tasa Representativa de Mercado TRM a diciembre de 2014, de \$2.394,46. Los costos se actualizan a esta fecha. Para trasladar a pesos de diciembre de 2014, se actualizaron los valores a dólares a diciembre de 2014, con la inflación de Estados Unidos; y posteriormente se hace el cambio a pesos con la TRM.

Se adicionaron los análisis de laboratorio que deben ser presentados a la autoridad ambiental dos veces al año (en dos puntos de muestreo), según el artículo 2.3.2.3.3.2.10 del Decreto 1077 de 2015 y uno mensual (en dos puntos) para control de la planta de tratamiento de lixiviados que debe realizar el prestador.

En los análisis del cálculo del precio máximo, se incluyó un periodo de operación del relleno sanitario de 20 años y un periodo de posclausura de 10 años. En el primer periodo, el prestador recauda los recursos necesarios para el segundo. Por lo tanto, se separaron en el modelo, los costos correspondientes a las etapas de la vida útil del relleno *CTLM_VU* y de posclausura *CTLM_PC*, por cada escenario de calidad.

Adicionalmente, considerando que la autoridad ambiental le requiera al prestador un tiempo adicional a diez (10) años para la etapa de posclausura (Δt), se construyó factor constante (k) que multiplica la función de costos de esta etapa, que es función del incremento en el plazo de posclausura, soportado en el acto administrativo que expida dicha autoridad.

La persona prestadora de la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados deberá constituir un encargo fiduciario con los recursos que facture por concepto de *CDF_PC* y *CTL_PC* máximos, los cuales serán destinados, incluido sus rendimientos, exclusivamente para garantizar todas las actividades y obras requeridas para las etapas de clausura y posclausura, acorde con lo establecido en el artículo 19 del Decreto 838 de 2005 expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o el que lo modifique, sustituya o adicione.

En relación con el fideicomiso para la reserva de los recursos necesarios para financiar las etapas de clausura y posclausura, que se han recaudado durante los veinte (20) años de vida útil del relleno sanitario, se considera que éstos deben tener una rentabilidad con tasa mínima de los fondos de pensiones conservadores por ser la de mayor plazo (36 meses) y segura (garantizada). El valor de la rentabilidad mínima es calculada después de descontar la comisión de la fiduciaria por su administración.

En relación con escenario de recirculación, también se separaron los costos y tarifas en dos etapas. Se ajustó el volumen de la laguna de lixiviados, su impermeabilización y los plazos para reposición de las dos motobombas, que será cada dos años.

En resumen el precio techo del tratamiento de lixiviados por metro cúbico tratado, se calcula de la siguiente forma, para el escenario que le aplique con base en el requerimiento de la autoridad ambiental:

$$CTLM = CTLM_{VU} + CTLM_{PC}$$

Tabla 85. Función de Precio Techo por metro cúbico (m³) de lixiviado tratado por objetivo de calidad
Pesos de diciembre de 2014/m³

Escenario	Costo de tratamiento de lixiviados por vida útil	Costo de tratamiento de lixiviados por etapa de posclausura de 10 años
-----------	--	--

Escenario	Costo de tratamiento de lixiviados por vida útil	Costo de tratamiento de lixiviados por etapa de posclausura de 10 años
1	$CTLM_{VU_1} = \min\left\{8.139; 898 + \frac{44.781.608}{VI}\right\}$	$CTLM_{PC_1} = \min\left\{1.074; 102 + \frac{5.875.125}{VI}\right\} * k$
2	$CTLM_{VU_2} = \min\left\{14.918; 1.740 + \frac{82.290.106}{VI}\right\}$	$CTLM_{PC_2} = \min\left\{1.628; 167 + \frac{8.930.368}{VI}\right\} * k$
3	$CTLM_{VU_3} = \min\left\{18.787; 2.212 + \frac{103.676.696}{VI}\right\}$	$CTLM_{PC_3} = \min\left\{2.104; 225 + \frac{11.561.342}{VI}\right\} * k$
4	$CTLM_{VU_4} = \min\left\{21.820; 2.554 + \frac{120.381.714}{VI}\right\}$	$CTLM_{PC_4} = \min\left\{2.488; 261 + \frac{13.658.195}{VI}\right\} * k$
5	\$ 2.348	

Fuente: Cálculos CRA.

El factor que incluye el costo adicional del tratamiento de lixiviados después de los 10 años de base de posclausura, corresponde al factor k que multiplica el precio techo $CTLM_{PC}$ calculado para el escenario que corresponda, de la siguiente forma:

$$k = 0,8415 * \ln(10 + \Delta T) - 0,9429$$

Por último, para calcular el costo de tratamiento de lixiviados que resulta por metro cúbico, a costo de tratamiento de lixiviados por tonelada dispuesta en el relleno sanitario se aplica la siguiente fórmula:

$$CTL = \frac{(CTLM * VL) + CMTLX}{\overline{QRS}}$$

Donde:

CTL : Costo de Tratamiento de Lixiviados por tonelada en pesos de diciembre de 2014/tonelada.

$CTLM$: Costo de Tratamiento de Lixiviados máximo por metro cúbico, según el objetivo de calidad pesos de diciembre de 2014/m³.

VL : Volumen promedio mensual de lixiviados tratados del semestre que corresponda en m³/mes. En el caso de personas prestadoras que inicien actividades con posterioridad de la entrada en vigencia de la fórmula tarifaria, podrán utilizar períodos inferiores hasta acumular seis (6) meses.

$CMTLX$: Costo Generado por la Tasa Ambiental para el vertimiento del tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios, con referencia a la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de vertimientos. El costo a incluir corresponderá al cobro definido por la autoridad ambiental al usuario que realiza vertimientos puntuales en forma directa o indirecta al recurso hídrico, en \$/m³-mes, para el semestre anterior que corresponda.

\overline{QRS} : Promedio mensual del semestre que corresponda de las toneladas de residuos recibidas en el relleno sanitario en toneladas/mes.

A continuación se presenta la tabla que contiene los precios techo del tratamiento de lixiviados por metro cúbico para las etapas de vida útil, clausura y posclausura, con el fin de facilitar la consulta.

Tabla 86. Precio Techo en pesos por metro cúbico (m³) de lixiviado tratado - mes (CTLM)

Pesos diciembre 2014

litros/sg.	m3/mes	E1	E2	E3	E4
0,5	1.296	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
1	2.592	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
1,2	3.110	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
1,4	3.629	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
1,6	4.147	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
1,8	4.666	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
2	5.184	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
2,2	5.702	\$ 9.214	\$ 16.546	\$ 20.891	\$ 24.308
2,4	6.221	\$ 9.143	\$ 16.521	\$ 20.870	\$ 24.277
2,6	6.739	\$ 8.516	\$ 15.443	\$ 19.537	\$ 22.705
2,8	7.258	\$ 7.979	\$ 14.476	\$ 18.316	\$ 21.284
3	7.776	\$ 7.514	\$ 13.638	\$ 17.257	\$ 20.053
3,2	8.294	\$ 7.107	\$ 12.905	\$ 16.331	\$ 18.976
3,4	8.813	\$ 6.748	\$ 12.258	\$ 15.514	\$ 18.025
3,6	9.331	\$ 6.428	\$ 11.683	\$ 14.787	\$ 17.180
3,8	9.850	\$ 6.143	\$ 11.168	\$ 14.137	\$ 16.424
4	10.368	\$ 5.885	\$ 10.705	\$ 13.552	\$ 15.744
4,2	10.886	\$ 5.653	\$ 10.286	\$ 13.023	\$ 15.128
4,4	11.405	\$ 5.441	\$ 9.905	\$ 12.542	\$ 14.568
4,6	11.923	\$ 5.248	\$ 9.558	\$ 12.102	\$ 14.057
4,8	12.442	\$ 5.071	\$ 9.239	\$ 11.700	\$ 13.589
5	12.960	\$ 4.908	\$ 8.946	\$ 11.329	\$ 13.158
5,2	13.478	\$ 4.758	\$ 8.675	\$ 10.987	\$ 12.760
5,4	13.997	\$ 4.619	\$ 8.424	\$ 10.670	\$ 12.392
5,6	14.515	\$ 4.490	\$ 8.191	\$ 10.376	\$ 12.050
5,8	15.034	\$ 4.369	\$ 7.975	\$ 10.103	\$ 11.731
6	15.552	\$ 4.257	\$ 7.772	\$ 9.847	\$ 11.434
6,2	16.070	\$ 4.152	\$ 7.583	\$ 9.608	\$ 11.156
6,4	16.589	\$ 4.053	\$ 7.406	\$ 9.384	\$ 10.895
6,6	17.107	\$ 3.961	\$ 7.239	\$ 9.174	\$ 10.651
6,8	17.626	\$ 3.874	\$ 7.082	\$ 8.975	\$ 10.420
7	18.144	\$ 3.792	\$ 6.935	\$ 8.789	\$ 10.203
7,2	18.662	\$ 3.714	\$ 6.795	\$ 8.612	\$ 9.998
7,4	19.181	\$ 3.641	\$ 6.663	\$ 8.445	\$ 9.804
7,6	19.699	\$ 3.571	\$ 6.538	\$ 8.287	\$ 9.620
7,8	20.218	\$ 3.505	\$ 6.419	\$ 8.137	\$ 9.445
8	20.736	\$ 3.443	\$ 6.306	\$ 7.995	\$ 9.279
8,2	21.254	\$ 3.383	\$ 6.199	\$ 7.859	\$ 9.122
8,4	21.773	\$ 3.326	\$ 6.097	\$ 7.730	\$ 8.972
8,6	22.291	\$ 3.272	\$ 5.999	\$ 7.607	\$ 8.828
8,8	22.810	\$ 3.220	\$ 5.906	\$ 7.489	\$ 8.692
9	23.328	\$ 3.171	\$ 5.817	\$ 7.377	\$ 8.561
9,2	23.846	\$ 3.124	\$ 5.732	\$ 7.270	\$ 8.436
9,4	24.365	\$ 3.079	\$ 5.651	\$ 7.167	\$ 8.317
9,6	24.883	\$ 3.035	\$ 5.573	\$ 7.068	\$ 8.202
9,8	25.402	\$ 2.994	\$ 5.498	\$ 6.974	\$ 8.092
10	25.920	\$ 2.954	\$ 5.426	\$ 6.883	\$ 7.987
10,2	26.438	\$ 2.916	\$ 5.357	\$ 6.796	\$ 7.885

litros/sg.	m3/mes	E1	E2	E3	E4
10,4	26.957	\$ 2.879	\$ 5.291	\$ 6.712	\$ 7.788
10,6	27.475	\$ 2.843	\$ 5.227	\$ 6.632	\$ 7.694
10,8	27.994	\$ 2.809	\$ 5.166	\$ 6.554	\$ 7.604
11	28.512	\$ 2.776	\$ 5.106	\$ 6.479	\$ 7.517
11,2	29.030	\$ 2.745	\$ 5.049	\$ 6.407	\$ 7.433
11,4	29.549	\$ 2.714	\$ 4.994	\$ 6.337	\$ 7.352
11,6	30.067	\$ 2.684	\$ 4.941	\$ 6.270	\$ 7.273
11,8	30.586	\$ 2.656	\$ 4.889	\$ 6.205	\$ 7.198
12	31.104	\$ 2.628	\$ 4.840	\$ 6.142	\$ 7.125
12,2	31.622	\$ 2.602	\$ 4.792	\$ 6.082	\$ 7.054
12,4	32.141	\$ 2.576	\$ 4.745	\$ 6.023	\$ 6.986
12,6	32.659	\$ 2.551	\$ 4.700	\$ 5.966	\$ 6.920
12,8	33.178	\$ 2.526	\$ 4.656	\$ 5.911	\$ 6.855
13	33.696	\$ 2.503	\$ 4.614	\$ 5.857	\$ 6.793
13,2	34.214	\$ 2.480	\$ 4.573	\$ 5.805	\$ 6.733
13,4	34.733	\$ 2.458	\$ 4.533	\$ 5.755	\$ 6.675
13,6	35.251	\$ 2.437	\$ 4.495	\$ 5.706	\$ 6.618
13,8	35.770	\$ 2.416	\$ 4.457	\$ 5.659	\$ 6.563
14	36.288	\$ 2.396	\$ 4.421	\$ 5.613	\$ 6.509
14,2	36.806	\$ 2.376	\$ 4.385	\$ 5.568	\$ 6.457
14,4	37.325	\$ 2.357	\$ 4.351	\$ 5.525	\$ 6.407
14,6	37.843	\$ 2.338	\$ 4.317	\$ 5.482	\$ 6.357
14,8	38.362	\$ 2.320	\$ 4.285	\$ 5.441	\$ 6.309
15	38.880	\$ 2.303	\$ 4.253	\$ 5.401	\$ 6.263
15,2	39.398	\$ 2.285	\$ 4.222	\$ 5.362	\$ 6.217
15,4	39.917	\$ 2.269	\$ 4.192	\$ 5.324	\$ 6.173
15,6	40.435	\$ 2.252	\$ 4.163	\$ 5.287	\$ 6.130
15,8	40.954	\$ 2.237	\$ 4.134	\$ 5.251	\$ 6.088
16	41.472	\$ 2.221	\$ 4.106	\$ 5.216	\$ 6.047
16,2	41.990	\$ 2.206	\$ 4.079	\$ 5.182	\$ 6.007
16,4	42.509	\$ 2.191	\$ 4.053	\$ 5.148	\$ 5.969
16,6	43.027	\$ 2.177	\$ 4.027	\$ 5.116	\$ 5.931
16,8	43.546	\$ 2.163	\$ 4.002	\$ 5.084	\$ 5.893
17	44.064	\$ 2.149	\$ 3.977	\$ 5.053	\$ 5.857
17,2	44.582	\$ 2.136	\$ 3.953	\$ 5.022	\$ 5.822
17,4	45.101	\$ 2.123	\$ 3.930	\$ 4.992	\$ 5.787
17,6	45.619	\$ 2.110	\$ 3.907	\$ 4.963	\$ 5.754
17,8	46.138	\$ 2.098	\$ 3.884	\$ 4.935	\$ 5.721
18	46.656	\$ 2.085	\$ 3.862	\$ 4.907	\$ 5.688
18,2	47.174	\$ 2.073	\$ 3.841	\$ 4.880	\$ 5.657
18,4	47.693	\$ 2.062	\$ 3.820	\$ 4.854	\$ 5.626
18,6	48.211	\$ 2.050	\$ 3.799	\$ 4.828	\$ 5.596
18,8	48.730	\$ 2.039	\$ 3.779	\$ 4.802	\$ 5.566
19	49.248	\$ 2.028	\$ 3.759	\$ 4.777	\$ 5.537
19,2	49.766	\$ 2.018	\$ 3.740	\$ 4.753	\$ 5.509
19,4	50.285	\$ 2.007	\$ 3.721	\$ 4.729	\$ 5.481
19,6	50.803	\$ 1.997	\$ 3.702	\$ 4.706	\$ 5.454
19,8	51.322	\$ 1.987	\$ 3.684	\$ 4.683	\$ 5.427
20	51.840	\$ 1.977	\$ 3.667	\$ 4.660	\$ 5.401

litros/sg.	m3/mes	E1	E2	E3	E4
20,2	52.358	\$ 1.967	\$ 3.649	\$ 4.638	\$ 5.375
20,4	52.877	\$ 1.958	\$ 3.632	\$ 4.617	\$ 5.350
20,6	53.395	\$ 1.948	\$ 3.615	\$ 4.596	\$ 5.326
20,8	53.914	\$ 1.939	\$ 3.599	\$ 4.575	\$ 5.302
21	54.432	\$ 1.930	\$ 3.583	\$ 4.554	\$ 5.278
21,2	54.950	\$ 1.921	\$ 3.567	\$ 4.534	\$ 5.255
21,4	55.469	\$ 1.913	\$ 3.551	\$ 4.515	\$ 5.232
21,6	55.987	\$ 1.904	\$ 3.536	\$ 4.496	\$ 5.209
21,8	56.506	\$ 1.896	\$ 3.521	\$ 4.477	\$ 5.187
22	57.024	\$ 1.888	\$ 3.507	\$ 4.458	\$ 5.166
22,2	57.542	\$ 1.880	\$ 3.492	\$ 4.440	\$ 5.145
22,4	58.061	\$ 1.872	\$ 3.478	\$ 4.422	\$ 5.124
22,6	58.579	\$ 1.864	\$ 3.464	\$ 4.405	\$ 5.104
22,8	59.098	\$ 1.857	\$ 3.450	\$ 4.387	\$ 5.083
23	59.616	\$ 1.849	\$ 3.437	\$ 4.370	\$ 5.064
23,2	60.134	\$ 1.842	\$ 3.424	\$ 4.354	\$ 5.044
23,4	60.653	\$ 1.835	\$ 3.411	\$ 4.337	\$ 5.025
23,6	61.171	\$ 1.828	\$ 3.398	\$ 4.321	\$ 5.007
23,8	61.690	\$ 1.821	\$ 3.386	\$ 4.305	\$ 4.988
24	62.208	\$ 1.814	\$ 3.373	\$ 4.290	\$ 4.970
24,2	62.726	\$ 1.807	\$ 3.361	\$ 4.274	\$ 4.952
24,4	63.245	\$ 1.801	\$ 3.349	\$ 4.259	\$ 4.935
24,6	63.763	\$ 1.794	\$ 3.338	\$ 4.245	\$ 4.917
24,8	64.282	\$ 1.788	\$ 3.326	\$ 4.230	\$ 4.901
25	64.800	\$ 1.781	\$ 3.315	\$ 4.216	\$ 4.884
25,2	65.318	\$ 1.775	\$ 3.303	\$ 4.202	\$ 4.867
25,4	65.837	\$ 1.769	\$ 3.292	\$ 4.188	\$ 4.851
25,6	66.355	\$ 1.763	\$ 3.282	\$ 4.174	\$ 4.835
25,8	66.874	\$ 1.757	\$ 3.271	\$ 4.161	\$ 4.820
26	67.392	\$ 1.751	\$ 3.261	\$ 4.147	\$ 4.804
26,2	67.910	\$ 1.746	\$ 3.250	\$ 4.134	\$ 4.789
26,4	68.429	\$ 1.740	\$ 3.240	\$ 4.121	\$ 4.774
26,6	68.947	\$ 1.734	\$ 3.230	\$ 4.109	\$ 4.759
26,8	69.466	\$ 1.729	\$ 3.220	\$ 4.096	\$ 4.745
27	69.984	\$ 1.723	\$ 3.210	\$ 4.084	\$ 4.731
27,2	70.502	\$ 1.718	\$ 3.201	\$ 4.072	\$ 4.717
27,4	71.021	\$ 1.713	\$ 3.191	\$ 4.060	\$ 4.703
27,6	71.539	\$ 1.708	\$ 3.182	\$ 4.048	\$ 4.689
27,8	72.058	\$ 1.703	\$ 3.173	\$ 4.037	\$ 4.676
28	72.576	\$ 1.698	\$ 3.164	\$ 4.025	\$ 4.662
28,2	73.094	\$ 1.693	\$ 3.155	\$ 4.014	\$ 4.649
28,4	73.613	\$ 1.688	\$ 3.146	\$ 4.003	\$ 4.636
28,6	74.131	\$ 1.683	\$ 3.137	\$ 3.992	\$ 4.623
28,8	74.650	\$ 1.678	\$ 3.129	\$ 3.981	\$ 4.611
29	75.168	\$ 1.674	\$ 3.120	\$ 3.970	\$ 4.599
29,2	75.686	\$ 1.669	\$ 3.112	\$ 3.960	\$ 4.586
29,4	76.205	\$ 1.664	\$ 3.104	\$ 3.950	\$ 4.574
29,6	76.723	\$ 1.660	\$ 3.096	\$ 3.939	\$ 4.562
29,8	77.242	\$ 1.655	\$ 3.088	\$ 3.929	\$ 4.551

litros/sg.	m3/mes	E1	E2	E3	E4
30	77.760	\$ 1.651	\$ 3.080	\$ 3.919	\$ 4.539

Fuente: Cálculos CRA.

El prestador define el escenario de tratamiento de lixiviado por objetivo de calidad de acuerdo con lo que le haya establecido la autoridad ambiental en la norma de vertimientos y/o licencia ambiental. Se trasladará en la tarifa a los usuarios únicamente el tratamiento que corresponda al requerimiento de la autoridad ambiental.

El cálculo del costo mensual del tratamiento de lixiviado se realiza multiplicando el precio máximo a reconocer, por el promedio mensual de los últimos seis (6) meses del volumen de lixiviados tratados en m³/mes.

El costo de tratamiento de lixiviados a trasladar al prestador de recolección y transporte se calculará de la siguiente forma:

$$CTL = \frac{(CTLM * VL) + CMTLX}{\overline{QRS}}$$

Donde:

CTL: Corresponde al Costo de Tratamiento de Lixiviados por tonelada (pesos de diciembre de 2013/tonelada).

VL: Volumen promedio de los últimos seis (6) meses de lixiviados tratados (m³/mes). En caso de prestadores que inicien actividades con posterioridad de la entrada en vigencia del acto administrativo podrán utilizar periodos inferiores hasta acumular seis (6) meses.

CTLM: Costo de tratamiento de lixiviados por metro cúbico máximo a reconocer, según el objetivo de calidad definido en la resolución del marco tarifario.

\overline{QRS} : Promedio mensual del semestre que corresponda de las toneladas de residuos recibidas en el relleno (toneladas/mes).

CMTLX: Costo Generado por la Tasa Ambiental para el vertimiento del tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios, con referencia a la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de vertimientos.

6.6.3 Control de los volúmenes de lixiviados tratados

Con el fin de garantizar que el volumen de lixiviados transferidos a la tarifa sean los efectivamente tratados, se requiere, de una parte, que la planta de tratamiento una vez en operación cumpla en forma estricta lo aprobado en la Licencia Ambiental, como soporte del nivel de tratamiento requerido y del caudal tratado aprobado por la autoridad ambiental.

De otra parte, es necesario que el prestador lleve una bitácora diaria de registro de caudales y volúmenes tratados, que esté disponible en forma permanente en caso de que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) realice una inspección. Además deberá registrar mensualmente en el Sistema Único de Información (SUI) dichos volúmenes.

6.6.4 Aplicación del costo del tratamiento de lixiviados

Con el fin de garantizar que el volumen de lixiviados transferidos a la tarifa sean los efectivamente tratados, se requiere, de una parte, que la planta de tratamiento una vez en operación cumpla en forma estricta lo aprobado en la Licencia Ambiental o el permiso respectivo expedido por la autoridad ambiental competente, como soporte del nivel de tratamiento requerido y del caudal tratado aprobado por la autoridad ambiental.

De otra parte, es necesario que el prestador lleve una bitácora diaria de registro de caudales y volúmenes tratados, que esté disponible en forma permanente en caso de que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) realice una inspección. Además deberá registrar mensualmente en el Sistema Único de Información (SUI) dichos volúmenes.

6.6.5 Costo de tratamiento de lixiviados con aportes bajo condición

Cuando el valor total de los activos señalados en el párrafo anterior es aportado por una entidad pública, la proporción de costo de capital en que se reduciría el costo total por tonelada dispuesta (CTL), de acuerdo escenario de tratamiento de lixiviados por objetivo de calidad, es:

Tabla 87. Porcentaje (%) de reducción del costo de capital de acuerdo por escenario de tratamiento

Escenario de tratamiento de lixiviados por objetivo de calidad	% Reducción Costo de Capital (ρ)
1	38%
2	49%
3	47%
4	46%
5	80%

Fuente: Cálculos CRA.

Cuando el aporte de la entidad pública es parcial, el CTL con Aportes Bajo Condición se define de acuerdo con la siguiente función:

$$CTL_{ABC} = (1 - \rho * fCK) * CTL$$

Donde:

CTL_{ABC} : Costo de Tratamiento de Lixiviados con Aporte Bajo Condición en pesos diciembre de 2014/tonelada.

CTL : Costo de Tratamiento de Lixiviados definido en la resolución que acoge la metodología tarifaria en pesos de diciembre de 2014/tonelada.

fCK : Fracción del costo de capital aportado bajo condición, definido como:

$$fCK = \frac{VA_{CTL_{ABC}}}{VA_{CTL}}$$

Donde:

$VA_{CTL_{ABC}}$: Valor del total de los activos aportados para el componente de Tratamiento de Lixiviados en pesos de diciembre de 2014.

VA_{CTL} : Valor del total de los activos de la persona prestadora para la el componente de Tratamiento de Lixiviados en pesos de diciembre de 2014.

ρ : Proporción del costo total que corresponde al costo de capital.

6.7 REMUNERACION DEL APROVECHAMIENTO

El aprovechamiento de residuos sólidos, visto como una recuperación de materiales para transformar y devolver su potencialidad como insumo para la fabricación de nuevos productos, se viene realizando en el país de manera informal desde hace aproximadamente 60 años.

Esta actividad ha ido cobrando importancia en Colombia por varias razones; en principio la recuperación de materiales como el vidrio, papel, cartón y plástico han generado nuevas cadenas de valor con mercados fuertes soportados por diferentes sectores industriales que encuentran en el reciclaje una fuente de materias primas asequibles. Adicionalmente, el aprovechamiento de residuos trae consigo beneficios ambientales, aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y reduce la demanda de materias primas, ayudando de esta forma a preservar los recursos no renovables y a reducir el uso de energía al reincorporar al ciclo productivo insumos reciclados.

En adición a los aspectos económicos y ambientales, el aprovechamiento de residuos es una actividad que en Colombia, históricamente ha tenido un fuerte componente social. Desde sus inicios en la década de los cincuentas, el reciclaje ha sido una actividad realizada en condiciones de precariedad, bajo difíciles condiciones de trabajo como la selección de materiales directamente en los contenedores de residuos, con medios de transporte que exigen alto esfuerzo físico, sin un manejo adecuado de riesgos ocupacionales, con bajo conocimiento de la dinámica del mercado y con pocas posibilidades de mejorar sus canales de comercialización.

Los procesos organizativos de los recicladores en Colombia se han caracterizado por la conformación de pre-cooperativas, cooperativas y asociaciones regionales, las cuales empezaron aproximadamente a mediados de la década de los ochenta, con bajos niveles de formación académica en sus miembros, pequeños capitales de trabajo, carencias en materia administrativa, condiciones de mercado incipientes y conflictos socioculturales.

En la década de los noventa, el sector del reciclaje avanzó en la unificación de todas las instancias mencionadas, en una entidad de tipo gremial integrada, Asociación Nacional de Recicladores, legalmente constituida y con un radio de acción en todo el territorio nacional. A partir de la cual se ha logrado avanzar en la apertura de nuevos canales directos de comercialización con el sector industrial, aunque prevalece una alta intermediación desde el momento de la recuperación de materiales hasta su ingreso como insumo a los diferentes procesos productivos del país. Sin embargo, no ha sido posible el desarrollo de un sector económico formal.

A nivel normativo, Colombia cuenta con una trayectoria de 40 años en el diseño de la legislación para el manejo de los residuos sólidos, lo cual ha creado un fuerte marco legal e institucional alrededor de la cadena, con el cual se regula y controla desde las perspectivas económicas, sociales y ambientales, el manejo integral de los residuos sólidos que incluye entre sus principios fundamentales el aprovechamiento y la valorización de materiales.

En dicho marco normativo cabe resaltar la regulación de servicios públicos, la política nacional para la gestión integral de residuos, la reglamentación del servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos, la planificación y organización técnica del manejo de los residuos sólidos a nivel municipal, las metodologías tarifarias para el servicio público de aseo y la reglamentación para los sistemas de disposición final de residuos, entre otros.

Aun así, existen situaciones que dificultan el desarrollo de esquemas de negocios sostenibles y especializados asociados a la recuperación y aprovechamiento de residuos, que articulen a la población en situación de vulnerabilidad, entre las que se pueden citar: el crecimiento económico de la actividad basada en el aumento del nivel de la informalidad; carencia de parámetros generales y estandarizados para la prestación de los servicios de recolección, transporte y clasificación de residuos aprovechables en el país y un incentivo tarifario con muy bajos niveles de implementación por parte de los prestadores de servicio de aseo.

Teniendo en cuenta lo expuesto en el párrafo anterior y en cumplimiento de las diferentes disposiciones regulatorias y jurisprudenciales respecto al aprovechamiento de residuos, el presente documento desarrolla la remuneración por vía tarifaria de esta actividad complementaria del servicio público de aseo.

6.7.1 Objetivos

- Plantear la forma de remuneración de la actividad complementaria de aprovechamiento de residuos en el marco del servicio público de aseo, para la recolección, transporte, pesaje y clasificación⁶⁸ de residuos sólidos aprovechables y que incluya un incentivo a la separación en la fuente para los usuarios.
- Desde el aspecto legal, definir claramente quiénes y mediante qué figura empresarial o asociativa, en el marco de la Ley 142 de 1994 y el Auto 275 de 2011 de la Honorable Corte Constitucional, serán las personas prestadoras del aprovechamiento, quienes puedan acceder a la remuneración vía tarifa.
- Establecer desde el punto de vista operativo y comercial del servicio las obligaciones de los prestadores que realicen la actividad del aprovechamiento y su relación.

6.7.2 Antecedentes

A nivel normativo, en Colombia sólo hasta el final de la década de los noventa se genera el espacio para el desarrollo del aprovechamiento y valorización a través de la Política de Gestión Integral de Residuos⁶⁹, la cual definió dichas actividades como principios fundamentales para el adecuado manejo de residuos en el país. En concordancia con la mencionada Política, el Decreto 1713 de 2002⁷⁰ reglamenta por primera vez la actividad de aprovechamiento en el marco de la prestación del servicio público de aseo y establece que los municipios y distritos deberán formular Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS.

En el 2003, se publicó la Resolución 1045 de 2003⁷¹, con la cual se establece que los PGIRS son los instrumentos que definen la viabilidad y condiciones de la realización del aprovechamiento en el municipio, así como la participación y organización de los recicladores, su relación con el municipio y las responsabilidades y derechos respecto a esta actividad.

En materia regulatoria, esta Comisión expidió la Resolución CRA 351 de 2005⁷², que incluyó un incentivo explícito al aprovechamiento de residuos sólidos en el artículo 17, así: “(...) Como incentivo a las actividades de aprovechamiento, éstas se considerarán para efectos de tarifa, como una actividad de disposición final, cuyo costo máximo será igual al valor que genera indiferencia en el costo de disposición final al suscriptor, ajustado por las diferencias generadas por concepto de tramo excedente.” Por tanto, la metodología tarifaria vigente reconoce el aprovechamiento de residuos sólidos como una actividad complementaria del servicio público de aseo y determina que cualquier tonelada de residuos sólidos aprovechables que haya sido recolectada, transportada y dispuesta en un sitio de aprovechamiento, pueda ser cobrada por vía tarifaria.

De igual forma, el artículo 39 de la citada Resolución fijó en los prestadores la posibilidad de generar incentivos adicionales a los suscriptores que realicen la separación en la fuente, de acuerdo a lo que se disponga para tal efecto en el respectivo Contrato de Condiciones Uniformes.

Posteriormente, el documento CONPES 3530 de 2008, “Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos”, dispuso dentro de sus recomendaciones:

15. “La CRA conjuntamente con el MAVDT y la SSPD evaluarán las estructuras tarifarias para generar señales regulatorias que impulsen a las Empresas del servicio público y los usuarios, la creación y/o

⁶⁸ De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1077 de 2015.

⁶⁹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 1998

⁷⁰ Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.

⁷¹ Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones”.

⁷² Por la cual se establecen los regímenes de regulación tarifaria a los que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo y la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio de aseo de residuos ordinarios y se dictan otras disposiciones.

modificación de sistemas de prestación que incluyan los componentes de aprovechamiento y reciclaje con criterios de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social (...).

De forma más reciente, el Decreto 2981 de 2013 contenido en el Decreto 1077 de 2015 en su artículo 2.3.2.1.1, definió al aprovechamiento como “...la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje”. Dicho Decreto reitera que el aprovechamiento es una actividad que hace parte de la cadena de prestación del servicio público de aseo y en el párrafo del artículo 2.3.2.2.8.78 dispone que la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico tiene la obligación de establecer la forma de remuneración de la actividad de recolección, transporte selectivo y clasificación de residuos aprovechables, cuya realización se deriva de lo que se defina en los PGIRS, en cuanto a su viabilidad económica, social y financiera.

Posteriormente y en cumplimiento de lo establecido en el párrafo 3 del artículo 2.3.2.3.87 del citado Decreto, los Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio y Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidieron la Resolución 754 de 2014, mediante la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Dicha Resolución presenta de forma específica los requisitos que los Entes territoriales deben cumplir para: la definición de la viabilidad del aprovechamiento en cada jurisdicción, del programa de aprovechamiento y del programa de inclusión de recicladores.

Por otro lado, a nivel jurisprudencial, la Honorable Corte Constitucional por medio del Auto 275 de 2011 exhortó a esta Comisión Reguladora:

“...para que revise y defina parámetros generales para la prestación de los servicios de separación, reciclaje, tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos en los términos establecidos en el numeral 115 de esta providencia. La CRA remitirá un informe de los parámetros que hayan sido o vayan a ser fijados a la Corte Constitucional a más tardar dentro del primer trimestre del año dos mil doce (2012). La CRA deberá asegurarse de que tales parámetros se reflejen en la estructura tarifaria que por virtud de la ley debe ser fijada en el año dos mil doce (2012).

“115. Por tal motivo se exhortará a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico en su calidad de órgano autónomo nacional de carácter técnico para: (i) En desarrollo de sus competencias constitucionales y legales revisar y definir parámetros generales para la prestación de los servicios de reciclaje, tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos, aspecto que deberá estar listo y reglamentado en el primer trimestre del año 2012. Para el efecto, la Comisión trabajará aspectos tales como la separación en la fuente por parte de los usuarios, formalización de rutas y modelos para la recolección, transporte y disposición de material aprovechable por parte de la población recicladora; posibilidades de estímulos para la creación y funcionamiento de organizaciones autorizadas (recicladores) prestadoras de los servicios de reciclaje, tratamiento y aprovechamiento de residuos; reglas de creación y funcionamiento de centros de acopio como intermediarios dentro de los procesos de reciclaje, tratamiento y aprovechamiento, así como para parques de aprovechamiento. (ii) Asegurarse que dichos parámetros se vean reflejados en la metodología tarifaria actualmente en construcción por la Comisión de Regulación. (iii) Acompañar desde el punto de vista técnico y, en desarrollo de la función de colaboración armónica de las instituciones públicas, al Distrito en la definición de parámetros normativos del orden distrital que favorezcan las actividades de reciclaje, tratamiento y aprovechamiento de los residuos”. (Subrayado fuera de texto original)

Es pertinente precisar que los aspectos del citado numeral 115 que se subrayan están por fuera de la competencia de la CRA y corresponden a los entes territoriales, en el marco del proceso de planificación y definición del manejo integral de los residuos sólidos (PGIRS) a nivel municipal, los cuales deberán incorporar y fortalecer de manera permanente y progresiva las acciones afirmativas a favor de la población recicladora, de acuerdo con lo establecido por el artículo 2.3.2.2.3.87 del Decreto 1077 de 2015; sin embargo, se espera que con la remuneración de la actividad a través de la tarifa del servicio público de aseo, se facilite la tarea asignada

a los entes territoriales y a los mismos recicladores en su proceso de formalización y organización para la prestación de la actividad en el marco del servicio.

De otra parte, en el numeral 85, el Auto manifiesta:

85. Si se tiene en cuenta que el fin de las acciones afirmativas que se demandan, no es otro que el que la operación del servicio público complementario de aprovechamiento esté en cabeza de sus destinatarios naturales -los recicladores-, este podría ser tenido en principio como una formal acción afirmativa. Sin embargo, la eficacia de la medida radica en que este grupo se encuentre materialmente preparado para asumir la operación del servicio. De lo contrario, este cambio de paradigma no tendría ninguna repercusión desde el punto de vista práctico, pues sin la adecuada organización y logística este grupo marginal seguirá realizando su labor sin que se aprecien cambios significativos más allá de que no tendrán la presión de la competencia que implican las rutas formales de reciclaje operadas por los concesionarios –aunque sí la del paso de los camiones recolectores en su labor en la acera= y, que contarán con uniformes, botas y carros de tracción humana que faciliten su trabajo.

De acuerdo con lo anterior, la Honorable Corte Constitucional pretende que se remunere el aprovechamiento y que los beneficiarios de dicha remuneración sean los recicladores una vez organizados. Es así como, desde lo establecido en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994⁷³, éstos deben organizarse para convertirse en personas prestadoras, en cumplimiento de lo que define la normativa.

El mencionado Auto en el sexto exhorto estableció:

SEXTO.- EXHORTAR a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), para que acompañe y preste su colaboración al Distrito -a través de la UAESP o de la entidad que haga sus veces-, en la definición de la regulación especial a nivel distrital dirigida a la regularización de la población de recicladores en los componentes de separación, reciclaje, transformación y aprovechamiento de residuos, en los términos del numeral 116 de esta providencia. Subrayado fuera de texto original.

En cumplimiento de lo anterior, la CRA llevó a cabo durante el mes de febrero de 2012 actividades y reuniones con actores del sector, con base en lo cual se determinaron las bases conceptuales para el documento que presentó la Entidad a la Honorable Corte Constitucional el 30 de marzo de 2012, “Informe de los parámetros generales que hayan sido o vayan a ser fijados para la prestación de la actividad complementaria de aprovechamiento de residuos sólidos”, que fue aceptado por la Honorable Corte Constitucional con el Auto 084 de 2012. Por lo tanto, se incluye la remuneración del aprovechamiento en el nuevo marco tarifario del servicio público de aseo.

En cumplimiento del exhorto, esta Comisión de Regulación, organizó diferentes mesas de acompañamiento con el Distrito, las cuales se desarrollaron durante los días 15, 23 y 29 de mayo de 2012, 5, 12 y 19 de junio de 2012, 19 de diciembre de 2014 y 6, 13, 17 y 20 de abril de 2015. Estas reuniones se desarrollaron con el fin de prestar apoyo a esta entidad en lo referente a la aplicación de la metodología tarifaria vigente -Resolución CRA 351 de 2005- la aclaración de aspectos jurídico-legal, técnico y económico de la regulación económica, la presentación del Programa Bogotá Basura Cero y el reconocimiento de la actividad de aprovechamiento en el marco del servicio público de aseo.

Es pertinente precisar que el Auto 275 fue expedido en el marco de la licitación pública de áreas de servicio exclusivo de Bogotá y que las órdenes impartidas en relación con el apoyo a la actividad y a la formalización de los recicladores son para el Distrito Capital; sin embargo, en la medida en que exhortó a la CRA a definir parámetros generales para la prestación del aprovechamiento, los cuales deberían ser incluidos en la estructura tarifaria, se extenderán los beneficios de la remuneración de esta actividad vía tarifa a los prestadores que cumplan las condiciones que defina la regulación, en todo el territorio nacional.

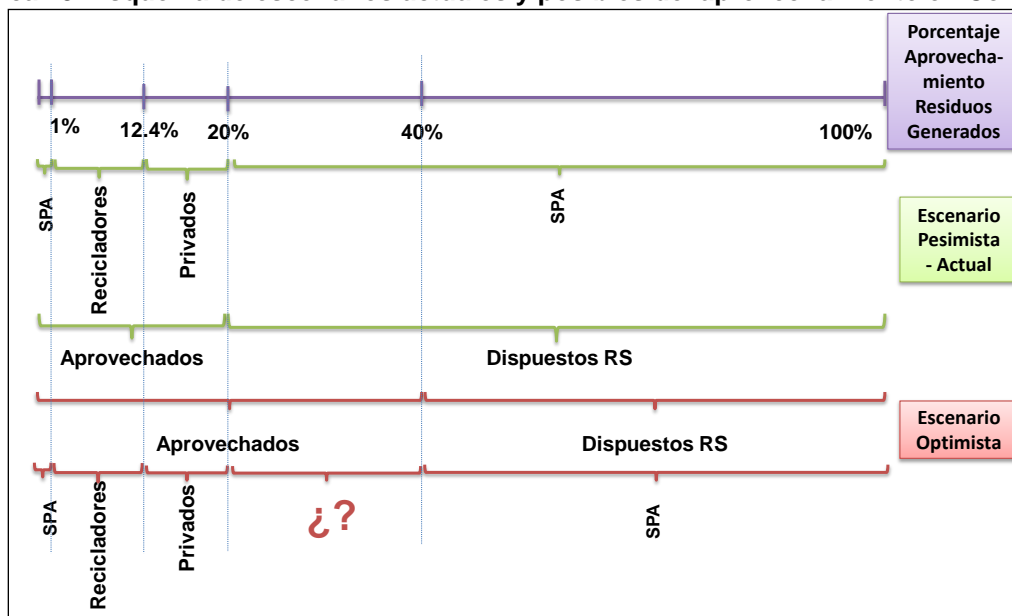
⁷³ Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. 1994

6.7.3 Diagnóstico nacional de la actividad de aprovechamiento

La CRA llevó a cabo un diagnóstico del servicio público de aseo, que incluyó la realización de una encuesta a todas las personas prestadoras del servicio público de aseo inscritas en el RUPS, sobre la prestación de la actividad de aprovechamiento en el marco del servicio público de aseo. Adicionalmente, se analizó el Estudio Nacional del Reciclaje y los Recicladores⁷⁴, realizado para CEMPRE, los informes anuales de disposición final 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 y el diagnóstico de plantas de aprovechamiento de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Del análisis de la información se concluyó, que a nivel nacional, actualmente se recupera aproximadamente un 20% del total de residuos generados, del cual el 11,4% es realizado por recicladores. En el esquema siguiente se observan los tres escenarios analizados por el estudio para CEMPRE, que concuerdan con el resultado del diagnóstico de las plantas de aprovechamiento realizado por la SSPD en el año 2008 y con lo proyectado como máximo potencial de aprovechamiento por la consultoría contratada por la CRA⁷⁵.

Gráfica 19. Esquema de escenarios actuales y posibles del aprovechamiento en Colombia



Fuente: Consultoría CRA. Alberto Osorio. Aprovechamiento en tres departamentos. 2009-2010.

De acuerdo con el esquema, se espera que el porcentaje de materiales recuperados se incremente y es pertinente que a través de la regulación, las políticas sociales y de gestión integral de residuos sólidos (municipios), los recicladores organizados como personas prestadoras accedan a ese mercado. Así mismo, como el principio fundamental del estado es garantizar la prestación del servicio público de aseo, y considerando que el sector ha logrado avances importantes en cobertura, continuidad y presencia de empresas con capacidad de inversión, es necesario mantener estas condiciones para que no se desincentive la inversión y más bien se oriente el sector hacia un servicio con mayor calidad y eficiencias.

En relación con el análisis del aprovechamiento se encontró que:

- La actividad se desarrolla en su mayoría como un beneficio social para una población vulnerable.

⁷⁴ Aluna Consultores Ltda. para CEMPRE, 2010 (Peldar, Cámara de Pulpa, Papel y Cartón ANDI, Cámara de FEDEMETAL ANDI, ACOPLASTICOS).

⁷⁵ Consultoría CRA. Alberto Osorio. Aprovechamiento en tres departamentos. 2009-2010.

- Tanto la Consultoría de Econometría⁷⁶ como las Resoluciones CRA 351 y 352 de 2005, concibieron el aprovechamiento como una actividad económica que debía ser desviada del servicio público de aseo para realizarse por fuera de éste. Por tal razón, se estableció la medición de los residuos como el principal incentivo al aprovechamiento.
- El incentivo al aprovechamiento establecido en el artículo 17 de la Resolución CRA 351 de 2005, no fue suficiente para generar cambios en el comportamiento de los prestadores del servicio público de aseo.
- La mejor separación en la fuente implica la separación de los residuos orgánicos así estos no sean aprovechados. Lo anterior por motivos de calidad y preservación de los residuos aprovechables secos.
- No existe ningún patrón de eficiencia en el transporte de los residuos aprovechables vendidos, con excepción de la disminución del precio de venta cuando el comprador asume los costos de transporte.
- En general, el compostaje no se realiza de una manera técnica y operativamente adecuada y tampoco se ha desarrollado un mercado viable y seguro para su comercialización, salvo algunos proyectos de producción de compost industrializados aislados.
- El mercado de aprovechables ya se encuentra en manos de los recicladores y una remuneración de la actividad a través del servicio público de aseo supone un bajo desplazamiento de residuos de la línea de disposición final, a la línea de aprovechamiento; sin embargo sí se espera que las cantidades de residuos aprovechables que hoy en día no se contabilizan por pertenecer a una actividad marginal, se incluyan en el servicio público de aseo.
- Tanto la normatividad, como el CONPES 3530 de 2008 y el Auto 275 de 2011, soportan una actividad de aprovechamiento realizada a través de la separación en la fuente y la recolección separada de residuos.

6.7.4 Mercado de residuos aprovechables

Existe una restricción de mercado de los residuos aprovechables, pues los estudios de CCAP⁷⁷ muestran que la industria presenta una demanda inelástica de éstos como insumo de producción. De este modo, un incremento excesivo en el número de toneladas de residuos aprovechables, separadas en la fuente, genera un exceso de oferta, que se traduce en la acumulación de inventarios y por tanto, se deberá incurrir en costos adicionales. Por lo anterior, existe una restricción que el regulador debe tener en cuenta asociada a la capacidad de la economía de reincorporar los residuos potenciales a aprovechar.

Los pocos estudios de referencia⁷⁸, permiten determinar, con cierto grado de certeza, que la cantidad de residuos aprovechables separados en la fuente es de aproximadamente un 20% sobre el total de los residuos generados. Según el BID⁷⁹ el valor real aprovechable para la industria corresponde al 60% de lo que llega al sitio de acopio. De otra parte, no hay estudios que permitan establecer el Valor de Absorción de la Economía sobre los residuos sólidos domiciliarios.

La producción industrial en Colombia presenta una contracción en el crecimiento de la producción real desde el 2010, como lo muestra la siguiente gráfica.

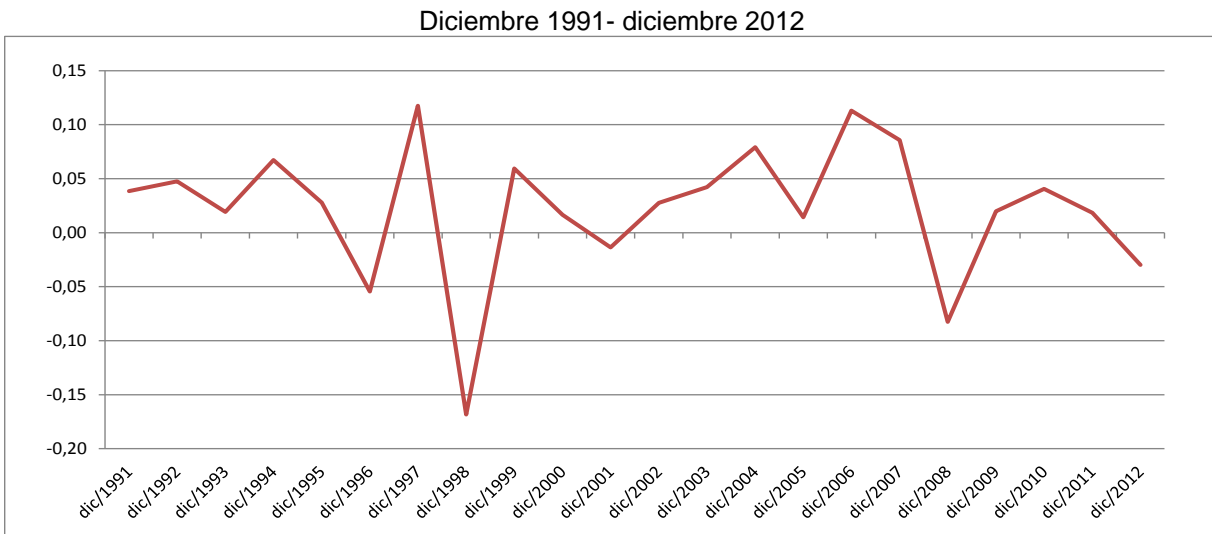
Gráfica 20. Crecimiento de la Producción real en Colombia

⁷⁶ Consultoría de Econometría, desarrollada en forma conjunta con el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2003-2004.

⁷⁷ "Evaluation of the market potential of recyclables and compost in Colombia", abril de 2013.

⁷⁸ En el diagnóstico de la SSPD (plantas de aprovechamiento) 2011, se determinó un 23,18% de residuos aprovechados incluyendo compostaje y lombricultura. La consultoría Cempre de 2011 estimó un porcentaje del 20% de residuos aprovechados para 22 ciudades. La consultoría CRA, aprovechamiento de 2010, estimó una tasa de 46% de residuos aprovechados incluyendo compostaje y lombricultura.

⁷⁹ Dinámicas de Organización de los recicladores Informales: Tres casos de América Latina.



Fuente: DANE, EEMM. Cálculos CRA.

6.7.5 La actividad de aprovechamiento de acuerdo con Decreto 1077 de 2015 y el Auto 275 de 2011 de la Corte Constitucional.

El Decreto 1077 de 2015 estableció que los municipios y distritos son responsables de diseñar, implementar y mantener actualizados programas y proyectos sostenibles de aprovechamiento de residuos sólidos, en el marco de los Planes de Gestión Integral de Residuos – PGIRS.

Uno de los lineamientos estratégicos del PGIRS debe ser el aprovechamiento, lo cual implica el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos para su incorporación en el ciclo productivo con viabilidad social, económica y financiera que garanticen su sostenibilidad en el tiempo y evaluables a través del establecimiento de metas por parte de los entes territoriales.

En cuanto a la estructuración de programas de aprovechamiento de residuos, el Decreto 1077 de 2015 establece que son los municipios y distritos los responsables de diseñar, implementar y mantener actualizados programas y proyectos sostenibles de aprovechamiento de residuos sólidos, que deben estar articulados a los Planes de Gestión Integral de Residuos – PGIRS. Esto significa que se debe dar prioridad a los estudios de factibilidad sobre el aprovechamiento de residuos en la jurisdicción de cada ente territorial, para de esta forma definir si el esquema de aprovechamiento adecuado para el lugar es el de programas municipales o si genera mayores beneficios la estructuración de un programa regional.

En el artículo 2.3.2.2.3.9.1, del mencionado Decreto, se encuentran los factores mínimos a tener en cuenta en la elaboración de los estudios de viabilidad para los proyectos de aprovechamiento y la Resolución 754 de 2014⁸⁰ especifica, en el Anexo 1, cuales son los lineamientos para la elaboración de un análisis de mercado de residuos aprovechables.

Una vez definido en el PGIRS el esquema de aprovechamiento de residuos sólidos, es deber de los municipios y distritos, como garantes de la prestación del servicio público de aseo, generar las condiciones técnicas y operativas que permitan el desarrollo de las actividades de aprovechamiento. Al respecto, el artículo 2.3.2.2.3.94 del Decreto 1077 de 2015 establece que los entes territoriales son responsables de la implementación continua de campañas de orientación y capacitación de cómo separar y aprovechar los residuos sólidos en el marco del PGIRS.

⁸⁰ Metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los PGIRS.

Adicionalmente, los entes territoriales son responsables de la definición del esquema de prestación del servicio de aseo y sus diferentes actividades, lo que significa que los programas de aprovechamiento de residuos deben estar articulados a la prestación del servicio de aseo, sin afectar las condiciones de calidad en las que se desarrollan las actividades de recolección, transporte y disposición final de residuos no aprovechables.

En cuanto a la formalización de la población recicladora, es importante resaltar que los PGIRS son instrumentos de planificación a corto, mediano y largo plazo de la gestión integral de residuos y de acuerdo con lo establecido en la normatividad vigente, deberán incorporar y fortalecer de manera permanente y progresiva las acciones afirmativas en favor de la población recicladora. En este sentido, desde los estudios de factibilidad, las autoridades distritales y municipales deberán garantizar la participación de los recicladores de oficio en su formulación, implementación y actualización.

En la Resolución 754 de 2014, está definido que uno de los programas del PGIRS es el correspondiente a la inclusión de recicladores, el cual tiene por objeto incorporar y fortalecer de manera permanente y progresiva las acciones afirmativas a favor de la población recicladora existente en el municipio de acuerdo con el censo de recicladores, para la formalización como prestadores del servicio público de aseo en la actividad de aprovechamiento. Dicho programa deberá incluir entre otros, los siguientes elementos:

- Mecanismo de registro de las bodegas, centros de acopio o estaciones de separación y clasificación existentes en el municipio o distrito.
- Censo de recicladores de oficio, organizaciones de recicladores.
- Capacitación y asistencia en temas administrativos, técnicos, tributarios, legales, y de la prestación del servicio público de aseo.
- Asistencia técnica y financiera para mejorar las condiciones de acopio, selección y clasificación de materiales.

De lo anterior, se concluye que la responsabilidad de la inclusión de la población recicladora en la planificación de la gestión de residuos a nivel municipal y distrital recae principalmente sobre los entes territoriales, quienes deberán adelantar la actualización del censo de recicladores en su territorio y establecer programas de formalización, para que esta población participe de manera organizada y coordinada en la prestación del servicio público que comprende la actividad complementaria de aprovechamiento, con el fin de dar cumplimiento a la normatividad vigente y a lo definido por la Corte Constitucional en el Auto 275 de 2011.

Gráfica 21. Actividad de aprovechamiento en el marco del PGIRS



Fuente: CRA con base en el Decreto 1077 de 2015

Adicionalmente, es importante resaltar que de acuerdo con lo definido en la Circular sobre Aprovechamiento del 29 de mayo de 2015 expedida por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, las personas prestadoras de la actividad complementaria de aprovechamiento, deben conformarse de acuerdo con los lineamientos establecidos en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994. En consecuencia, las organizaciones de recicladores que estén interesadas en acceder a la remuneración vía tarifaria de las actividades de recolección y transporte, clasificación y pesaje de residuos aprovechables, deben conformarse como personas prestadoras para realizar la actividad de manera formal. En esa misma medida, una vez organizados (formalizados), son agentes sujetos a la regulación tarifaria que expida esta Comisión y a la vigilancia y control por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

En el mismo sentido, la Honorable Corte Constitucional en el Auto 275 de 2011, manifestó en los numerales 85⁸¹ y 118⁸², “que la prestación del servicio debe estar en cabeza de los recicladores cuando los haya, para lo cual es necesario que éstos se encuentren formalizados para asumir la prestación del servicio”. Lo anterior, implica establecer compromisos, cargas y obligaciones en cabeza de los recicladores, en razón a la responsabilidad que adquieren al prestar un servicio público con implicaciones sanitarias y ambientales para la sociedad.

⁸¹ El numeral 85 del Auto 275 de 2011 se encuentra transcrito en el aparte Antecedentes y Justificación del presente capítulo.

⁸² 118. Para la Sala es necesario precisar que las medidas de acción afirmativa llamadas a ser dispuestas, pueden representar deberes, cargas u obligaciones para los recicladores en razón a que prestan un servicio público con ingentes beneficios ambientales para el colectivo, tal y como ha sido señalado a lo largo de esta providencia. En ese sentido, el esquema de medidas a cumplir en el corto plazo, de conformidad con la normatividad existente y con las órdenes contenidas en esta providencia, deberá establecer compromisos, cargas y obligaciones en cabeza de los recicladores para su adecuada normalización. Lo anterior, por cuanto la protección especial que merecen como sujetos en condiciones de vulnerabilidad no es obstáculo para disponer acciones de doble vía, dada la naturaleza del servicio público domiciliario y esencial del cual participan.

6.7.6 Esquema operativo de la actividad de aprovechamiento

La Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014 -2018 “*Todos por un nuevo país*”, definió en el parágrafo 2 del artículo 88 que:

“El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio reglamentará el esquema operativo de la actividad de aprovechamiento y la transitoriedad para el cumplimiento de las obligaciones que deben atender los recicladores de oficio formalizados como personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento en el servicio público de aseo”.

Por lo anterior, la metodología tarifaria contenida en la Resolución CRA 720 de 2015, establece la fórmula para calcular la remuneración de la actividad de aprovechamiento, que en el marco del servicio público de aseo se define como: *“la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separadas en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje”* (Artículo 2.3.2.1.1 Decreto 1077 de 2015).

Las diferentes actividades asociadas a la operatividad del aprovechamiento deberán ser realizadas conforme a lo definido en los PGIRS municipales o distritales y a la reglamentación que para ello expida el Gobierno Nacional.

6.7.7 Remuneración del aprovechamiento

Con base en lo que establece el Decreto 1077 de 2015, la regulación reconoce vía tarifa la recolección de residuos separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje.

En cuanto a la formalización de los recicladores y el apoyo a estos grupos, con la infraestructura que se requiere para almacenar y dar valor agregado a los materiales, es claro, que debe provenir de fuentes diferentes a la tarifa y es ahí donde los entes territoriales deben hacerse partícipes, a través de políticas sociales y económicas, de acuerdo con lo definido en el PGIRS.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que esta actividad tendrá ingresos adicionales a los del servicio público de aseo, por la venta de los materiales recuperados mediante las actividades del servicio, así como los recursos provenientes del Incentivo al Aprovechamiento definido en el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015, cuyo valor por suscriptor se calculará sobre las toneladas de residuos no aprovechables por suscriptor del servicio público de aseo, como un valor adicional al costo de disposición final de dichos residuos.

Los recursos provenientes del incentivo al aprovechamiento serán destinados para el desarrollo de infraestructura, separación en la fuente, recolección, transporte, recepción, pesaje, clasificación y otras formas de aprovechamiento desarrolladas por los prestadores de la actividad de aprovechamiento y recicladores de oficio que se hayan organizado bajo la ley 142 de 1994 para promover su formalización e inclusión social.

Es importante resaltar que las actividades de transformación, comercialización y venta de los mencionados residuos, así como las actividades del servicio público realizadas de manera informal⁸³, se encuentran por fuera de la función regulatoria de la CRA.

En relación con la remuneración del aprovechamiento en el marco tarifario del servicio público de aseo, debe tenerse en cuenta, que de acuerdo con los artículos 367 superior y 87 de la Ley 142 de 1994, la regulación jurídica, técnica y económica de esta Comisión, debe orientarse por los criterios de eficiencia económica, a través de metodologías que privilegien y remuneren los mínimos costos, en beneficio de los usuarios y de la prestación y de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.

⁸³ Agentes que no sean personas prestadoras.

El principio de eficiencia económica o de mínimo costo ha sido establecido en otros ámbitos jurídicos como se presenta a continuación:

En la constitución política –CP- de 1991

- El artículo 209 de la CP dispone que la función administrativa debe estar al servicio de los intereses generales, y que se desarrollará con fundamento en los principios de *“igualdad, moralidad, eficacia, economía, celeridad, imparcialidad y publicidad, mediante la descentralización, la delegación y la desconcentración de funciones.”*
- El artículo 334 de la CP le encomienda al Estado la dirección general de la economía y lo habilita para intervenir, por mandato de la ley, [...] en los servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano”
- Por su parte, el artículo 367 establece la obligación legal de fijar las competencias y responsabilidades en materia de servicios públicos, atendiendo a “su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos”

En la Ley 142 de 1994

En el artículo 90, numeral 3º, inciso 2º, establece que los cargos que integran las fórmulas tarifarias (consumo, fijo, conexión), *“en ningún caso podrá contradecir el principio de la eficiencia, ni trasladar al usuario los costos de una gestión ineficiente o extraer beneficios de posiciones dominantes o de monopolio”*.

En cuanto al principio de suficiencia financiera, la Ley 142/94 señala que se entiende por el mismo que *“las fórmulas de tarifas garantizarán la recuperación de los costos y gastos propios de operación, incluyendo la expansión, la reposición y el mantenimiento; permitirán remunerar el patrimonio de los accionistas en la misma forma en la que lo habría remunerado una empresa eficiente en un sector de riesgo comparable; y permitirán utilizar las tecnologías y sistemas administrativos que garanticen la mejor calidad, continuidad y seguridad a sus usuarios.”*

En la jurisprudencia constitucional

La Sentencia C-035 de 1999, M.P. Antonio Barrera Carbonell: *“Los principios de eficacia, economía y celeridad que rigen las actuaciones de las autoridades administrativas, constituyen precisamente orientaciones que deben guiar la actividad de éstas para que la acción de la administración se dirija a obtener la finalidad o los efectos prácticos a que apuntan las normas constitucionales y legales, buscando el mayor beneficio social al menor costo”*.

Sentencia C-849 de 2005, M.P. Jaime Araujo Rentería: *“La Corte en cuanto al principio de economía, ha enfatizado que constituye una orientación, una pauta, para que el cumplimiento de los fines del Estado se proyecte buscando el mayor beneficio social al menor costo, sin que ello lo convierta en un fin en sí mismo”*.

Sentencia C-300 de 2012, M.P. Jorge Ignacio Pretelt Chaljub: *“A su turno, el artículo 209 superior indica que la función administrativa debe orientarse, entre otros, por los principios de economía y eficacia. El primero, en armonía con el artículo 334, supone que la Administración debe tomar medidas para ahorrar la mayor cantidad de costos en el cumplimiento de sus fines. El segundo exige a la Administración el cumplimiento cabal de sus fines. En conjuntos, estos principios imponen a la Administración el deber de cumplir sus objetivos con una adecuada relación costo-beneficios, es otras palabras, actuar de forma eficiente.”*

El principio económico del Costo Eficiencia o de Costo Mínimo, asume que todas las alternativas generan los mismos beneficios, o que éstos son al menos muy similares, y para la selección de la mejor alternativa se elige aquella de menor costo; que para efectos de su aplicación en la remuneración del Aprovechamiento, maximiza

el bienestar de los usuarios y garantiza la disponibilidad de los residuos aprovechables separados en la fuente para ser recolectados mediante la ruta selectiva. Por lo tanto, la remuneración del aprovechamiento vía tarifa, se fija a partir de la alternativa de mínimo costo, que corresponde a la prestación del servicio para los residuos no aprovechables, en los componentes de recolección, transporte y disposición final en relleno sanitario.

6.7.8 Valor Base del componente de aprovechamiento (VBA)

En concordancia con lo anterior, la remuneración de la actividad de aprovechamiento se propone a partir de un Valor Base de remuneración del aprovechamiento (VBA) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VBA = (CRT_p + CDF_p)(1 - DINC)$$

$$CRT_p = \frac{\sum(CRT_j * QRT_j)}{\sum QRT_j}$$

$$CDF_p = \frac{\sum(CDF_j * QRS_j)}{\sum QRS_j}$$

Donde:

<i>VBA</i> :	Valor Base de Remuneración de Aprovechamiento (pesos de diciembre de 2014/tonelada).
<i>j</i> :	Personas prestadoras de recolección y transporte para residuos no aprovechables en el municipio y/o distrito.
<i>CRT_j</i>	Costo Promedio de Recolección y Transporte de la persona prestadora de residuos sólidos no aprovechables definido en la Resolución CRA 720 de 2015 (pesos de diciembre de 2014/tonelada).
$\overline{QRT_j}$:	Promedio de toneladas recolectadas y transportadas de residuos no aprovechables en el APS de la persona prestadora <i>j</i> , del semestre que corresponda (toneladas/mes).
<i>CDF_j</i>	Costo Promedio de Disposición Final de la persona prestadora de residuos sólidos no aprovechables en la Resolución CRA 720 de 2015 (pesos de diciembre de 2014/tonelada).
$\overline{QRS_j}$:	Promedio mensual de residuos sólidos que se reciben en el sitio de disposición final, de acuerdo con lo definido en la Resolución CRA 720 de 2015. En caso de personas prestadoras que inicien actividades con posterioridad a la entrada en vigencia de dicha resolución, podrán utilizar períodos inferiores hasta acumular seis (6) meses.
<i>DINC</i> :	Incentivo a la separación en la fuente que se otorgará como un descuento de hasta el 4% de conformidad con la reglamentación que para ello expida el Gobierno Nacional, del parágrafo 2 del artículo 88 de la Ley 1753 de 2015.

Es importante resaltar que el CRT y CDF utilizados para calcular el VBA representan el promedio ponderado de dichos los costos de recolección y transporte y disposición final a nivel municipal e incluyen todos los elementos que constituyen cada actividad según lo definido en la Resolución 720 de 2015.

Para el cálculo del Valor Base de Aprovechamiento – VBA-, la metodología tarifaria definió que las personas prestadoras de no aprovechables deberán publicar en su página web los costos de las actividades y toneladas definidos en dicho artículo dentro de los cinco (5) días siguientes a la actualización.

Adicionalmente, se estableció que para el primer semestre de la aplicación de la Resolución CRA 720 de 2015, CRT_j y CDF_j corresponderán a la primera facturación, para los demás corresponderá al promedio del semestre anterior así: Para los períodos de facturación entre enero y junio de cada año, con base en el promedio mensual de julio a diciembre del año inmediatamente anterior. Para los períodos de facturación de julio a diciembre, con base en el promedio mensual de enero a junio del año en cuestión.

El pesaje y clasificación de residuos aprovechables se realizará en la Estaciones de Clasificación y Pesaje – ECA-, definidas en el Decreto 1077 de 2015 y la remuneración para cada persona prestadora de recolección y transporte de residuos aprovechables – RTA y ECA, corresponderá a la misma proporción que exista entre el CRT y CDF de los prestadores de no aprovechables en cada municipio y/o distrito.

En lo referente a las actividades de liquidación del VBA y la facturación del aprovechamiento, como se mencionó en la respuesta anterior, serán realizados conforme a la reglamentación que para ello expida el Gobierno Nacional, del parágrafo 2 del artículo 88 de la Ley 1753 de 2015. Los costos derivados de la realización de estos procesos se encuentran incluidos en el Costo de Comercialización por Suscriptor.

Es importante aclarar que los costos de remuneración de la actividad de aprovechamiento, únicamente podrán ser trasladados a los suscriptores que habiten en municipios donde el aprovechamiento haya sido definido como viable en el marco del PGIRS.

Por otro lado, teniendo en cuenta el Decreto 1077 de 2015 que define el aprovechamiento como una actividad complementaria del servicio de aseo y en virtud de los criterios de eficiencia económica⁸⁴, neutralidad⁸⁵ y suficiencia financiera⁸⁶, se definió en la metodología tarifaria contenida en la Resolución CRA 720 de 2015, que el aprovechamiento de residuos es una actividad de interés colectivo, ya que la calidad y continuidad en su prestación beneficia directamente a todos los suscriptores o usuarios de la infraestructura y equipamiento urbano, por tanto se definió que todos los usuarios deben contribuir al cubrimiento de sus costos asociados en la misma medida.

7. DESCUENTOS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL SERVICIO

La regulación colombiana, desarrollada hasta el momento para el servicio público de aseo, es reconocida a nivel latinoamericano como una de las más avanzadas, razón por la cual en junio de 2014 el Banco Mundial seleccionó el marco tarifario del servicio público de aseo como ejemplo de buenas prácticas para la gestión de residuos municipales. Sin embargo, a pesar de que la noción de integralidad está implícita dentro de la estructuración de la tarifa, en el sentido que el costo del suministro del servicio supone un nivel de calidad y cobertura determinada, el desarrollo de la regulación relacionada con la calidad del servicio ha sido menos dinámico.

En consecuencia, el nuevo marco tarifario establece la estructuración de un esquema de descuentos asociados a la calidad del servicio, de forma que se generen incentivos económicos para que las personas prestadoras mejoren su desempeño en lo que respecta a la calidad del servicio público de aseo.

La estructura tiene en cuenta índices relacionados con tres dimensiones:

⁸⁴ Artículo 87.1 de la Ley 142 de 1994: “Por eficiencia económica se entiende que (...) [los costos] deben distribuirse entre la empresa y los usuarios, tal como ocurriría en un mercado competitivo (...) [y] las tarifas deben reflejar siempre tanto el nivel y la estructura de los costos económicos de prestar el servicio (...)”.

⁸⁵ Artículo 87.2 ibídem: “Por neutralidad se entiende que cada consumidor tendrá el derecho a tener el mismo tratamiento tarifario que cualquier otro si las características de los costos que ocasiona a las empresas de servicios públicos son iguales (...)”.

⁸⁶ Artículo 87.4 ibídem: “Por suficiencia financiera se entiende que las fórmulas de tarifas garantizarán la recuperación de los costos y gastos propios de la operación (...)”.

- i) Calidad técnica del servicio, que incluye el nivel de calidad en la frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables.
- ii) Calidad de la gestión comercial, donde se consideran los reclamos comerciales relacionados con la exactitud en el cobro, que son resueltos en segunda instancia a favor de los suscriptores.
- iii) Calidad en la compactación del relleno sanitario, que indirectamente mide el cumplimiento de la vida útil de diseño del sitio de disposición final.

Teniendo en cuenta que los suscriptores se ven afectados por las deficiencias en la calidad del servicio, las cuales pueden implicar gastos adicionales dirigidos a mitigarlas, se considera necesario introducir medidas que compensen al suscriptor.

Dado que el régimen tarifario se encuentra estructurado sobre la base que las personas prestadoras suministran un servicio que satisface las necesidades de sus clientes, se considera que una solución para el problema de compensar al suscriptor por las deficiencias del servicio provenga directamente de un descuento en la tarifa, de forma que se obtiene una compensación y al mismo tiempo se genera un incentivo económico para que la persona prestadora mejore sus índices de calidad.

La presente metodología se ha estructurado de forma que cada una de las dimensiones, así como cada uno de sus componentes, pueda ser valorada mediante la construcción de un indicador.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la segunda sección del presente capítulo se establece el objetivo del reglamento de calidad y descuentos, mientras que en la tercera sección se presenta la justificación para el establecimiento del mismo. Finalmente, en la sección cuarta se presenta el esquema general de calidad y descuentos que se plantea dentro de este marco regulatorio y se definen los diferentes indicadores propuestos para el seguimiento de la calidad del servicio, con lo cual posteriormente se formulan los descuentos correspondientes.

7.1 OBJETIVO

En este capítulo se desarrolla el procedimiento establecido en el presente marco regulatorio, aplicable a las personas prestadoras del servicio para residuos no aprovechables, que atiendan municipios con más de 5.000 suscriptores, para compensar al suscriptor por los incumplimientos con relación a las metas de calidad del servicio recibido, asociadas a las tarifas.

7.2 JUSTIFICACIÓN

La calidad en la prestación del servicio público de aseo, especialmente la que se relaciona con la recolección de residuos sólidos no aprovechables, guarda relación directa con la minimización de los impactos negativos ambientales y de salud pública asociados al manejo de los residuos sólidos. De esta forma, generar las señales apropiadas para alcanzar y mantener unos niveles generales de calidad en la recolección y disposición de residuos sólidos y en la facturación del servicio, es fundamental para garantizar condiciones ambientales y de salubridad que benefician a la población, lo cual también refuerza los incentivos a la eficiencia considerados en la metodología tarifaria del servicio público de aseo.

Para tal fin, se tuvieron en cuenta indicadores de calidad en frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables, así como un indicador del nivel de reclamación comercial asociada a la deficiente facturación del servicio, el cual presenta una importante incidencia en la apropiada provisión del servicio y apunta a reducir los gastos adicionales en los que incurrir tanto las personas prestadoras como los suscriptores por efecto de los errores en la facturación. Por su parte, se plantea un indicador de calidad en la compactación del relleno sanitario, con el cual se busca medir la densidad de compactación de los residuos en el sitio de disposición final y, en contraste con la densidad de diseño, finalmente se espera medir el cumplimiento de la vida útil del relleno sanitario.

De esta forma, es necesario que el cobro del servicio guarde concordancia con el nivel de calidad en la prestación del mismo, de tal manera que se generen los estímulos necesarios para que las personas prestadoras del servicio público de aseo cumplan con unos estándares de calidad y los suscriptores perciban los descuentos en la tarifa del servicio cuando la prestación no obedece a los parámetros requeridos legal y regulatoriamente, con los cuales fueron construidos los precios máximos de la metodología tarifaria del servicio.

En consecuencia, el régimen de calidad y descuentos que se propone en este documento se convierte en un instrumento adecuado para incentivar a las personas prestadoras a prestar un servicio con estándares de calidad concordantes con los precios establecidos mediante el marco regulatorio al cual pertenece este documento.

7.3 ESQUEMA DE CALIDAD Y DESCUENTOS

De manera general, el régimen de calidad y descuentos contenido en este marco regulatorio, tiene como objeto determinar los descuentos asociados al incumplimiento de las metas de calidad del servicio público de aseo, definidos bajo el concepto de integralidad tarifaria, con el fin de generar incentivos económicos para que las personas prestadoras de este servicio incrementen de manera significativa su desempeño en lo que respecta a la calidad del servicio.

Los descuentos materia de análisis, son establecidos con base en indicadores que miden el cumplimiento de metas de calidad en la prestación del servicio público de aseo por parte de las personas prestadoras. En este sentido, se plantean tres dimensiones del servicio para ser medidas: La primera de ellas es la dimensión técnica, la cual se mide a través del *Indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables* (ICTR_NA_i), el cual a su vez está constituido por los indicadores de calidad de la frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables (IFR_NA_i y IHR_NA_i respectivamente). La segunda dimensión analizada es la dimensión comercial, que se mide a través del *Indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación* (IC_IRCF). Finalmente, la tercera dimensión analizada corresponde a la compactación de los residuos en el relleno sanitario, medida a través del *Indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario* (IC_CRS).

Esta metodología plantea que los beneficiarios del régimen de calidad y descuentos sean únicamente los suscriptores afectados por el incumplimiento de las metas. En este sentido, los beneficiarios de los descuentos asociados a la dimensión técnica corresponden a los suscriptores a los cuales la persona prestadora incumplió en por lo menos una (1) vez la frecuencia y/o el horario de su ruta de recolección de residuos sólidos no aprovechables durante el semestre de análisis. Los suscriptores afectados a los cuales se les debe reconocer los descuentos asociados a la dimensión comercial, siempre y cuando durante el semestre de análisis la persona prestadora haya incumplido la meta establecida para dicho periodo, corresponden a aquellos que presentaron reclamaciones comerciales por facturación y éstas fueron resueltas a su favor en segunda instancia en este periodo de tiempo.

Teniendo en cuenta que una deficiente compactación de los residuos en el relleno sanitario puede disminuir la vida útil del mismo, los beneficiarios de los descuentos asociados al indicador de compactación deben ser todos los suscriptores cuyos residuos se transportan al relleno, ya que todos ellos se verían afectados por la terminación de la vida útil del sitio de disposición final. Se generarán descuentos por este concepto siempre y cuando si durante el semestre analizado alguno de los sitios de disposición final empleados por la persona prestadora incumple la meta de compactación establecida para ese periodo.

Adicionalmente, se plantea que la información con la cual se calculen los indicadores sea información propia de las personas prestadoras, pero verificada y certificada por el auditor externo de gestión y resultados o quien haga sus veces.

Si bien el seguimiento de la calidad del servicio mediante los indicadores se plantea con una periodicidad mensual, el establecimiento y aplicación de los descuentos correspondientes se hace cada semestre.

El régimen de calidad y descuentos propuesto aplica sin perjuicio de las sanciones o acciones que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) pueda efectuar por fallas en la prestación del servicio.

7.3.1 Indicadores de calidad del servicio público de aseo

Como ya se mencionó, el régimen de calidad y descuentos se basa en el establecimiento de indicadores de control y seguimiento que abarcan las dimensiones de calidad en la gestión comercial, calidad técnica del servicio y calidad en la compactación del relleno sanitario. La primera dimensión afecta el Costo de Comercialización por Suscriptor (CCS), la segunda dimensión afecta el Costo de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos (CRT) y la tercera dimensión afecta el Costo de Disposición Final por tonelada (CDF).

- **Indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación**

La dimensión de calidad relacionada con la gestión comercial de las personas prestadoras, es decir, asociada con la calidad de atención que se le da a solicitudes, preguntas, quejas y reclamos por parte de los suscriptores, es indispensable en la formulación de un reglamento de calidad. La calidad de gestión comercial mide qué tan eficiente es la persona prestadora en la solución de diversos inconvenientes que puede enfrentar el suscriptor y que podría afectar su consumo. De este modo, la calidad del servicio al cliente hace parte integral del servicio.

Con el fin de establecer un indicador con mejores resultados, el nivel de reclamos debe enfocarse en los reclamos presentados por los suscriptores con relación a la facturación del servicio. En consecuencia, se propone que el indicador se construya a partir del número de reclamos comerciales por facturación que son resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia a nivel mensual.

Las quejas y reclamos de los suscriptores reflejan el comportamiento de las prestadoras en dos medidas, de un lado reflejan la calidad del bien y de otro, la calidad de la gestión comercial relacionada con la facturación y el recaudo, de forma permanente. El indicador propuesto para hacer el seguimiento de esta dimensión, medirá los reclamos por facturación que son resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia. La información para determinar este indicador deberá ser suministrada por cada persona prestadora mensualmente.

El comportamiento de la persona prestadora en esta dimensión, se comparará semestralmente con la meta propuesta para el periodo de evaluación analizado, con lo cual se obtendrá el valor del indicador que se utilizará para establecer los descuentos correspondientes, es decir, el indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación. Es de aclarar que las personas prestadoras establecerán las metas anuales para alcanzar al final del periodo tarifario el estándar de servicio de cuatro (4) reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia, por cada 1.000 suscriptores por año, que equivale a dos (2) reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia, por cada 1.000 suscriptores por semestre.

- **Cálculo del índice de reclamos comerciales por facturación**

Antes de obtener el indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación con el cual se determinan los descuentos, es necesario estimar mensualmente el índice de reclamos comerciales por facturación, el cual se estima a partir de la siguiente expresión.

$$IRCF_m = \frac{\sum_{p=1}^m RC_p * mf}{NPp} * 1.000$$

Donde:

$IRCF_m$: Índice de reclamos comerciales por facturación para el mes m , dado en número de reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por m meses (al finalizar el semestre, dicho indicador se expresaría en número de reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por semestre).

m : Número del mes analizado dentro del semestre de estudio, que varía entre 1 y 6.

RC_p : Total de reclamos comerciales por exactitud en la facturación, resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia, durante el mes p perteneciente al semestre de análisis, el cual debe ser suministrado por cada persona prestadora y discriminado por cada APS.

mf : Factor de periodicidad en la facturación que equivale al número de meses dentro del ciclo de facturación.

NPP : Promedio durante el periodo analizado del número total de suscriptores que posee la persona prestadora del servicio público de aseo en el APS analizada. Al finalizar el semestre de análisis, este parámetro deberá corresponder al promedio del total de suscriptores durante dicho semestre dentro del APS analizada.

- **Cálculo del indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación**

Este indicador también se puede calcular mes a mes, sin embargo, para efectos de la determinación de los descuentos se deberá tomar el indicador determinado en el sexto mes dentro del semestre de análisis, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IC_IRCF = 1 - \frac{M_IRCF}{IRCF_m}; \quad \begin{array}{l} \text{Si } IRCF_m = 0 \quad \text{entonces } IC_IRCF = 0 \\ \text{Si } IC_IRCF < 0 \quad \text{entonces } IC_IRCF = 0 \end{array}$$

Donde:

IC_IRCF : Índice de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación, teniendo como referencia la meta establecida para el mes m dentro del semestre de análisis. El indicador que se debe tener en cuenta al finalizar el semestre de análisis para el establecimiento de los descuentos respectivos, corresponde al calculado con el $IRCF_6$ de cada semestre analizado.

M_IRCF : Índice de reclamos comerciales establecido como meta para el mes m del semestre de análisis, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$M_IRCF = \frac{M_IRCF_j}{12} * m$$

Donde:

M_IRCF_j : Meta de reclamos comerciales por facturación establecida para el año analizado j , la cual está expresada en número de reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por año.

A los cinco (5) años de aplicación del presente marco tarifario, la persona prestadora deberá alcanzar el estándar de servicio de cuatro (4) reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda

instancia, por cada 1.000 suscriptores al año, para lo cual deberá definir metas anuales con el fin de alcanzarlo, las cuales deberán ser reportadas al SUI.

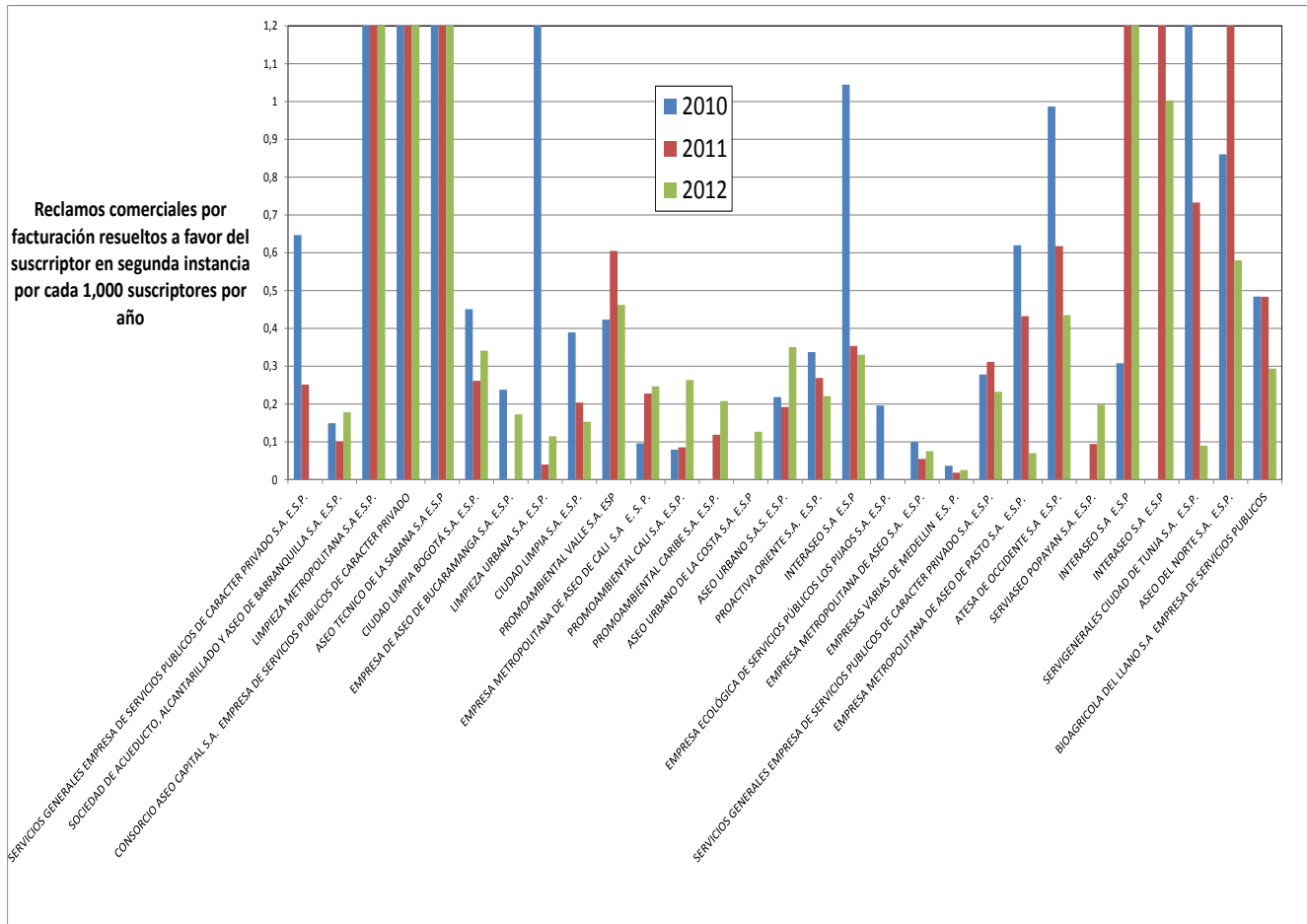
$IRCF_m$: Índice de reclamos comerciales por facturación para el mes m , dado en número de reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por m meses (al finalizar el semestre, dicho indicador se expresaría en número de reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por semestre).

- **Estándar de servicio asociado a los reclamos comerciales por facturación**

El estándar de reclamos comerciales se mide en reclamaciones comerciales por facturación resueltas a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores, y su valor anual es igual a cuatro (4). Para efecto de estimar los descuentos correspondientes cada semestre, el valor de dicho estándar es igual dos (2) por semestre.

Este valor está soportado en información suministrada por la SSPD para los años 2010, 2011 y 2012. En la gráfica siguiente se muestra el valor del indicador de reclamos comerciales por año, para algunas de las empresas del primer segmento, durante los años 2010, 2011 y 2012.

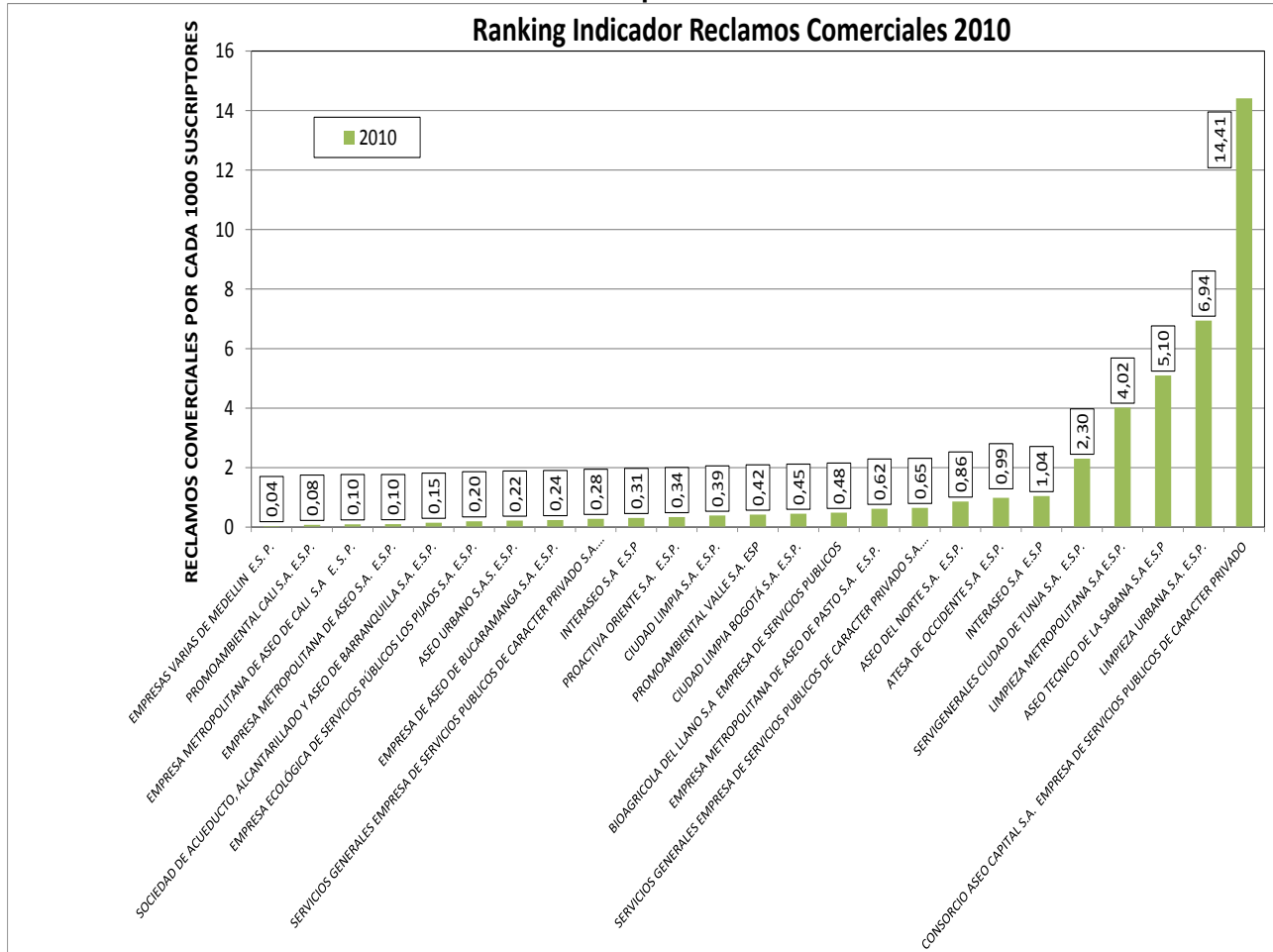
Gráfica 22. Indicador de Reclamos Comerciales para las empresas de primer segmento para los años 2010, 2011 y 2012



Fuente: Cálculos CRA.

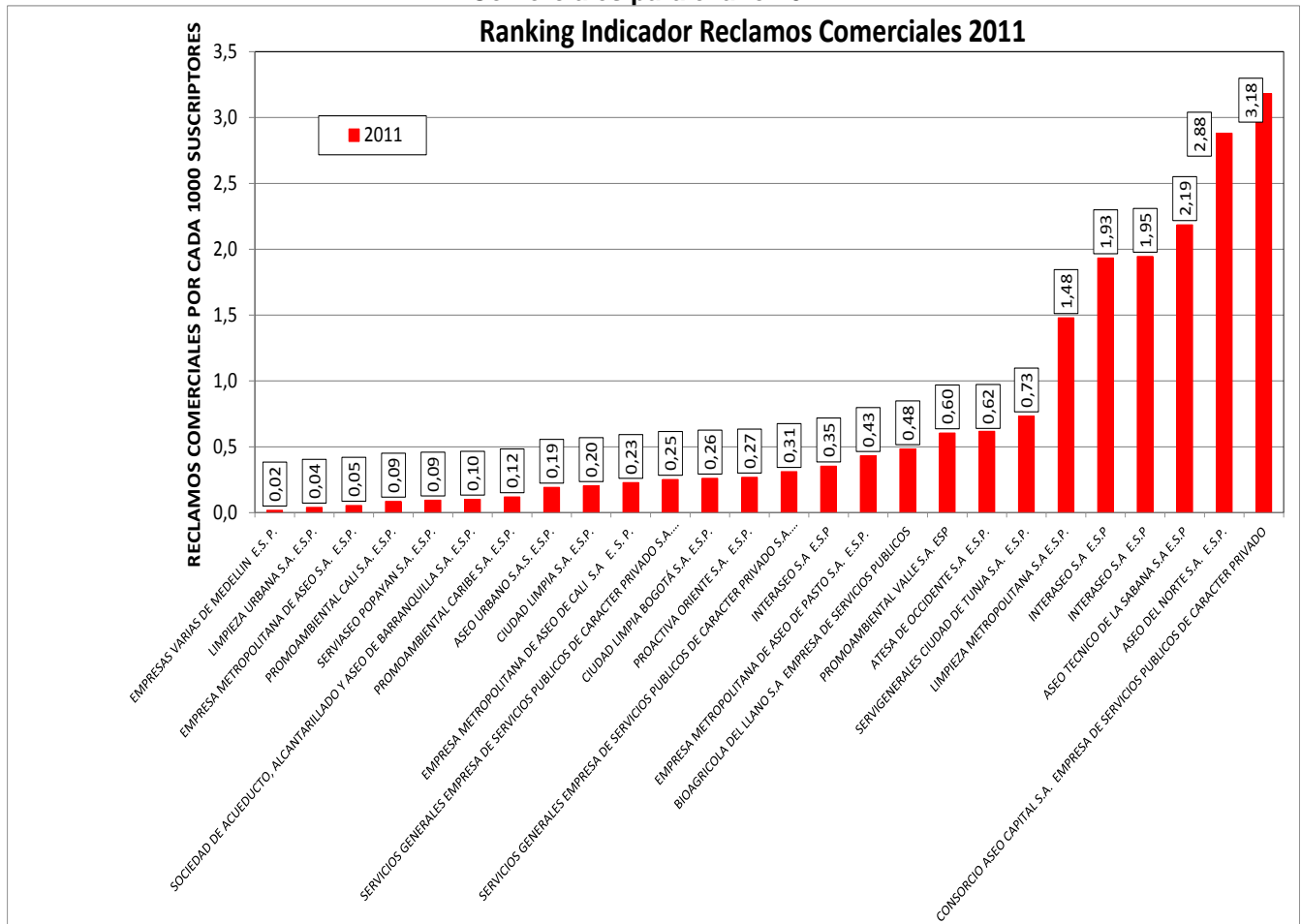
Con el fin de establecer el valor del estándar, se separó la información por años y se ordenaron los datos de menor a mayor como se muestra en las siguientes gráficas.

Gráfica 23. Ranking de las empresas de primer segmento en función del Indicador de Reclamos Comerciales para el año 2010.



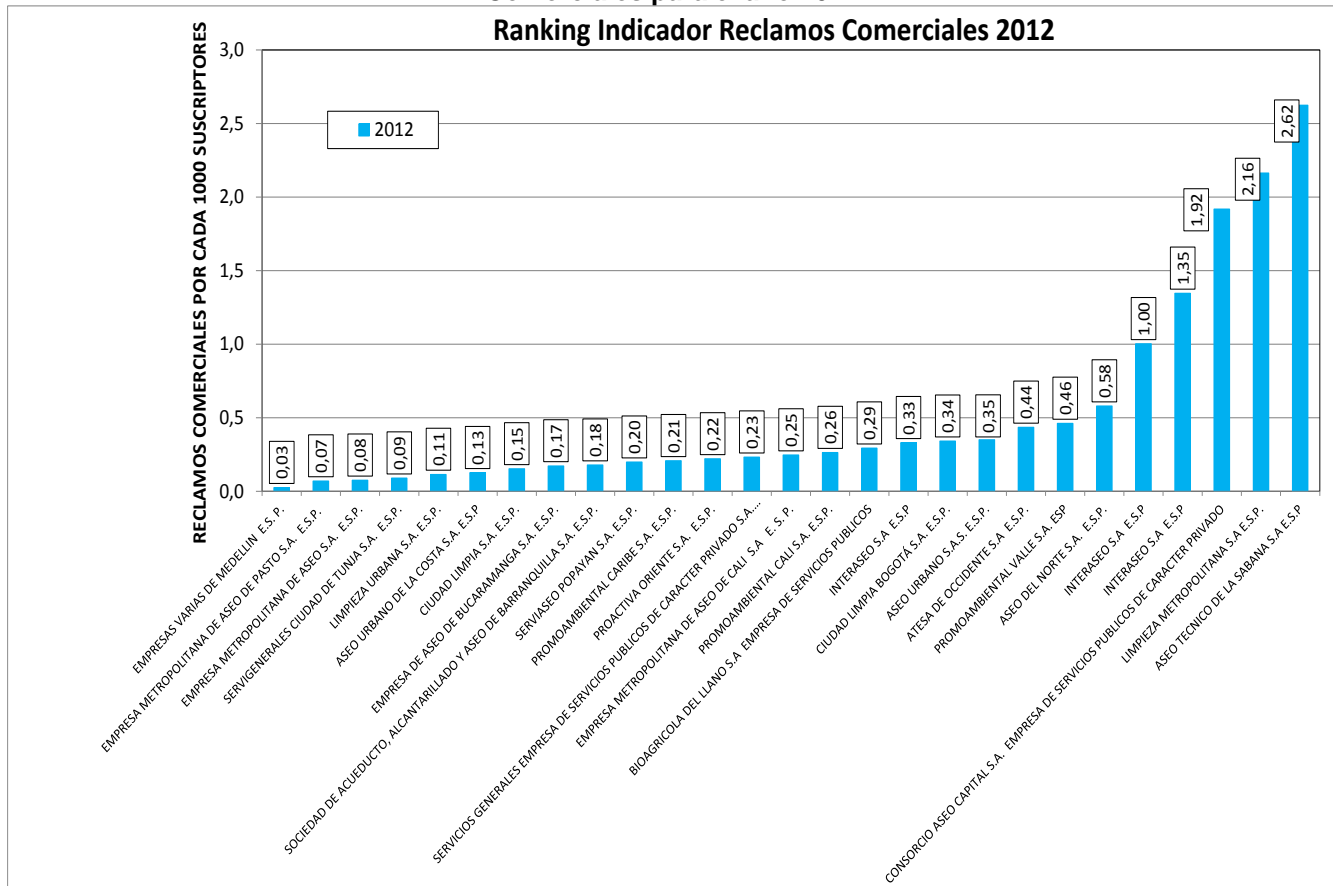
Fuente: Cálculos CRA.

Gráfica 24. Ranking de las empresas de primer segmento en función del Indicador de Reclamos Comerciales para el año 2011



Fuente: Cálculos CRA.

Gráfica 25. Ranking de las empresas de primer segmento en función del Indicador de Reclamos Comerciales para el año 2012



Fuente: Cálculos CRA.

A partir de esta clasificación, para cada año se calcularon los promedios del indicador de las 5, 10, 15, 20 y 25 mejores empresas en cada año. Estos resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 88. Promedio del indicador de reclamos comerciales para diferentes rangos de las mejores empresas en los años 2010, 2011 y 2012

Promedio/Año	Ranking reclamos comerciales		
	2010	2011	2012
Promedio top 5	0,09	0,06	0,08
Promedio top 10	0,17	0,11	0,12
Promedio top 15	0,25	0,17	0,16
Promedio top 20	0,40	0,27	0,21
Promedio top 25	1,63	0,64	0,38
Promedio de todas las empresas analizadas por año (25, 26 y 27 respectivamente)	1,63	0,73	0,53

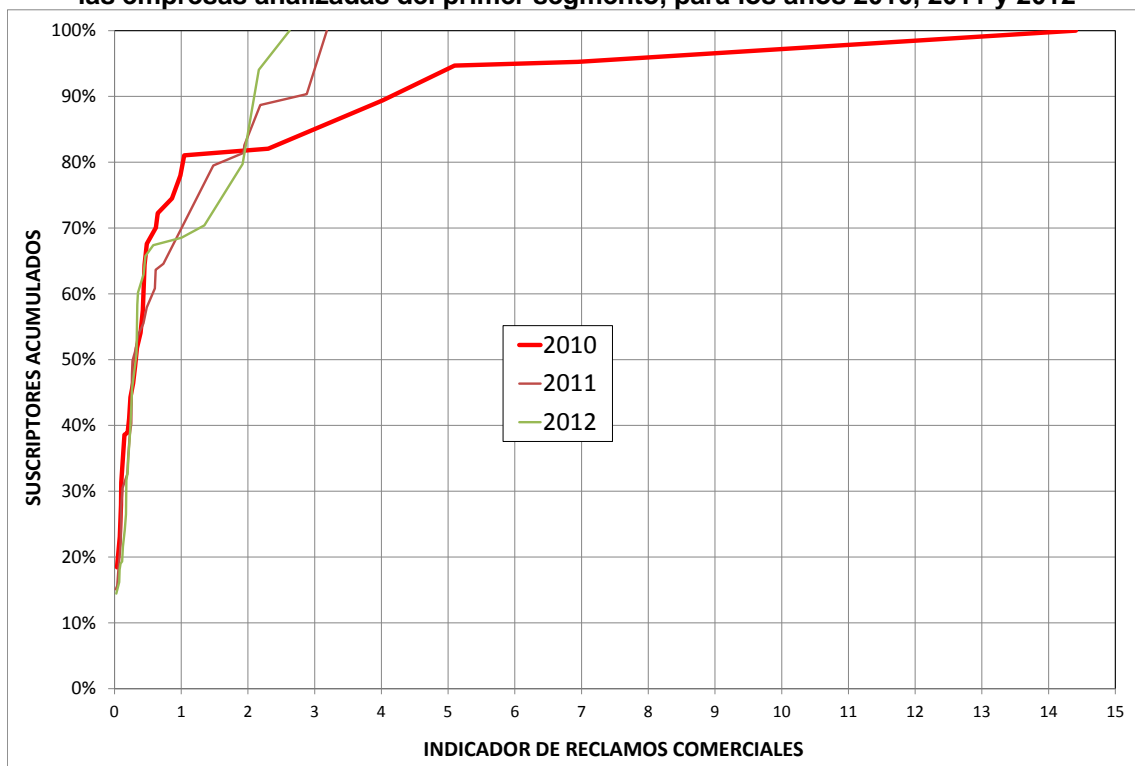
Fuente: SSPD y cálculos CRA.

De acuerdo con la tabla anterior, un estándar de servicio de un (1) reclamo comercial por facturación resuelto a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por año, podría representar una señal de calidad del servicio adecuada, sin embargo, dado que en el presente marco tarifario se incluyen nuevas

actividades como CLUS, CTL y aprovechamiento, existe una incertidumbre asociada a las reclamaciones por facturación que se puedan presentar por estos componentes del servicio. En este sentido, se resalta el hecho de que la información suministrada por la SSPD, y presentada en las gráficas y tablas anteriores, corresponde a información perteneciente al marco tarifario anterior que no contemplaba las actividades mencionadas.

Por lo anterior, para la implementación por primera vez del reglamento de calidad y descuentos, la CRA estableció un valor conservador del estándar de cuatro (4) reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores por año, el cual se espera que incentive a las empresas que se encuentran por encima a mejorar su gestión comercial, lo cual representaría mejorar la facturación de aproximadamente el 10% de los suscriptores del primer segmento que se analizaron para el año 2010. Este beneficio esperado se puede observar gráficamente en la siguiente gráfica:

Gráfica 26. Indicador de Reclamos Comerciales asociado al porcentaje de suscriptores acumulado de las empresas analizadas del primer segmento, para los años 2010, 2011 y 2012



Fuente: Cálculos CRA.

En la figura anterior se observa que aproximadamente el 10% de los suscriptores de las empresas analizadas del primer segmento en el año 2010, tenían una facturación cuyo indicador de reclamos comerciales asociado no cumplía con el estándar de servicio y es precisamente lo que se busca mejorar con la implementación de los descuentos por este concepto. De igual forma, este concepto se extendería para aplicarse a las empresas del segundo segmento, esperando que con esta señal mejoren el proceso de facturación quienes actualmente no cumplen con el estándar. Nótese que para los años 2011 y 2012, según la información de la SSPD, los suscriptores de las empresas analizadas contaban con un servicio que cumplía con el estándar establecido, no obstante, se reitera que esa información no contemplaba reclamaciones por facturación asociadas a las nuevas actividades que se incluyen en el presente marco tarifario.

- **Indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables**

La otra dimensión que se abarca dentro del régimen de calidad y descuentos está relacionada con la calidad técnica en la prestación del servicio, concretamente la que tiene que ver con la recolección de residuos sólidos no aprovechables.

Si bien el descuento asociado a la calidad técnica en la prestación del servicio le permite al suscriptor ser compensado por el incumplimiento de la persona prestadora frente a las metas de calidad del servicio establecidas previamente, dicho instrumento también se convierte en un mecanismo de incentivo económico para que las personas prestadoras del servicio público de aseo alcancen estándares de calidad que satisfagan a los suscriptores.

Desde el punto de vista técnico, son dos los aspectos relevantes que deben ser tratados dentro del régimen de calidad y descuentos: la frecuencia y el horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables. En consecuencia, resulta necesario definir indicadores que por un lado permitan identificar el estado de una persona prestadora en estos dos aspectos, y por otro lado se puedan tomar como base para establecer la magnitud del descuento asociado a la dimensión de la calidad técnica en la prestación del servicio.

En este sentido, el indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables se construye a partir de los indicadores de calidad de la frecuencia y del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables, cuyo cálculo se describe a continuación.

- **Medición de la frecuencia y el horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables**

Antes de definir cómo es el cálculo de los indicadores asociados a la dimensión técnica del servicio público de aseo, es necesario establecer el mecanismo de medición de la frecuencia y el horario de recolección de los residuos sólidos no aprovechables que las personas prestadoras deberán implementar con el fin de hacer factible el seguimiento del componente técnico del servicio, y por lo tanto, la aplicación de los descuentos asociados a esta dimensión.

Para la medición de la frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables, cada persona prestadora deberá implementar un sistema de posicionamiento global en los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos no aprovechables, el cual debe estar constituido por lo menos con los siguientes elementos:

1. Un dispositivo de posicionamiento global o GPS en cada camión recolector de residuos sólidos no aprovechables, que cuente con los dispositivos de seguridad necesarios para evitar su remoción del vehículo en el que inicialmente fue instalado.
2. Un dispositivo de transmisión de datos en cada GPS, el cual transmitirá en línea la información del recorrido y horario de cada camión recolector a la central de información de la persona prestadora.
3. Un dispositivo de reconocimiento e identificación en cada camión recolector (chip ibutton).
4. Un software de recepción y procesamiento de información de georreferenciación, que esté en capacidad de procesar dicha información para establecer si cada ruta de recolección de residuos sólidos no aprovechables se presta con la frecuencia y el horario establecido en el correspondiente Contrato de condiciones uniformes (CCU).
5. Un computador con el software de georreferenciación instalado y con conexión a internet.

A pesar de que el componente de barrido y limpieza no entra en el régimen de calidad y descuentos descrito en este capítulo, con miras a monitorear mejor este componente del servicio, se establece que en los camiones recolectores y transportadores de este tipo de residuos también se instalen los dispositivos descritos en esta sección.

- **Cálculo del indicador de calidad de la frecuencia de recolección de residuos sólidos no aprovechables**

Este indicador mide el porcentaje de frecuencias de microrrutas dejadas de prestar en el mes por la persona prestadora con respecto a la frecuencia de recolección establecida previamente en el respectivo Contrato de condiciones uniformes, la cual se debe expresar en número de frecuencias por semana y por APS. Su estimación debe hacerse de forma discriminada para cada una de las microrrutas de recolección de residuos sólidos no aprovechables que posea la persona prestadora en un APS determinada y para su cálculo debe emplearse la siguiente expresión:

$$IFR_{NA_l} = \frac{\sum_{s=1}^{nsm} NRD_{ls}}{(ndm/7) * F_{CCU_l}} * 100\%$$

Donde:

IFR_{NA_l} : Indicador de calidad de la frecuencia de recolección de residuos sólidos no aprovechables para la microrruta de recolección analizada l , dentro del mes de análisis.

l : Microrruta de recolección analizada

NRD_s : Número de frecuencias dejadas de prestar en la microrruta de recolección l , para cada semana s del mes analizado.

s : Semana del mes analizada.

nsm : Número de semanas calendario parciales o completas que posee el mes de análisis. Se contará una semana dentro de esta variable si por lo menos un día de la semana calendario analizada está dentro del mes analizado.

ndm : Número de días que posee el mes de análisis.

F_{CCU_l} : Frecuencia de recolección establecida en el Contrato de condiciones uniformes (CCU) para la microrruta de recolección l .

En los casos en los que una semana pertenezca a dos (2) meses diferentes, para el cálculo del indicador únicamente se contarán las microrrutas dejadas de prestar en los días que pertenecen al mes de análisis.

Una frecuencia se contabilizará como dejada de prestar si la recolección de los residuos no aprovechables pertenecientes a la microrruta analizada no se llevó a cabo en su totalidad, es decir, si en el día establecido en el CCU no se recogieron los residuos sólidos no aprovechables de todos los suscriptores pertenecientes a la microrruta analizada.

- **Cálculo del indicador de calidad del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables**

El indicador de calidad del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables también es un indicador con periodicidad mensual y precisamente mide el comportamiento de la persona prestadora en cuanto al incumplimiento mensual del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables preestablecido en el respectivo Contrato de condiciones uniformes, para cada una de sus macrorrutas de recolección en el APS de análisis. Este indicador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IHR_{NA_L} = \frac{\sum_{s=1}^{nsm} NRR_{Ls}}{(ndm/7) * F_{CCU_L}} * 100\%$$

Donde:

- IHR_{NA_L}*: Indicador de calidad del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables para la macrorruta de recolección analizada *L*, dentro del mes de análisis.
- NRR_{LS}*: Número de frecuencias prestadas con retraso superior a tres (3) horas en la macrorruta de recolección *L*, para cada semana *s*.
- F_{CCU_L}*: Frecuencia de recolección establecida en el Contrato de condiciones uniformes (CCU) para la macrorruta de recolección *L*.
- L*: Macrorruta de recolección analizada.

Una frecuencia se catalogará con retraso no aceptado o superior a tres (3) horas, si:

$$HF_{CCU} + 3 < HF_R$$

Donde:

HF_{CCU}: Hora final del horario de recolección que se estableció en el CCU para la macrorruta de recolección analizada *L*.

HF_R: Hora final real de la frecuencia analizada que pertenece a la macrorruta de recolección analizada *L*.

En los casos en los que una semana pertenezca a dos (2) meses diferentes, para el cálculo del indicador únicamente se contarán las frecuencias de las macrorrutas con retraso no aceptado que se presenten en los días que pertenecen al mes de análisis.

- **Cálculo del indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables**

Como ya se mencionó, este indicador se estima a partir de los indicadores de calidad de la frecuencia y del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables y mide la calidad global de esta actividad. Dado que este indicador se emplea para determinar los descuentos asociados a la dimensión técnica y éstos se establecen cada seis meses, la periodicidad del cálculo de este indicador es semestral.

La expresión para calcular este indicador es la siguiente:

$$ICTR_{NA_l} = \frac{\sum_{p=1}^m (0,5 * (IFR_{NA_l} + IHR_{NA_l}))_p}{6}$$

Donde:

ICTR_{NA_l}: Indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables de la microrruta de recolección *l*.

p: Corresponde a cada uno de los seis meses continuos analizados dentro del semestre de análisis y toma valores entre 1 y 6 hasta alcanzar el mes *m*.

m: Número del mes analizado dentro del semestre de estudio, que varía entre 1 y 6.

l: Microrruta de recolección analizada.

0,5: Factor de ponderación de cada uno de los indicadores relacionados con la actividad de recolección de residuos sólidos no aprovechables.

IFR_NA_i : Indicador de calidad de la frecuencia de recolección de residuos sólidos no aprovechables para la microrruta de recolección analizada i , dentro del mes de análisis.

IHR_NA_i : Indicador de calidad del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables para la microrruta de recolección analizada i , dentro del mes de análisis. El valor de este indicador para cada microrruta de recolección será igual al valor del indicador de la macrorruta a la cual pertenece (IHR_NA_L), que fue calculado en el ítem anterior.

Con respecto al factor de ponderación, se propone que la calidad de la frecuencia y del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables tengan el mismo peso a la hora de establecer los descuentos asociados con la dimensión técnica; de ahí que el factor de ponderación establecido en la expresión anterior sea igual a 0,5.

Dado que el indicador de calidad del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables se estima para cada macrorruta de recolección L y el indicador de frecuencia se establece para cada microrruta de recolección i , el indicador de calidad técnica en la recolección de residuos no aprovechables debe tener la menor desagregación y en este sentido debe ser estimado para cada una de las microrrutas de recolección de este tipo de residuos que posea la persona prestadora.

- **Indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario**

El establecimiento de este indicador dentro del régimen de calidad y descuentos toma relevancia en la medida que incentiva a los operadores de los rellenos sanitarios a compactar adecuadamente los residuos en los sitios de disposición final, a través de descuentos aplicados a los suscriptores que disminuyen sus ingresos. Esto con el fin de respetar, y eventualmente prolongar, las vidas útiles de los rellenos sanitarios contempladas en sus respectivos diseños. De esta manera se espera que no se presenten cierres anticipados de los sitios de disposición final y esta actividad se desarrolle con la continuidad esperada.

El comportamiento de los operadores de los rellenos sanitarios en esta materia, se comparará con la densidad de diseño, con lo cual se obtendrá el valor del indicador de incumplimiento que se utilizará para establecer los descuentos correspondientes.

Es de aclarar en este caso, que la meta en cualquier momento es igual a la densidad de compactación contemplada en el diseño de cada sitio de disposición final. En todo caso, de acuerdo con el numeral F6.7.5.3 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), para rellenos sanitarios con una disposición final mayor a quince (15) toneladas por día se deberán alcanzar densidades de mínimo 0,85 toneladas/m³.

- **Cálculo del índice de compactación del relleno sanitario**

Antes de obtener el indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario con el cual se determinan los descuentos, es necesario estimar el índice de compactación que se estima a partir de la siguiente expresión:

$$ICRS_m = \frac{\sum_{p=1}^m QRS_p}{V_m - V_0}$$

Donde:

$ICRS_m$: Es el índice de compactación del relleno sanitario, para el mes m dentro del semestre de análisis, dado en toneladas/m³.

p : Corresponde a cada uno de los seis meses continuos analizados dentro del semestre de análisis y toma valores entre 1 y 6 hasta alcanzar el mes m .

- QRS_p : Total de toneladas de residuos recibidas en el sitio de disposición final, durante el mes p , obtenida como la sumatoria de las toneladas de residuos recibidas de todas las personas prestadoras de la actividad de recolección y transporte durante el periodo de análisis (toneladas).
- V_m : Volumen total ocupado por residuos en las celdas activas durante lo transcurrido del semestre de análisis, medido con topografía al final del mes de análisis m (m^3).
- V_0 : Volumen total ocupado por residuos en las celdas activas durante lo transcurrido del semestre de análisis, medido con topografía al final del semestre anterior al semestre de análisis (m^3).

Dado que las personas prestadoras de la actividad de recolección y transporte son las encargadas de realizar los descuentos a los suscriptores, los operadores de los rellenos sanitarios están en la obligación de suministrarles mensualmente los parámetros QRS_p , V_m y V_0 . De igual forma deberán hacerlo a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en las condiciones y medios que ésta establezca.

El costo de la topografía mensual necesaria para el cálculo de este índice, fue incluida en el costo de disposición final del presente marco tarifario.

Para efectos de un cálculo mensual del índice, la topografía para determinar los volúmenes ocupados por mes en cada relleno sanitario, debe realizarse entre el último día del mes analizado y el primer día del mes siguiente.

- **Cálculo del indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario**

Teniendo en cuenta que la meta con la cual se compara el índice presentado anteriormente es siempre igual para un mismo relleno sanitario, el cálculo de este indicador también se puede hacer mes a mes, sin embargo, para efectos de la determinación de los descuentos se deberá tomar el indicador determinado en el sexto mes dentro del semestre de análisis. Dicho indicador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IC_{CRS} = 1 - \frac{ICRS_m}{MCRS}; \quad \text{Si } IC_{CRS} < 0 \text{ entonces } IC_{CRS} = 0$$

Donde:

- m : Es el número del mes analizado dentro del semestre en estudio que varía entre 1 y 6.
- IC_{CRS} : Es el indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario, teniendo como referencia la meta establecida para el mes m dentro del semestre de análisis. El indicador que se debe tener en cuenta al finalizar el semestre de análisis para el establecimiento de los descuentos respectivos, corresponde al calculado con el $ICRS_6$ de cada semestre analizado.
- $MCRS$: Es la meta para el mes m del semestre de análisis, que corresponderá a la densidad de diseño del relleno sanitario (toneladas/ m^3).
- $ICRS_m$: Es el índice de compactación del relleno sanitario, para el mes m dentro del semestre de análisis, dado en toneladas/ m^3 .

- **Cálculo del índice semestral de incumplimiento ponderado en la compactación de los rellenos sanitarios**

Este índice, así como el anterior indicador, a pesar de enfocarse en los sitios de disposición final, deben ser calculados por las personas prestadoras de la actividad de recolección y transporte, con base en la información

que de manera obligatoria deben suministrarle todos los operadores de los rellenos sanitarios donde la persona prestadora transporte sus residuos para la respectiva disposición final.

Únicamente cuando la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte dispone residuos en más de un sitio de disposición final, el índice de incumplimiento deberá ser calculado por cada sitio de disposición final k de manera independiente y de acuerdo con las expresiones matemáticas mostradas en los dos ítems anteriores.

Ahora bien, para efectos del establecimiento de los descuentos en los casos donde se disponen residuos en más de un relleno sanitario, el índice semestral de incumplimiento a aplicar deberá calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ICP_CRS = \frac{\sum_{k=1}^n (IC_CRS_{6k} * QRS_{6k})}{\sum_{k=1}^n QRS_{6k}}$$

Donde:

ICP_CRS : Es el índice semestral de incumplimiento ponderado en la compactación de los rellenos sanitarios, teniendo como referencia las toneladas transportadas a cada uno de los sitios en donde se haga disposición final para el semestre de análisis.

IC_CRS_{6k} : Es el índice semestral de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario k , teniendo como referencia el indicador $ICRS_6$ y la meta establecida para el semestre de análisis del respectivo relleno sanitario.

QRS_{6k} : Total de toneladas de residuos transportadas por la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte al sitio de disposición final k , durante el semestre de análisis (toneladas).

k : Número de sitios de disposición final en donde la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte dispone los residuos durante el semestre de análisis, donde $k=\{1,2,3,4,\dots,n\}$.

7.3.2 Formulación de los descuentos

El régimen de calidad y descuentos busca establecer una relación funcional de manera que el descuento en la tarifa obedezca a cambios en el nivel de calidad en la prestación del servicio, haciendo uso del principio de integralidad incluido en la Ley de servicios públicos domiciliarios, 142 de 1994. Adicionalmente, es necesario señalar que esta metodología de descuentos asociados a la calidad del servicio, aplica sin perjuicio de las sanciones que puedan establecer las autoridades ambientales, la SSPD, o de las indemnizaciones definidas por los jueces de la República asociadas a perjuicios causados a los suscriptores por deficiencias en la prestación del servicio.

En este sentido también es importante resaltar que los descuentos que a continuación se describen, aplican sin perjuicio de las sanciones o acciones que la SSPD pueda efectuar por fallas en la prestación del servicio.

La segmentación de prestadores definida en este marco tarifario será tomada en cuenta más adelante en la transición para la implementación del sistema de medición de la frecuencia y el horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables. Un aspecto importante a tener en cuenta está relacionado con que los descuentos se determinan y aplican de forma independiente para cada APS que atienda una persona prestadora.

- **Estructura de la formulación de los descuentos**

La formulación de los descuentos definidos en esta metodología, está basada en indicadores semestrales, a través de los cuales se estima el nivel de la calidad del servicio público de aseo, desde la perspectiva de la gestión técnica, comercial y de compactación de los rellenos sanitarios, que afecta directamente a los suscriptores de una persona prestadora y APS determinadas.

En lo que respecta a la calidad técnica aplicable al servicio público de aseo, se tiene en cuenta el *Indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables* (ICTR_NA_i), que genera descuentos a partir del Costo de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos (CRT).

Por otra parte, para estimar los descuentos asociados al componente comercial, es decir, al Costo de Comercialización por Suscriptor (CCS), se tiene en cuenta el *Indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación* (IC_IRCF).

Finalmente, para establecer los descuentos relacionados con la eficiencia en la compactación de los rellenos sanitarios, se debe tener en cuenta el *Indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario* (IC_CRS), el cual afecta el Costo de Disposición Final por tonelada (CDF).

Independientemente de cuál descuento se esté analizando, la forma como se determina es la misma. Para cada suscriptor afectado se estima un valor semestral de descuento asociado al indicador de calidad analizado, el cual debe ser reconocido en su factura.

Los descuentos benefician únicamente a los suscriptores afectados por alguna de las dimensiones incluidas dentro del régimen de calidad y descuentos durante el semestre de análisis.

Los descuentos asociados a la calidad del servicio se aplicarán a partir del primer semestre calendario que transcurra completamente desde que entre en vigencia el marco tarifario establecido en la resolución definitiva. Para el efecto, se entiende semestre calendario que transcurra completamente el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio, o entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de un año.

La entrada en vigencia de los descuentos asociados a la calidad técnica del servicio de aseo dependerá de la segmentación definida para el presente marco tarifario. Para el primer segmento, los descuentos asociados al cumplimiento de las metas de frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables entrarán en vigencia a partir de la medición que sobre esta materia se haga durante el segundo semestre calendario que transcurra completamente desde que entre en vigencia la presente resolución; mientras que para el segundo segmento, dichos descuentos entrarán en vigencia a partir de la medición efectuada durante el tercer semestre calendario que transcurra completamente desde el inicio de la aplicación del presente marco tarifario.

De igual forma, para el segundo segmento se establece una transición en este sentido de un semestre adicional con respecto al primer segmento, con lo cual los descuentos asociados a la dimensión técnica deberán aplicarse por primera vez durante el cuarto semestre calendario que transcurra completamente desde que haya entrado en vigencia el presente marco regulatorio. Esto implica que las personas prestadoras del segundo segmento tendrán por lo menos un (1) año de plazo para implementar y empezar a medir la frecuencia y el horario de recolección de los residuos sólidos no aprovechables.

Los indicadores que no puedan ser calculados por falta de reporte de información por parte de la persona prestadora, se entenderán como incumplidos. En este caso se aplicará el máximo descuento correspondiente al semestre consecutivo de incumplimiento, sin perjuicio de las acciones a que haya lugar por parte de la SSPD.

Para la determinación de los descuentos aplicables a cada suscriptor, independientemente del indicador analizado, se plantea una expresión genérica que se describe a continuación.

- **Valor de descuento por suscriptor afectado**

La expresión para determinar el valor de descuento por suscriptor afectado, asociado a cualquiera de los indicadores propuestos en este régimen de calidad y descuentos, es de la siguiente forma:

$$V_{indicador} = Frein * indicador * Dmax_{indicador} * BD_{indicador}$$

Donde:

<i>V_indicador:</i>	Valor de descuento por suscriptor afectado asociado al indicador analizado.
<i>Frein:</i>	Factor de reincidencia en el incumplimiento.
<i>indicador:</i>	Valor de incumplimiento del indicador analizado frente a la meta propuesta para el semestre de análisis, que varía entre 0 y 1.
<i>Dmax_indicador:</i>	Factor de descuento máximo asociado al indicador que se esté analizando.
<i>BD_indicador:</i>	Base de descuento asociada al indicador que se esté analizando y debe determinarse de manera específica dependiendo del suscriptor afectado.

Resulta pertinente aclarar que para el caso del descuento asociado a deficiencias en la compactación del relleno sanitario, siempre se deberá emplear el indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario (IC_CRS), exceptuando el caso en el que la persona prestadora disponga sus residuos durante el semestre de análisis en más de un relleno sanitario, caso en el cual deberá emplear el índice semestral de incumplimiento ponderado en la compactación de los rellenos sanitarios (ICP_CRS).

Con respecto al valor del factor de reincidencia (*Frein*), se plantea una gradualidad por incumplimiento, que depende de la reincidencia que la persona prestadora presente en el incumplimiento de una meta en semestres consecutivos. La variación del factor de reincidencia se muestra a continuación:

Tabla 89. Máximo descuento posible por semestres consecutivos de incumplimiento

Número de semestres consecutivos de incumplimiento	Factor de reincidencia
1	0,20
2	0,60
3 o superior	1,00

Fuente: CRA

Con el propósito de que realmente el régimen de calidad y descuentos incentive a las personas prestadoras a mejorar y mantener un nivel de calidad en la prestación del servicio estándar, se propone que el máximo descuento posible sea del 20% para el primer semestre y aumente en la medida que la persona prestadora reincida en el incumplimiento de las metas, con lo cual se plantea que a partir del tercer semestre consecutivo de incumplimiento, el factor de descuento sea de 100%.

En la siguiente tabla se presenta una descripción de la nomenclatura que adopta cada uno de los parámetros definidos en la expresión general para determinar el valor de descuento por suscriptor afectado, dependiendo del indicador al cual se asocie dicho valor.

Tabla 90. Nomenclatura de los parámetros de cálculo del valor de descuento por suscriptor afectado para cada indicador

Dimensión	Nomenclatura Valor descuento (<i>V_indicador</i>)	Valor Indicador asociado (entre 0 y 1)	Nomenclatura Factor de descuento máximo (<i>Dmax_indicador</i>)	Nomenclatura Base descuento (<i>BD_indicador</i>)
-----------	---	--	---	---

	<i>(indicador)</i>			
<i>Técnica</i>	$V_CTR_NA_i$	$ICTR_NA_i$	$Dmax_CTR_NA_i$	$BD_CTR_NA_i$
Comercial	V_RCF	IC_IRCF	$Dmax_RCF$	BD_RCF
Compactación relleno sanitario	V_CRS	IC_CRS	$Dmax_CRS$	BD_CRS

Fuente: CRA

La forma como se determinan los parámetros presentados en su mayoría ha sido definida a lo largo de las diferentes secciones de este capítulo, con excepción del factor máximo de descuento ($Dmax_indicador$) y la base de descuento asociada a cada indicador ($BD_indicador$), los cuales se definen a continuación.

- **Factor de descuento máximo**

El factor de descuento máximo ($Dmax_indicador$) establecido en la fórmula genérica del valor de descuento por suscriptor afectado, hace referencia a la máxima porción del costo asociado al indicador analizado que es susceptible de descuento. Este factor se define genéricamente de la siguiente forma:

$$Dmax_indicador = Frem * Cdesc$$

Donde:

Frem: Factor de remuneración asociado al costo que se esté analizando.

Cdesc: Costo asociado al descuento que se esté analizando.

En el caso del Indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables ($ICTR_NA_i$), el parámetro $Cdesc$ es igual al Costo de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos (CRT), es decir que la dimensión técnica afecta el CRT. De otro lado, la dimensión comercial representada por el Indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación (IC_IRCF), afecta el Costo de Comercialización por Suscriptor (CCS), con lo cual $Cdesc$ en este caso es igual a CCS. De igual forma, el indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario (IC_CRS) afecta el Costo de Disposición Final por tonelada ($Cdesc=CDF$).

Para efectos del cálculo de los descuentos, los costos de referencia, en este caso el CRT, el CCS y el CDF, serán los correspondientes a las tarifas del estrato 4 para el semestre de análisis. En el evento que se presenten variaciones de la tarifa del estrato 4 durante el semestre de análisis, para el cálculo de los descuentos se utilizará el promedio de las tarifas, ponderado por los meses de vigencia de cada una de ellas.

Por su parte, se ha establecido un factor de remuneración ($Frem$) igual a 10,59% para el CRT y el CDF e igual a 2,46% para el CCS, los cuales se obtuvieron de la porción de la tasa de descuento ($WACC$) que remunera al patrimonio en el primer caso y al capital de trabajo en el segundo caso.

- **Base de descuento**

La base de descuento asociada a cada indicador, es el parámetro que establece la magnitud real del descuento al suscriptor afectado en cada dimensión.

En el caso de la dimensión técnica, es decir la que se asocia al Indicador de calidad técnica en la recolección de residuos sólidos no aprovechables ($ICTR_NA_i$), el valor de la base de descuento ($BD_CTR_NA_i$) se estima mediante la siguiente expresión:

$$BD_CTR_NA_l = \sum_{p=1}^6 (TRNA_{u,z})_{l,p}$$

Donde:

$BD_CTR_NA_l$: Base de descuento asociada a la dimensión técnica.

u : Tipo de suscriptor.

z : APS analizada.

l : Microrruta de recolección analizada.

p : Corresponde a cada uno de los seis meses continuos analizados dentro del semestre de análisis y toma valores entre 1 y 6.

$(TRNA_{u,z})_{l,p}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables por APS z , presentadas para su recolección por parte del suscriptor u que pertenece a la microrruta de recolección l , en el mes p .

En cambio, para el caso del *Indicador de incumplimiento de reclamos comerciales por facturación (IC_IRCF)*, que incide sobre el Costo de Comercialización por Suscriptor (CCS), el valor de la base de descuento es igual a 6, que corresponde al número de meses que componen el periodo de análisis.

Por su parte, el valor de la base de descuento que se asocia al indicador de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario, que a su vez afecta el Costo de Disposición Final por tonelada (CDF), se determina mediante la siguiente expresión:

$$BD_CRS = \sum_{p=1}^6 (TDRS_i)_p$$

Donde:

BD_CRS : Base de descuento asociada a la compactación en el relleno sanitario.

i : Suscriptor afectado i .

p : Corresponde a cada uno de los seis meses continuos analizados dentro del semestre de análisis y toma valores entre 1 y 6.

$(TDRS_i)_p$: Toneladas de residuos no aprovechables asociadas al suscriptor afectado i y producidas durante el mes p , que se emplearán para establecer los descuentos asociados a la compactación del relleno sanitario. En este caso se deberán tener en cuenta todas las toneladas por suscriptor i que se transportan al relleno sanitario durante el mes p , con lo cual el valor de $TDRS$ se deberá calcular de la siguiente forma dependiendo de si el usuario tiene o no aforo:

Si el usuario no tiene aforo:

$$TDRS_i = \overline{TRBL} + \overline{TRLU} + TRNA_{u,z} + \overline{TRRA}$$

Si el usuario tiene aforo:

$$TDRS_i = \overline{TRBL} + \overline{TRLU} + TAFNA_{i,z} + \overline{TRRA}$$

Donde:

$TDRS_i$: Corresponde al total de toneladas transportadas al relleno sanitario por suscriptor afectado i .

\overline{TRBL} : Toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor (toneladas/suscriptor- mes).

\overline{TRLU} : Toneladas de Limpieza Urbana por suscriptor (toneladas/suscriptor- mes).

$TRNA_{u,z}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables por suscriptor u en el APS z , de la persona prestadora (toneladas/suscriptor-mes).

$TAFNA_{i,z}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables aforadas por suscriptor i en el APS z de la persona prestadora (toneladas/suscriptor- mes).

\overline{TRRA} : Toneladas de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).

- **Total de descuentos aplicables a cada suscriptor afectado**

El descuento total aplicable al suscriptor afectado se define como la suma de los descuentos definidos para cada indicador, los cuales deberán ser considerados en la factura al suscriptor de la siguiente forma:

$$D_{TOTAL_i} = V_{CTR_NA_i} + V_{RCF} + V_{CRS}$$

Donde:

D_{TOTAL_i} : Descuento total aplicable al suscriptor afectado i del servicio público de aseo.

$V_{CTR_NA_i}$: Valor descuento dimensión técnica.

V_{RCF} : Valor descuento dimensión comercial.

V_{CRS} : Valor descuento compactación en el relleno sanitario.

Este descuento total deberá reflejarse en la factura como un menor valor de ésta por incumplimiento de las metas de calidad. La forma como se determinan cada uno de los parámetros de la expresión anterior, fue definida en los ítems anteriores de esta sección.

Cada descuento deberá incluirse en la factura por separado. El valor total del descuento se restará del valor total de la factura, después de haber aplicado los subsidios y contribuciones a que haya lugar.

La persona prestadora cuenta con un plazo máximo de seis (6) meses para hacer efectivo el descuento total en la factura de los suscriptores afectados. Este plazo empezará a contar una vez finalice el semestre objeto de evaluación.

En caso de que una persona prestadora no haga efectivos los descuentos durante el periodo mencionado de seis (6) meses, deberá hacerlo posteriormente reconociendo a cada suscriptor afectado el descuento total pendiente y los intereses a que haya lugar sobre este valor, sin perjuicio de las acciones a que haya lugar por parte de la SSPD. Los intereses se causarán a una tasa mensual igual al promedio de las tasas activas del mercado que se encuentren vigentes para el respectivo mes en que se reconocen los intereses.

- **Descuento a los operadores de los rellenos sanitarios**

La persona prestadora de la actividad de recolección y transporte deberá descontar del pago a los operadores de los diferentes rellenos sanitarios que use, el monto total de los descuentos que se aplicaron a los suscriptores.

Si la persona prestadora dispone sus residuos en un único relleno sanitario durante el semestre de análisis, deberá trasladar el total de los descuentos efectuados por este concepto durante el periodo analizado al operador del relleno sanitario en forma de descuento igualmente. En cambio, si la persona prestadora dispone residuos en más de un relleno sanitario, el descuento que le aplicará a cada operador se estimará con base en la siguiente expresión:

$$VT_CRS_k = VT_CRS_j * \frac{IC_CRS_{6k} * QRS_{6k}}{ICP_CRS * QRS_{6j}}$$

Donde:

k: Sitio de disposición final objeto de descuento.

VT_CRS_k: Valor total a descontar al relleno sanitario *k*, por parte de la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte, basado en el comportamiento de la compactación durante el semestre analizado.

VT_CRS_j: Valor total descontado a los suscriptores por la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte, asociado al comportamiento en la compactación de todos los rellenos sanitarios empleados durante el semestre analizado. Este parámetro se obtiene como la sumatoria del parámetro *V_CRS* de todos los suscriptores durante el semestre de análisis.

IC_CRS_{6k}: Es el índice semestral de incumplimiento en la compactación del relleno sanitario *k*, teniendo como referencia el indicador *ICRS₆* y la meta establecida para el semestre de análisis del respectivo relleno sanitario.

QRS_{6k}: Total de toneladas de residuos transportadas por la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte al sitio de disposición final *k*, durante el semestre de análisis (toneladas).

ICP_CRS: Es el índice semestral de incumplimiento ponderado en la compactación de los rellenos sanitarios, teniendo como referencia las toneladas transportadas a cada uno de los sitios en donde se haga disposición final para el semestre de análisis.

QRS_{6j}: Total de toneladas de residuos dispuestas en todos los rellenos sanitarios por la persona prestadora de la actividad de recolección y transporte, durante el semestre de análisis (toneladas).

7.3.3 Verificación y certificación de la estimación y aplicación de los descuentos

Es deber del auditor externo de gestión de resultados o quien haga sus veces, verificar la estimación de los descuentos definidos en el presente régimen de calidad y descuentos, lo cual incluye la verificación de la información con la cual se estiman los descuentos y los cálculos correspondientes.

La persona prestadora únicamente podrá reportar al Sistema Único de Información (SUI) la información correspondiente a la estimación de los descuentos si su proceso de verificación ha finalizado satisfactoriamente, es decir, si el respectivo auditor ha verificado y avalado dicha información.

Una vez se reporten en el SUI los indicadores y los descuentos correspondientes, la persona prestadora podrá aplicarlos a los suscriptores afectados y el auditor externo de gestión de resultados o quien haga sus veces, igualmente certificará la correcta y efectiva aplicación de estos descuentos a los suscriptores afectados.

Todas las personas prestadoras, en cabeza del auditor externo de gestión y resultados o quien haga sus veces, deberán reportar mensualmente ante la SSPD en las condiciones y medios que esta establezca, toda la información producto del proceso de verificación y certificación de los indicadores, los descuentos y su correspondiente aplicación.

En este sentido es importante señalar que dentro del reporte que la persona prestadora debe hacer al SUI y el reporte de verificación que debe hacer el auditor externo o quien haga sus veces ante la SSPD, no se debe incluir la información de georreferenciación que se obtiene de la implementación del Sistema de Posicionamiento Global con el que se propone hacer seguimiento a la frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables. En los reportes únicamente se deberá incluir la información relevante para el cálculo de los indicadores y los descuentos respectivos y la información específica de georreferenciación de cada recorrido deberá estar disponible en cada empresa para revisión de la SSPD en caso de que así lo requiera.

El proceso de reporte de información al SUI, así como de la aplicación de los descuentos, deberá desarrollarse sin perjuicio de las acciones que la SSPD pueda efectuar con respecto al reporte adecuado de información y su correspondiente verificación y aplicación.

7.3.4 Estándares de servicio

Si bien dentro del régimen de calidad y descuentos descrito en este documento únicamente se incluyeron los indicadores de reclamos comerciales por exactitud en el cobro, frecuencia y horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables y calidad en la compactación de los rellenos sanitarios, en la siguiente tabla se presentan otros indicadores de seguimiento a la calidad del servicio que cada persona prestadora deberá implementar durante el siguiente periodo tarifario. En esta tabla, cada indicador se presenta junto con el estándar de servicio, la gradualidad y la meta a alcanzar.

Tabla 91. Indicadores de seguimiento a la calidad del servicio

Componente	Indicador	Estándar de servicio	Meta a alcanzar y gradualidad
COBERTURA	100% cobertura en el área urbana del municipio	Primer y segundo segmento	Primer año
RECOLECCIÓN	Calidad de la frecuencia de recolección de residuos sólidos no aprovechables	Frecuencia de recolección de residuos sólidos no aprovechables establecida en el respectivo Contrato de Condiciones Uniformes (CCU) para cada ruta de recolección.	100% del estándar desde la entrada en vigencia del marco tarifario.

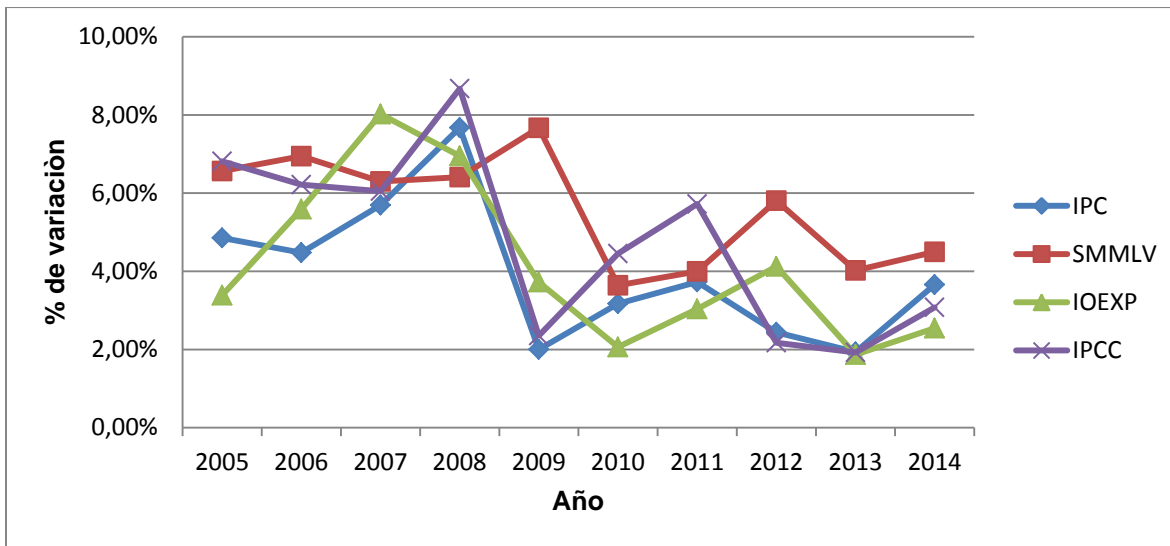
Componente	Indicador	Estándar de servicio	Meta a alcanzar y gradualidad
	Calidad del horario de recolección de residuos sólidos no aprovechables	Tiempo de duración de cada ruta de recolección de residuos sólidos no aprovechables establecido en el horario del respectivo CCU, más tres (3) horas adicionales.	100% del estándar desde la entrada en vigencia del marco tarifario.
	Calidad en la recolección	Sin presencia de bolsas con residuos ordinarios después de realizada la actividad de recolección.	100% del estándar desde la entrada en vigencia del marco tarifario.
BARRIDO Y LIMPIEZA	Calidad en el barrido	Sin presencia de residuos y/o arenilla en las vías y áreas públicas, después de realizada la actividad de limpieza y barrido.	100% del estándar desde la entrada en vigencia del marco tarifario.
DISPOSICIÓN FINAL	Compactación en el relleno sanitario	Densidad de compactación de los residuos contemplada en el diseño de cada relleno sanitario (toneladas/m ³)	100% del estándar desde la entrada en vigencia del marco tarifario.
COMERCIAL	Incumplimiento de reclamos comerciales por facturación	Cuatro (4) reclamos comerciales por facturación resueltos a favor del suscriptor en segunda instancia por cada 1.000 suscriptores al año.	100% del estándar a los cinco (5) años con una gradualidad a discreción del prestador.

Fuente: CRA

8. FACTOR DE ACTUALIZACIÓN DE COSTOS

Con el fin de establecer los factores de actualización de costos para la nueva metodología tarifaria de aseo, se evaluó la conveniencia de incluir diferentes índices de precios para la construcción de los factores de actualización de los costos, como lo estableció la Resolución CRA 351 de 2005; para esto se compararon las variaciones del Índice de Precios al consumidor (IPC), el salario mínimo legal vigente mensual (SMMLV) y el Índice del Grupo de Obras de explanación (IOExp), el rubro de Combustible Fuel Oil y Diesel Oil ACPM (ICFO). La gráfica que se presenta a continuación muestra dicha comparación:

Gráfica 27. Variación índice de precios, IPC, SMMLV, IPCC, IOExp
Porcentajes de variación anual 2005-2013



Fuente: DANE

Aunque los valores entre los diferentes índices presentan algunas diferencias, la gráfica muestra que en los últimos años los cuatro índices presentan una tendencia similar. A partir de esto y teniendo en cuenta que cada índice se eligió de acuerdo a las características propias de cada componente; el Costo de Barrido y Limpieza por suscriptor (CBLS) se actualizará con el Salario Mínimo Mensual Legal Vigente adoptado por el Gobierno Nacional; el Costo de Recolección y Transporte (CRT) con una combinación del IPC (índice de Precios al Consumidor) al 89% y del ICFO (rubro de Combustible Fuel Oil y Diesel Oil ACPM) al 11%, obteniendo la siguiente relación: $IPC_t^{0,89} * ICFO_t^{0,11}$; el Costo de Disposición Final (CDF) se actualizará de acuerdo con el IOExp (índice del grupo de obras de explanación) y el costo de tratamiento de lixiviados se actualizará con el IPC (índice de Precios al Consumidor).

Asimismo, el Costo de Limpieza Urbana por Suscriptor (CLUS) se actualizará con el Salario Mínimo Mensual Legal Vigente adoptado por el Gobierno Nacional y en lo que respecta al costo de comercialización se actualizará con el IPC (índice de Precios al Consumidor)

8.1 COSTO DE BARRIDO Y LIMPIEZA DE VÍAS Y ÁREAS PÚBLICAS POR SUSCRIPTOR (CBLS) Y DEL COSTO DE LIMPIEZA URBANA POR SUSCRIPTOR (CLUS)

Los componentes Costo de Barrido y Limpieza de Vías y Áreas Públicas por suscriptor (CBLS) y del Costo de Limpieza Urbana por suscriptor (CLUS), se actualizarán de acuerdo con el incremento del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente adoptado por el Gobierno Nacional, así:

$$P_{BYL}t \text{ y } P_{CLUS} = \left(\frac{SMMLV_t - SMMLV_{t-1}}{SMMLV_{t-1}} \right)$$

Donde:

$SMMLV_t$: Salario Mínimo Mensual Legal Vigente adoptado por el Gobierno Nacional en el año t.

8.2 COSTO DE COMERCIALIZACIÓN Y COSTO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Los costos de Costo de comercialización y del Costo de Tratamiento de Lixiviados: se actualizarán de acuerdo con el Índice de Precios al Consumidor (IPC), calculado por el DANE, así:

$$PFyR_t \text{ y } PTL_t = \left(\frac{IPC_t - IPC_{t-1}}{IPC_{t-1}} \right)$$

Donde:

PFyR_t: Costo de comercialización, facturación y recaudo.

PTL_t: Costo de Tratamiento de lixiviados.

8.3 COSTO DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

El Costo de recolección y transporte se actualizará en un 89% de acuerdo con la evolución del IPC, y en un 11% de acuerdo a la evolución del rubro de Combustible Fuel Oil y Diesel Oil ACPM (ICFO) que hace parte del IPP calculado por el Banco de la República; de modo que el resultado sea igual al que expresa la siguiente fórmula:

$$PRT_t = \left(\frac{IPCC_t - IPCC_{t-1}}{IPCC_{t-1}} \right)$$

$$IPCC_t = IPC_t^{0,89} + ICFO_t^{0,11}$$

El año base (=100) de los índices IPC e ICFO será diciembre de 2014, de modo que:

$$\frac{IPC_t}{IPC_{dic\ 2014}} ; \frac{ICFO_t}{ICFO_{dic\ 2014}}$$

Donde:

IPCC_t: Índice combinado de precios al consumidor y combustible, en el período t, donde “t” es el mes en el cual se realiza la actualización y “t-1” corresponde al mes en el que se hizo la última actualización de acuerdo al Artículo 125 de la Ley 142 de 1994.

8.4 COSTO DE DISPOSICIÓN FINAL

El Costo de disposición final se actualizará de acuerdo con la evolución del índice del grupo de obras de explanación (IOExp), que hace parte del Índice de Costos de Construcción Pesada (ICCP) elaborado por el DANE, así:

$$PDF_t = \left(\frac{IOEXP_t - IOEXP_{t-1}}{IOEXP_{t-1}} \right)$$

IOEXP_t: Índice del grupo de obras de explanación (IOEXP), que hace parte del Índice de Costos de Construcción Pesada (ICCP) elaborado por el DANE. En el período t, donde “t” es el mes en el cual se realiza la actualización y “t-1” corresponde al mes en el que se hizo la última actualización según lo establecido en el Artículo 125 de la Ley 142 de 1994.

9. FACTOR DE PRODUCTIVIDAD

Parte de la propuesta regulatoria desarrollada en la Resolución CRA 643 de 2013 es considerar el factor de productividad dentro de la metodología tarifaria, como se hizo en la Resolución CRA 351 de 2005. Para lo cual, se escogieron dos metodologías para su estimación. Ambas metodologías están basadas en fronteras estocásticas, la primera de ellas es la de *fronteras estocásticas de costos*, la segunda es la de *fronteras estocásticas de distancia de insumos de los resultados*. De estas dos metodologías se toma el menor valor, que corresponderá al valor del factor de productividad, que será distribuido en partes iguales entre las empresas prestadoras y los suscriptores.

9.1 METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE PRODUCTIVIDAD

Existen en la literatura diversas metodologías, además de la metodología de fronteras para calcular el factor de productividad. Entre ellas se analizaron las siguientes: *Productividad parcial de factores*, *Productividad total de factores* y *Análisis de envolvente de datos (DEA por su sigla en inglés)*⁸⁷:

- a) *Productividad parcial de factores*. Esta metodología es más sencilla de utilizar, pero produce resultados sesgados, puede ocurrir que el aumento de productividad de un factor se haya logrado a costas de la productividad de otro factor.
- b) *Productividad total de factores*. Este método implica la ponderación de productos y la ponderación de los distintos insumos, operaciones que son complejas y sobre las cuales no se encuentra un consenso.
- c) *DEA*. Método no paramétrico de programación lineal para estimar fronteras de producción y/o de costos. Entre las ventajas de este modelo se encuentran: i) no suponer que la muestra se ha obtenido de una población con características estructurales y ii) no suponer una forma funcional de la tecnología o de la función de costos. Sus desventajas estriban en que: i) no explica la relación entre productos e insumos o entre costos y precios de los factores, ii) no permite realizar pruebas sobre la especificación de la tecnología o los costos y, iii) determina la forma de la frontera a partir de las empresas más eficientes.
- d) *Frontera estocástica de costos o de producción*. Este método permite solucionar las limitaciones que presentan otros métodos como los anteriores. Tienen en cuenta cambios en eficiencia de todos los factores, no requieren ponderaciones de productos e insumos, recoge interacciones entre productos para empresas multi-producto, entre insumos, entre productos e insumos y entre productos y precios de los insumos (en el caso de fronteras de costos), que corresponden a economías de alcance, de escala y de decisiones frente a cambios económicos y a cambios de tecnología. Así mismo, permiten realizar pruebas estadísticas sobre las formas funcionales escogidas y sobre los estimadores de los parámetros. Una diferencia con el DEA, consiste en que en este análisis unas o muchas empresas están sobre la envolvente, mientras que en fronteras estocásticas, no necesariamente.

Con el análisis de fronteras estocásticas se puede hacer un uso eficiente de toda la información puesto que se puede estimar paneles no balanceados, en el caso en el que algunas empresas omitan parte de la información requerida. Además, la incorporación de factores aleatorios v y u conducen a estimaciones más robustas y permiten directamente encontrar empíricamente el factor de ineficiencia u (sobre esta especificación se volverá más adelante).

Las fronteras estocásticas pueden estimarse para producción o para costos: la primera tiene su foco en relaciones tecnológicas (entre cantidades de productos y de insumos), la segunda en relaciones económicas (entre costos y precios de los factores e insumos). Por supuesto, entre tecnología y costos hay una estrecha relación, establecida en el “principio de dualidad”, donde la función de costos incorpora toda la información de la tecnología relevante para análisis económicos.

⁸⁷ Coelli et al. 2005

La Comisión escogió utilizar el método de *frontera estocástica* dada las ventajas que presenta frente a otros métodos. No obstante, no desconoce los resultados de diferentes estudios empíricos que demuestran que cada metodología produce un resultado diferente. Es el caso del estudio de Coelli de 2003, en el cual se presenta un estudio empírico sobre los diferentes resultados en productividad que produce aplicar diferentes metodologías⁸⁸.

La escogencia entre fronteras de producción o fronteras de costos es un asunto no tanto teórico, como empírico. Alternativamente, pueden utilizarse las dos metodologías y combinar sus resultados, que es la estrategia que se emplea en el presente marco tarifario. Así, se estimará tanto una frontera de producción como una frontera de costos y se utilizarán ambos resultados para llegar al factor de productividad

A continuación se describen las dos metodologías: la primera con base en fronteras de costos y la segunda con base en fronteras de producción; como se verá, tienen bastantes elementos en común. Posteriormente, se presenta la manera como se combinan los resultados de ellas dos para establecer el factor de productividad aplicable anualmente a los prestadores del servicio público de aseo.

9.2 METODOLOGÍA CON BASE EN FRONTERA ESTOCÁSTICA DE FUNCIONES DE COSTO

A continuación se describen los elementos para el cálculo del factor de productividad mediante la frontera estocástica de funciones de costo:

9.2.1 Definición de función de costos

La metodología con base en frontera estocástica de funciones de costos parte de una definición de función de costos y de adoptar una forma para esta función, la forma Translog:

La función de costos se define como la solución que encuentran las empresas al problema de minimizar costos de diferentes niveles de producción teniendo en cuenta la restricción de la tecnología disponible. Los costos están definidos como la suma de precios de cada factor e insumo por la cantidad del respectivo factor e insumo. Ahora bien, los precios de factores e insumos no son controlables por las empresas, sino que son resultado de los correspondientes mercados de factores e insumos. Así mismo, en un período, la tecnología está dada. Entre los factores e insumos cuyos precios son considerados se incluyen trabajadores (tanto operarios como administrativos), capital (máquinas, equipos y edificios) y otros insumos, tales como combustibles, llantas y geomembrana.

La solución del problema de minimización encuentra un valor de costos eficientes. Este valor cambia si varían los precios de los factores e insumos, o los niveles de producción, o la tecnología.

Para obtener una medición de estos costos mínimos (económicos, eficientes) es preciso hacer explícita una forma funcional. Entre ellas se encuentran las funciones lineales, la Cobb-Douglas, la CES y la Translog, en orden de complejidad creciente. La complejidad se refiere al número de parámetros que permite una forma funcional. Más parámetros significan una representación más cercana a la realidad de las empresas y, por otra parte técnicas econométricas especializadas (disponibles, no obstante, en diferentes paquetes de computador, entre ellos Frontier 4.1, Stata, Limdep, Matlab, etc.).

En la literatura sobre medición de productividad, se prefiere la función Translog, por cuanto permite recoger características tecnológicas y de costos presentes en empresas actuales, como economías de escala, de alcance; por flexibilidad ante cambios en precios de factores e insumos; y por flexibilidad tecnológica. Las economías de escala son ahorros en costos promedios debidos a niveles mayores de producción. Otros ahorros de las empresas pueden ser logrados por el alcance que tengan, por ejemplo, producir dentro de ella misma más de un producto (en el caso de aseo, que el mismo prestador haga recolección y transporte y

⁸⁸ Ibidem

disposición final), de manera que se reparten entre los varios productos aquellos costos que pueden ser comunes (por ejemplo, edificios, administración, algunos servicios personales). Las empresas pueden lograr ahorros también por su capacidad para adecuarse más rápido a cambios en los precios de los trabajadores, o en el precio del capital, o de otros insumos. Otra fuente de ahorros, a lo largo del tiempo, puede ser la adopción en una empresa de tecnologías más eficientes en la producción o prestación de los servicios que realiza.

Una forma Translog de la función de costos⁸⁹, en logaritmos, para un prestador de aseo que produce recolección y transporte y/o disposición final, y que utiliza trabajadores, capital, combustibles y geomembrana, es la siguiente:

$$\ln(C_t) = \alpha_0 + \sum_i \beta_i \ln w_{it} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_{ij} \ln w_{it} \ln w_{jt} + \sum_i \beta_i \ln y_{it} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln y_{it} \ln y_{jt} + \sum_i \sum_j y_{ij} \ln w_{it} \ln y_{jt} + v + u$$

Donde:

- C : Costos totales del prestador de aseo.
- t : Tiempo, que corresponde a meses o años.
- α_0 : Término independiente de la ecuación.
- i, j : Subíndice para insumos y productos diferentes.
- β_i : Parámetros econométricos asociados a cada uno de los precios w de los insumos (se definen a continuación).
- w : Precios de los Insumos; comprenden:
 - w_1 : Total de salarios mensuales por operador en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - w_2 : Total de salarios mensuales por operador en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
 - w_3 : Costo total mensual de dotación de trabajadores en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - w_4 : Costo total mensual de dotación de trabajadores en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
 - w_5 : Costo total mensual de consumos para la operación de capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - w_6 : Costo total mensual de consumos para la operación de capital en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
 - w_7 : Costos fijos mensuales del capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - w_8 : Costos fijos mensuales del capital en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
 - w_9 : Costo total mensual de gastos administrativos en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - w_{10} : Costo total mensual de gastos administrativos en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
 - w_{11} : Precio mensual del capital utilizado en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - w_{12} : Precio mensual de capital utilizado en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.

⁸⁹ Una Función de Costos Translog está asociada a una Función de Producción Translog (Principio de Dualidad entre tecnología y Función de Costos).

En las Funciones Translog que siguen, tanto de Costos como de Distancia, no se ha incluido un factor "tiempo", que permite medir cambio técnico, por adopción de nuevas tecnologías. Esto por cuanto no se dispone de series de tiempo suficientemente largas para el sector de Aseo. Cuando la disponibilidad de datos lo permita, en las Translog aparecerán las variables "t" y "t²", con sus respectivos parámetros, así como las interacciones de "t" con las demás variables en la función.

- w_{13} : Precio mensual de “otros insumos” utilizados en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS.
- w_{14} : Precio mensual de “otros insumos” utilizados en la actividad de disposición final (tierra, geomembrana y cierre de celdas) y tratamiento de lixiviados.
- w_{15} : Costo total mensual de clausura y posclausura.
- α_{ij} : Parámetros sobre efectos en costos por interacción de los diferentes precios de insumos del prestador de aseo.
- y : Medición de los niveles de producción de los productos para prestadores de aseo, así:
 - y_1 : Promedio de toneladas de residuos recolectadas y transportadas en el área de servicio durante del semestre que corresponda.
 - y_2 : Promedio de toneladas de residuos recibidas del semestre que corresponda.
- β_i : Parámetros sobre efectos en costos del prestador de aseo por la interacción de sus productos.
- γ_{ij} : Parámetros sobre efectos en costos del prestador de aseo por la interacción de sus productos y los precios de los insumos.
- v : Término simétrico de error (distribución normal), que incluye ruidos en las variables del prestador de aseo por errores de medición o variables omitidas.
- u : Término asimétrico en la ecuación del prestador de aseo, no negativo (distribución normal truncada). Mide la distancia del costo de un prestador a la frontera de costos (mide la ineficiencia del prestador)⁹⁰.

Conviene resaltar algunas características de la función anterior. Nótese que la función no utiliza como variables cantidades de insumos o factores, sino sus precios. Permite incorporar producción conjunta (múltiples productos) en las empresas y así economías de alcance. Especifica parámetros de economías de escala (cada producto multiplicado por sí mismo). Considera economías por flexibilidad ante cambios en precios de insumos (los productos cruzados de precios de insumos y de precios de insumos y cantidades producidas). Así mismo, corresponde a un modelo de “error compuesto”, es decir, un modelo en el cual el elemento de error usual se separa en dos componentes, u y v ; el primero de estos mide ineficiencia, el segundo recoge errores simétricos por variables omitidas o por errores de medición de las variables incluidas. Esta separación es medida por los paquetes econométricos disponibles (en Stata, “*default*”).

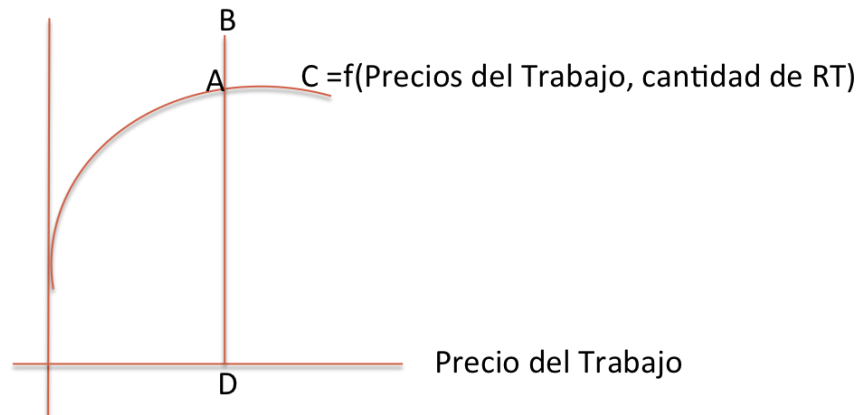
9.2.2 Cálculo del factor de productividad

Con base en la función de costos anterior, se estima un factor de productividad para los prestadores que prestan el servicio de recolección y transporte y para aquellos que prestan el servicio de disposición final. La separación del factor de productividad por recolección y transporte y disposición final tiene en cuenta que estas dos actividades tienen tecnologías diferentes, es decir, la segunda (disposición final) es más intensiva en capital que la primera (recolección y transporte).

Esto se lleva a cabo mediante la estimación de una frontera de costos estocástica, con base en los datos suministrados por los prestadores del servicio público de aseo, y una medición de la distancia de cada prestador a dicha frontera. Este punto se ilustra en el siguiente gráfico (para el caso de un producto y un insumo).

Gráfica 28. Costos Totales del Prestador de Recolección y Transporte

⁹⁰ En el paquete econométrico Stata, para guardar u se utiliza el comando “*predict nombre_variable, resid*”.



Fuente: Elaboración Alejandro Vivas Benítez, consultor CRA (Contrato 153 de 2013).

La medida de ineficiencia en costos es igual a BD/AD . Al precio del trabajo D , la empresa de RT tiene Costos B , por encima de la frontera de costos del sector de aseo.

La estimación de la frontera sigue el método de Máxima Verosimilitud. Éste es el método apropiado para modelos no-lineales, como es el caso de la función Translog. En este método los parámetros son la solución al problema de maximizar el valor de una función de verosimilitud L , es decir, el problema de maximizar la probabilidad de un conjunto de los valores de los parámetros dados los datos recopilados en los prestadores de aseo. La verosimilitud es proporcional a la probabilidad de observar los datos de los prestadores del servicio público de aseo⁹¹. El objetivo final de la estimación de la frontera estocástica es el análisis de la ineficiencia (u_i) de cada prestador de aseo respecto a la frontera de costos del sector de aseo.

Esta medida es observada indirectamente, puesto que el modelo especifica $e_i = v_i - u_i$. Además, los distintos parámetros son estocásticos y hay incertidumbre en la estimación de u_i . Así, la estimación de un valor único de u_i puede ser insuficiente.

El estimador estándar de u_i , para un modelo exponencial, es la función de media condicional $E[u_i/\varepsilon_i]$:

$$E[u_i/\varepsilon_i] = \varepsilon_i - \sigma^2/\sigma_\mu$$

El cálculo del modelo exponencial es arrojado por el software que se utilizará en las estimaciones.

Después de la estimación de la Frontera, el comando para estimar eficiencia técnica en Stata es:

predict eficiencia, te.

- i) El factor de productividad para el sector en un año será igual al mínimo de los factores de ineficiencia en costos de los prestadores de aseo.
- ii) Finalmente, el factor de productividad del sector FPM1 se establece con los factores de productividad de dos años, así:

FPM1 = Diferencia de los factores de productividad del sector para dos períodos.

9.2.3 Fuente de información

⁹¹ En Stata, los algoritmos que pueden utilizarse son: Newton-Raphson, Berndt-Hall-Hall-Hausman, Davidon-Fletcher-Powell y Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno. El software Frontier 4.1 tiene su algoritmo propio (criticado, sin embargo por paquetes como Limdep).

Para las estimaciones y cálculos descritos, la CRA utilizará información de los prestadores del servicio público de aseo. Esta será recogida trimestralmente, siguiendo el formulario del anexo 9 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Las variables contenidas en el formulario son:

Tabla 92. Variables requeridas para la estimación del factor de productividad con base en costos

Variables	Corresponde a
Nivel de producción y de los siguientes productos para los prestadores de aseo	y_1 : Promedio de toneladas de residuos recolectadas y transportadas en el área de servicio durante los últimos del semestre que corresponda.
	y_2 : Promedio de toneladas de residuos recibidas, del semestre que corresponda.
Costos Totales (C)	Costo de operación, gastos de administración y otros gastos.
Precios unitarios de los insumos	w_1 : Salarios unitarios en cada mes para trabajadores de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización. Incluye: conductores, supervisores, recolectores, operarios de barrido, personal de mantenimiento, personal administrativo, personal de estaciones de transferencia, personal de CLUS y personal en comercialización.
	w_2 : Salarios unitarios en cada mes para trabajadores de disposición final y tratamiento de lixiviados. Incluye: conductores, operador buldócer D6, operador buldócer D8, operador compactador patecabra para residuos sólidos 836 G, orientador, supervisores, operador de báscula, operador retrocargador 416 D, operador volqueta doble viaje, operador mantenimiento de vías, personal administrativo, personal de mantenimiento y limpieza, ingeniero residente y topógrafo permanente.
	w_3 : Costo total de dotación de trabajadores en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
	w_4 : Costo total de dotación de trabajadores en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
	w_5 : Costo total mensual de consumos para la operación de capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS. Incluye: ACPM, gasolina, consumo de lubricantes, consumo de filtros, mantenimiento y reparaciones, lavado y engrase, consumo de llantas.
	w_6 : Costo total mensual de consumos para la operación de capital en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados. Incluye: ACPM, gasolina, consumo de lubricantes, consumo de filtros, mantenimiento y reparaciones, lavado y engrase, consumo de llantas e imprevistos.
	w_7 : Costos fijos mensuales del capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS. Incluye: estacionamientos, impuestos, seguros, comunicaciones, revisión técnico mecánica.
Precios unitarios de los insumos	

Variables	Corresponde a
	<p>w_8: Costos fijos mensuales del capital en la actividad de disposición final.</p> <p>Incluye: impuestos, seguros, comunicaciones, revisión técnico mecánica.</p>
Precios unitarios de los insumos	<p>w_9: Costo total mensual de gastos administrativos para la actividad de recolección y transporte y barrido y limpieza.</p> <p>Incluye: inmuebles para administración y otros gastos administrativos (computadores y software, servicios públicos, contribuciones a la CRA y comunicaciones).</p>
	<p>w_{10}: Costo total mensual de gastos administrativos.</p> <p>Incluye: inmuebles para administración y otros gastos administrativos (computadores y software, servicios públicos, contribuciones a la CRA y comunicaciones).</p>
	<p>w_{11}: Precio mensual del capital en la actividad de recolección y transporte y barrido y limpieza.</p> <p>Incluye: volquetas, camiones, motocicletas, compactadores, barredora mecánica, equipos menores, vehículos asignados a administración, vehículos para el transporte de operarios, tractocamiones, báscula de estación de transferencia, hidrolavadora de estación de transferencia y carrotanque estación de transferencia.</p>
	<p>w_{12}: Precio mensual del capital en la actividad de disposición final.</p> <p>Incluye: buldócer D6 R, buldócer D8 T, compactador patecabra para residuos sólidos 836 G, volqueta doble viaje, retroexcavadora, retrocargador y equipos menores.</p>
	<p>w_{13}: Precio mensual de “otros insumos” utilizados en la actividad de recolección y transporte (Combustible)</p>
	<p>w_{14}: Precio mensual de otros insumos utilizados en la actividad de disposición final. Incluye geomembrana y cierre de celdas</p>
	<p>w_{15}: Costo total mensual de clausura y posclausura</p>

Fuente: Elaboración Alejandro Vivas Benítez, consultor CRA (Contrato 153 de 2013)

9.3 METODOLOGÍA CON BASE EN FRONTERA ESTOCÁSTICA CON BASE EN FUNCIONES DE DISTANCIA DE INSUMOS

En esta sección se describen los elementos para el cálculo del factor de productividad mediante la frontera estocástica de funciones distancias de insumos:

9.3.1 Definición funciones de distancia de insumos

La metodología con base en frontera estocástica de funciones de distancia de insumos tiene varios elementos comunes en su especificación, así como en su estimación, con la ya descrita para las fronteras de costos (por tanto, no se repetirán algunos detalles).

Parte de una función general que describe la tecnología de las empresas y de adoptar una forma para esta función (la forma Translog).

La tecnología de una empresa puede describirse de diversas maneras: con una función de producción, con una isocuanta, con una función de transformación. Ésta última es una generalización de las dos primeras, que permite considerar múltiples productos en una misma empresa (producción conjunta). Por tanto, es la forma que se adopta aquí.

Por otra parte, la literatura al respecto sugiere utilizar la generalización de la isocuanta⁹², cuando las empresas tienen mayor capacidad de decisión sobre sus insumos que sobre sus niveles de producción (como es el caso en el sector de aseo). Mediante dicha función se relacionan las distintas combinaciones de insumos y factores con las cuales es factible para la empresa producir unos ciertos niveles de los diferentes productos de una empresa multiproducto.

Por razones iguales a las mencionadas en la sección sobre la función de costos, se toma para esta función la forma Translog.

Esta forma Translog de la tecnología, en logaritmos, para un prestador del servicio público de aseo que produce tanto recolección y transporte como disposición final, y que utiliza trabajadores, capital, combustibles, predio y geomembrana, tomando como variable dependiente la cantidad de uno de los insumos (trabajo), es la siguiente:

$$-\ln(x_k) = \alpha_0 + \sum_m \alpha_m \ln y_m + \frac{1}{2} \sum_m \sum_n \Sigma \alpha_{mn} \ln y_m \ln y_n + \sum_k \beta_k \ln x_k + \frac{1}{2} \sum_k \sum_l \beta_{kl} \ln x_k \ln x_l + \sum_k \sum_m \sigma_{km} \ln x_k \ln y_m + v - u$$

Donde:

- α_0 : Término independiente de la ecuación.
- y : Medición de cantidades de los siguientes productos del prestador de aseo.
 - y_1 : Toneladas mensuales de residuos sólidos recolectados.
 - y_2 : Toneladas mensuales de residuos sólidos dispuestos.
- α_m : Parámetros que miden los efectos de distintos niveles de producción de los productos del prestador de aseo sobre la utilización del factor x_1 .
- α_{mn} : Parámetros asociados al efecto de la interacción de los productos del prestador de aseo sobre el factor x_1 ; (estos parámetros miden economías de escala en la empresa).
- m, n : Producto del prestador de aseo (toneladas de residuos sólidos recolectados y toneladas de residuos dispuestos).
- x : Información de cantidades de los otros insumos x del prestador de aseo.
 - x_1 : Cantidad del insumo trabajo utilizado en la empresa de recolección y transporte (barrido y limpieza, CLUS y comercialización), de disposición final (, o de las dos actividades, dependiendo de si el prestador es uniproducto o multiproducto).
 - x_2 : Medición del capital utilizado en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.
 - x_3 : Medición del capital utilizado por mes en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
 - x_4 : Medición de "otros insumos" utilizados por mes en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.

⁹² Coelli and Perelman, 2005

x_5 : Medición de "otros insumos" utilizados por mes en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.

β_k : Parámetros asociados a la utilización de insumos del prestador diferentes a trabajo.

β_{kl} Parámetros asociados a la interacción entre los distintos insumos del prestador.

k : Insumos que comprenden trabajo, capital, y otros.

l : Insumo trabajo.

σ_{km} : Parámetros asociados a la interacción entre insumos y productos del prestador.

v : Término de error simétrico (distribución normal) en la ecuación del prestador, que incluye ruido en la ecuación por errores de medición, variables omitidas.

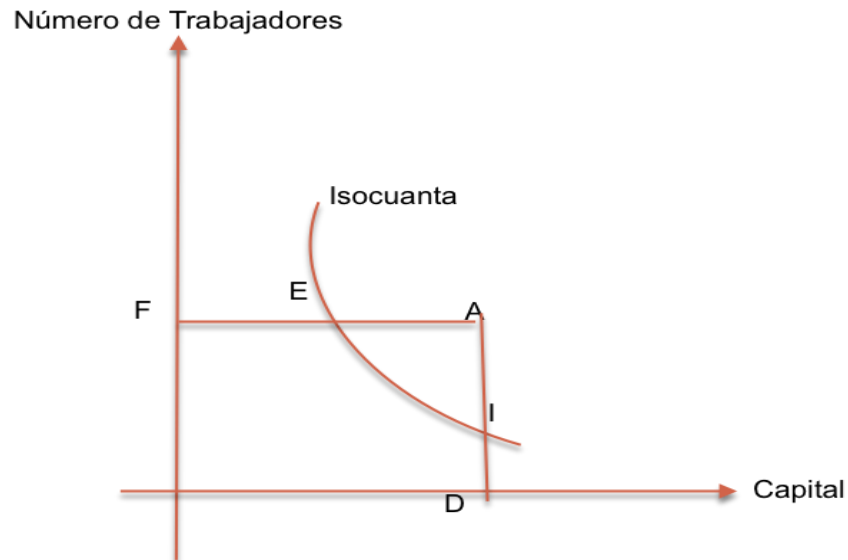
u : Término de error asimétrico no negativo (distribución normal truncada) para incluir ineficiencia técnica.

9.3.2 Cálculo del factor de productividad por empresa

Con base en la función de costos anterior, se estima un factor de productividad para los prestadores que prestan el servicio de recolección y transporte y para aquellos que prestan el servicio de disposición final. La separación del factor de productividad por recolección y transporte y disposición final tiene en cuenta que estas dos actividades tienen tecnologías diferentes, es decir, la segunda (disposición final) es más intensiva en capital que la primera (recolección y transporte).

Esto se lleva a cabo mediante la estimación de una frontera de producción estocástica, con base en los datos suministrados por los prestadores de aseo, y una medición de la distancia de cada prestador a dicha frontera. La distancia de los insumos utilizados de trabajadores y capital de una empresa a una Isocuanta (frontera) se ilustra en el siguiente gráfico:

Gráfica 29. Insumos totales del prestador de recolección y transporte



Fuente: Elaboración Alejandro Vivas Benítez, consultor CRA (Contrato 153 de 2013)

El prestador está utilizando insumos en A. La medida de función de distancia para el punto A para utilización de capital es igual a FA/FE : En A, con la cantidad D de capital, se está por encima de E en la frontera, en este caso el prestador es ineficiente. En el gráfico, el prestador también es ineficiente en el uso de los trabajadores.

El objetivo de la estimación de la frontera estocástica es el análisis de la ineficiencia u_i , de cada prestador de aseo respecto a la frontera de utilización de insumos. Esta medida es observada indirectamente, puesto que el modelo especifica $e_i = v_i - u_i$. Además, los parámetros son estocásticos y hay incertidumbre en la estimación de u_i . Ahí, la estimación de un valor único de u_i puede ser insuficiente.

Como en el caso de la frontera de costos, el estimador estándar de u_i , para el modelo exponencial, es la función de media condicional $E[u_i/\varepsilon_i]$:

$$E[u_i/\varepsilon_i] = \varepsilon_i - \sigma^2/\sigma_\mu$$

Este cálculo es arrojado por el software que se utilizará en las estimaciones.

- i) El factor de productividad para el sector en un año, será igual al promedio de los factores de ineficiencia en costos de los prestadores de aseo.
- i) Finalmente, el factor de productividad del sector FPM2 se establece con los factores de productividad de dos años, así:

FPM2 = Diferencia de los factores de productividad del sector en la utilización de insumos, para dos períodos.

9.3.3 Fuentes de información

Para las estimaciones y cálculos descritos, la CRA utilizará información de los prestadores de aseo. Será recogida trimestral, siguiendo el formulario del Anexo 8. Las variables contenidas en el formulario son:

Tabla 93. Variables requeridas para la estimación del factor de productividad con base en tecnología

Variables

Corresponde a

Variables	Corresponde a
Medición de cantidades de los productos y del prestador	<p>y_1 : Promedio de toneladas de residuos recolectadas y transportadas en el área de servicio del semestre que corresponda.</p> <p>y_2 : Promedio de toneladas de residuos recibidas del semestre que corresponda en toneladas/mes</p>
Medición de las cantidades de insumos x diferentes a trabajo que son utilizados para prestar los servicios de recolección y transporte, barrido y limpieza y disposición final.	<p>x_1: Cantidad de trabajadores utilizados cada mes por el prestador para prestar los servicios de recolección y transporte, barrido y limpieza CLUS y comercialización. Incluye: conductores, supervisores, recolectores, operario de barrido, personal de mantenimiento, personal administrativo y personal de estaciones de transferencia.</p>
	<p>x_1: Cantidad de trabajadores utilizados cada mes por el prestador para prestar los servicios de disposición final. Incluye: conductores, operador buldócer D6, operador buldócer D8, operador compactador patecabra para residuos sólidos 836 G, orientador, supervisores, operador de báscula, operador retrocargador 416 D, operador volqueta doble viaje, operador mantenimiento de vías, personal administrativo, personal de mantenimiento y limpieza, ingeniero residente y topógrafo permanente.</p>
	<p>x_2: Medición del capital utilizado por mes en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización. Incluye: volquetas, camiones, motocicletas, compactadores, barredora mecánica, equipos menores, vehículos asignados a administración, vehículos para el transporte de operarios, tractocamiones, báscula de estación de transferencia, hidrolavadora y carrotanque.</p>
	<p>x_3: Medición del capital utilizado por mes en la actividad de disposición final. Incluye: buldócer D6 R, buldócer D8 T, compactador patecabra para residuos sólidos 836 G, volqueta doble viaje, retroexcavadora, retrocargador y equipos menores.</p>
	<p>x_4: Medición de cantidad de combustible (gasolina y ACPM), lubricantes, llantas y filtros utilizados, por mes, en la actividad de recolección y transporte y barrido y limpieza.</p>
	<p>x_5: Medición de cantidad de otros insumos en la actividad de disposición final: predio, geomembrana y cierre de celdas</p>

Fuente: Elaboración Alejandro Vivas Benítez, consultor CRA (Contrato 153 de 2013).

9.4 FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARA EL SECTOR DE ASEO UTILIZANDO LOS RESULTADOS DE LAS METODOLOGÍAS DESCRITAS

Obtenidas las mediciones FPM1 y FPM2 siguiendo las metodologías explicadas en las dos secciones anteriores, se las combina de la siguiente manera:

$$FP_i = 50\% * \min\{FP_iM_1 ; FP_iM_2\}$$

$$FP_iM_1 \geq 0 \text{ y } FP_iM_2 \geq 0$$

$$FPDF = 50\% * \min\{FPDFM_1 ; FPDFM_2\}$$

$$FPDFM_1 \geq 0 \text{ y } FPDFM_2 \geq 0$$

Donde:

FP_i : Factor de productividad para recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización.

$FPDF$:	Factor de Productividad para disposición final y tratamiento de lixiviados.
FP_iM_1 :	Metodología de Frontera Estocástica de Funciones de Costo.
FP_iM_2 :	Metodología de Función Estocástica de Distancia de insumos.
$FPDFM_1$:	Metodología de Frontera Estocástica de Funciones de Costo.
$FPDM_2$:	Metodología de Función Estocástica de Distancia de insumos.
50%:	Corresponde al factor de distribución del incremento de productividad entre los prestadores del servicio público de aseo y los usuarios de este servicio.

La utilización de los resultados de dos metodologías ha sido la opción escogida frente a la de hacer las estimaciones utilizando solo una de las metodologías disponibles en la literatura sobre mediciones de productividad. Es de esta manera como se tiene en cuenta el reconocimiento de esta misma literatura de las diferencias de resultados según la metodología que se utilice. Con los dos resultados se tendrá un elemento para establecer consistencia de resultados independientemente de la metodología que se haya seguido.

El porcentaje 50% significa que las ganancias en productividad se reparten entre los prestadores del servicio público de aseo y sus usuarios, como se mencionó anteriormente, siguiendo el espíritu de la Regulación establecida para el servicio público de aseo.

La metodología separará los factores de productividad por segmento para ser consistentes con el nuevo marco tarifario.

10. MEDICIÓN EN EL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO

La Ley de servicios públicos domiciliarios, 142 de 1994, establece en su artículo 146 que la empresa y el suscriptor o usuario tienen derecho a que los consumos se midan, a que se empleen para ello los instrumentos de medida que la técnica haya hecho disponibles, y a que el consumo sea el elemento principal del precio que se cobre al suscriptor o usuario.

El mismo artículo en su numeral 4 dispone que los principios allí consagrados también se aplicarán al servicio público de aseo con las adaptaciones que exige la naturaleza del servicio y las reglas que la ley de servicios públicos contiene sobre falla del servicio; entendiéndose que el precio que se exija al usuario dependerá no sólo de los componentes de costos que contemplan las fórmulas tarifarias sino en todo caso de la frecuencia con que se preste el servicio y del volumen de residuos que se recojan.

Así mismo, el artículo 146 en el numeral 5, prevé que *“en cuanto a los servicios de saneamiento básico y aquellos en que por razones de tipo técnico, de seguridad o de interés social, no exista medición individual, la comisión de regulación respectiva definirá los parámetros adecuados para estimar el consumo”*.

En concordancia con lo anterior, la Resolución CRA 15 de 1997 establecía las metodologías de cálculo de las tarifas máximas con arreglo a las cuales las entidades tarifarias locales debían determinar las tarifas de prestación del servicio ordinario de aseo. Este modelo tarifario incorporaba un parámetro general de producción de residuos sólidos por suscriptor (PPU), que era definido en el artículo 4.2.5.3 de la Resolución CRA 151 de 2001 como 120 kilogramos/suscriptor-mes (0,12 toneladas/suscriptor-mes), y el cual se aplicaba a todos los suscriptores a los que no se les había establecido un valor diferente en resoluciones de carácter particular o por aforos, para convertir el costo del servicio por tonelada a un costo de referencia por suscriptor.

En la Resolución CRA 151 de 2001, también se establecieron factores de producción por estrato: $F_4 = 1,0$ para el estrato 4, $F_5 = 1,48$ para el estrato 5 y, $F_6 = 1,66$ para el estrato 6.

En general se ha encontrado que los residuos de estratos bajos son más densos y los de estratos altos más voluminosos, pero de acuerdo con la documentación recopilada, no existe un estudio en Colombia en que, de manera objetiva y estadísticamente descriptivos, se hayan calculado estos factores de producción, en peso (kg) con representatividad nacional.

El estudio más completo sobre la producción de residuos sólidos residenciales por estrato era el realizado por Pablo Ramos para Emsirva en 1997-98. Este estudio indicaba que la producción de residuos por habitante/día aumenta monótonamente con el nivel del estrato socioeconómico.

Posteriormente, con la Resolución CRA 352 de 2005, cuyo objetivo fue aproximarse a la medición en el servicio público de aseo, se aplicó en dos fases. En la primera, se distribuye el número total de toneladas de cada área de prestación entre el número de suscriptores de dicha área afectado por un factor de producción del suscriptor i , establecido por la Comisión. En la segunda fase, la distribución de los residuos se hace utilizando caracterizaciones de los diferentes tipos de suscriptores.

Mientras se hacían estudios más rigurosos, se tomaron los cálculos del estudio de Pablo Ramos como los más representativos de la situación por estrato a nivel nacional y se asumió que el comportamiento de cada estrato era el mismo en todas las ciudades y que lo que variaba entre ciudades era la composición de su clientela por estratos.

Adicional a que la producción de residuos aumenta con el estrato, los factores de producción de la Resolución CRA 352 de 2005 valoran de igual forma a los estratos 1, 2 y 3 adoptando para estos un factor de 0,95, tomando como $F_4 = 1,0$, $F_5 = 1,09$, $F_6 = 1,54$, $F_7 = 3,12$ y $F_8 = 9,37$.

La necesidad de mediciones representativas a nivel nacional y de adoptar un factor diferencial para los estratos 1, 2 y 3, y también la necesidad de perfeccionar el procedimiento de aforos y del costo de los mismos, motiva la realización de estudios sobre la producción de los residuos sólidos.

Es así como durante el año 2007 y primer trimestre de 2008, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), adelantó el estudio denominado "*Análisis de Producción de Residuos Sólidos de Pequeños y Grandes Productores, determinación de factores de producción de residuos sólidos de los usuarios residenciales, revisión de la regulación vigente y cálculo de costos asociados a la realización de aforos de residuos sólidos en Colombia*" bajo el contrato de consultoría No. 078 de 2007. En dicho estudio se hicieron estimaciones sobre la producción de residuos sólidos de los suscriptores del servicio y se establecieron categorizaciones para los pequeños y grandes generadores del servicio de aseo de acuerdo con su volumen y densidad que permiten acercarse a un valor más real de la producción de acuerdo con los tipos de residuos generados de conformidad con su actividad económica, con lo cual se identificó la necesidad de hacer a los factores de producción para la estimación del consumo, en el marco de la prestación del servicio público de aseo.

A partir de ese trabajo, la Comisión expidió en julio de 2008, las Resoluciones de trámite: Resolución CRA 442 de 2008, "Por la cual se presenta el proyecto de resolución "Por la cual se establecen las metodologías de aforos para pequeños y grandes productores de residuos sólidos del servicio de aseo" y se inicia el proceso de discusión directa con los usuarios y agentes del sector" y Resolución CRA 443 de 2008, "Por la cual se presenta el proyecto de resolución "Por la cual se modifican los factores de producción establecidos en la Resolución CRA 352 de 2005" y se inicia el proceso de discusión directa con los usuarios y agentes del sector".

La Resolución CRA 442 de 2008, define las metodologías de aforos para los pequeños y grandes productores de residuos sólidos, tomando como base el estudio del año 2007 descrito anteriormente, el cual determinó los procedimientos específicos para los aforos de residuos sólidos, así como el cálculo de los costos asociados a la realización de estos aforos para usuarios residenciales, pequeños y grandes productores. Esta resolución categoriza los pequeños y grandes generadores de residuos sólidos según la densidad y volumen de los residuos por tamaño de empresa y su actividad económica ya que los residuos generados están relacionados

directamente con dicha actividad y define el costo de los aforos dependiendo de las visitas y número de recipientes aforados.

La Resolución CRA 443 de 2008, modifica los factores de producción establecidos en la Resolución CRA 352 de 2005, a través del análisis estadístico de producción de residuos a nivel nacional, ya que en el estudio del 2007 se identificó la necesidad de hacer estas modificaciones.

En consecuencia, durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2008, estas resoluciones se publicaron en el Diario Oficial y en la página web de la Comisión con sus respectivos documentos de trabajo, surtiendo el debido proceso de participación ciudadana con el fin de recibir comentarios por parte de los interesados en las ciudades de Barranquilla, Cúcuta, Neiva, Girardot, Quibdó, Florencia, Arauca, Pasto, Medellín, Bogotá, Tunja y Montería.

La propuesta establecida en la Resolución CRA 442 de 2008, implicaba que los suscriptores no residenciales debían estar identificados con un CIU de acuerdo con la actividad económica que realiza. Se presentaron varios inconvenientes, en primer lugar, la dificultad de las Cámaras de Comercio para establecer el tamaño de los establecimientos; era necesario atribuir una densidad por cada actividad económica definida por CIU; por último, la dificultad para que el prestador pudiera acceder fácilmente a la información sobre el tamaño de empresa del suscriptor.

Respecto a la Resolución CRA 443 de 2008, se encontró que la disminución del factor de producción no genera el mismo efecto sobre la tarifa final necesariamente, ya que la dependencia no es directa y se atribuye principalmente a dos razones:

- La tarifa de cada estrato y sector está calculada teniendo en cuenta el total de toneladas generadas y el total de usuarios, (cálculo del factor de ponderación por suscriptor, FPS), y adicionalmente está afectada por el factor de producción correspondiente F_u y el TD_i . Por otro lado, el valor de TD_i variará dependiendo de si al usuario en particular se le realiza aforo permanente, si se le ha realizado un aforo individual o si no tiene aforo. Cada uno de estos TD_i tiene en cuenta el número total de usuarios en su estrato o sector correspondiente.
- El valor de la tarifa para cada estrato o sector, está afectado por variables como el número de usuarios existentes en cada uno de estos (por lo que se habla que la composición del mercado es determinante) y por el número de aforos (mediciones reales) que se hayan realizado a determinado número de usuarios de cada estrato o sector. Es así como la adopción de factores de producción, F_u , menores no necesariamente generan tarifas menores.

De acuerdo con el informe final del estudio se determinó que la implementación de estas medidas si bien podrían mejorar algunas señales regulatorias, tendrían implicaciones importantes en relación con el equilibrio de recursos de los Fondos de Solidaridad y Redistribución de Ingresos a nivel local. Por esta razón, se decidió aplazar la expedición de las resoluciones con la metodología de aforo y factores de producción e incorporar su discusión en las bases del nuevo marco tarifario del servicio público de aseo.

La medición del servicio es uno de los aspectos más importantes para definir la metodología tarifaria, con el fin de asignar costos y establecer niveles de eficiencia en la prestación del servicio. Para el caso particular del servicio público de aseo, la medición de los residuos producidos tiene restricciones debido a las condiciones operativas que se requerirían y los costos asociados a su realización. Sin embargo, desde la regulación se han realizado esfuerzos importantes por aproximarse cada vez más a una medición más real.

En ese sentido, el primer paso se dio en la Resolución CRA 15 de 1997 que incorpora un parámetro general de producción de residuos sólidos por suscriptor (PPU), estimado en 120 kilos/suscriptor-mes (0,12 toneladas/suscriptor-mes según el artículo 4.2.5.3 Resolución CRA 151 de 2001), que se aplica a todos los suscriptores a los que no se les haya establecido un valor diferente en resoluciones de carácter particular o por aforos, para convertir el costo del servicio por tonelada a un costo de referencia por suscriptor.

El segundo paso surge con la Resolución CRA 352 de 2005 cuyo objetivo es el de aproximarse a la medición en el servicio público de aseo, considerando las restricciones propias de la actividad, ya mencionadas. Para ello, dicha Resolución establece que la medición de los residuos se hará por áreas de prestación, realizando los pesajes en el sitio de disposición final y distribuyendo este peso entre los suscriptores de cada área.

La metodología estableció un sistema integral de medición de la cantidad de residuos presentados para su disposición final por cada usuario del servicio, mediante una combinación de los siguientes procesos:

- 1) Aforos para grandes generadores que produzcan más de 6 m³/mes o más de 1,5 ton/mes de residuos sólidos. Los usuarios pequeños, residenciales o no, pueden presentar sus residuos sólidos de manera conjunta bajo la figura de multiusuarios, lo que les permite ser tratados, en grupo, como grandes generadores, siendo aforados, pudiendo escoger al operador de recolección y transporte y negociar el precio unitario por debajo del techo establecido; pero por esta misma razón deben ser facturados individualmente, respetando las tipologías de usuarios y reglas de contribuciones y subsidios.
- 2) Macromedición del volumen de residuos que llega al sitio de disposición final por rutas de recolección, después de la separación en la fuente de materiales reciclables; y
- 3) Distribución de esta producción entre los usuarios de cada ruta, mediante la estimación de su aporte al total.

De esta forma, se buscó generar incentivos a los usuarios para la separación en la fuente y la reducción de la producción de residuos sólidos, haciendo depender la tarifa de la producción de residuos y de generar incentivos a los operadores para lograr mayores niveles de eficiencia.

Luego de esta descripción sucinta del TD_i (Toneladas presentadas para recolección por el suscriptor *i* en cada periodo de producción de residuos), establecido en la Resolución CRA 352 de 2005, a continuación se presentan el procedimiento para la medición y distribución de residuos por suscriptor y el resultado del análisis para establecer los factores de producción por tipo de suscriptor (Fu).

10.1 ASIGNACIÓN DE RESIDUOS POR SUSCRIPTOR

La producción de residuos sólidos en un municipio incluye:

- Los residuos de barrido y limpieza de vías y de limpieza urbana, que corresponden a todos los residuos que se obtienen de las zonas comunes de las áreas de servicio, cuyo destino son los sitios de disposición final.
- Los residuos no aprovechables de los predios, cuyo destino es el relleno sanitario.
- Los residuos aprovechables de los predios, cuyo destino son los centros de clasificación y aprovechamiento.
- Los residuos de rechazo de aprovechamiento, cuyo destino es el relleno sanitario.

La determinación de las toneladas de residuos recogidos en determinada área de prestación -APS, en el periodo de producción de residuos, se hará con base en los pesajes realizados en los sitios de disposición final, intermedios y/o Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento ECA, sin que en ningún caso pueda darse una doble contabilización de dichas toneladas de residuos.

Es importante resaltar, que de acuerdo con lo establecido por el Decreto 2981 de 2013, los prestadores de recolección y transporte, aquellos que presten el componente de disposición final y las personas prestadoras ECA deberán contar con sistemas e instrumentos de identificación de vehículos, pesaje y reporte en línea de la información con base en los siguientes criterios:

- Para las personas prestadoras de recolección y transporte de residuos no aprovechables, en sus flotas deberán contar con sistemas de identificación GPS.
- Para el prestador de disposición final:
 - Instalación de software para la recepción, registro y automatización de la información de identificación de los vehículos, su procedencia por microrrutas y/o APS y pesaje de los residuos sólidos.
 - Automatización de la identificación por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y los sistemas de información georreferenciada.
 - Transmisión de datos en tiempo real a un servidor central, con tecnologías de transferencia de datos a través de canales de comunicación de mínimo costo.
 - La información de identificación de vehículos y de pesaje de residuos sólidos debe ser registrada de forma automática y transmitida a las bases de datos centralizadas en los términos que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios defina para ello.
- Para la ECA:
 - Automatización del registro de datos de identificación y cantidad de residuos dispuestos en cada estación de clasificación y aprovechamiento para la actividad de aprovechamiento deberá realizarse mediante el uso de tarjetas con tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia) o similares.

Respecto a la asignación de residuos por suscriptor, se definieron reglas de distribución para cada uno de los tipos de producción de residuos que genera el APS como se explica en los siguientes numerales.

10.1.1 Regla de distribución de los residuos no aprovechables por suscriptor

De acuerdo a lo establecido en el artículo 2.3.2.1.1 del Decreto 1077 de 2015, los suscriptores del servicio público de aseo se clasifican de acuerdo con la actividad de la cual se deriven los residuos que produce, así se tiene que existen suscriptores de tipo residencial y no residencial.

Los suscriptores no residenciales producen residuos derivados de actividades comerciales, industriales o actividades oficiales y a su vez se clasifican en: Grandes generadores, que generan y presentan para recolección residuos sólidos en volumen igual o superior a un 1 m³ mensual y Pequeños generadores que generan y presentan para recolección residuos en volumen menor a 1 m³ mensual.

Los suscriptores no residenciales pueden optar por que sus residuos sean aforados para determinar las toneladas de residuos generadas en el periodo de facturación. Así, en el caso que el suscriptor tenga aforo, ya sea permanente, ordinario o extraordinario, los residuos asignados serán los de la medición.

En el caso de los suscriptores no residenciales que no cuenten con aforo y de los usuarios residenciales, la cantidad de residuos asignados será un promedio, que es el resultado de distribuir los residuos totales no aforados entre los suscriptores no aforados, ponderados por los factores de producción por tipo de suscriptor.

Es importante resaltar que en este cálculo se incluyen los residuos de rechazo del aprovechamiento que son entregados por la ECA al prestador del servicio de residuos no aprovechables, para ser distribuidos por igual entre todos los suscriptores del municipio.

A continuación se muestra esta regla de distribución:

- Si el suscriptor cuenta con aforo ordinario, extraordinario o permanente de los residuos las toneladas de residuos no aprovechables por suscriptor será el resultado del aforo $TAFNA_i$.

- Si no tiene aforo individual de los residuos, las toneladas por suscriptor serían el resultado de una función de distribución de la producción de residuos no aforados entre todos los suscriptores no aforados, ponderados por factores de producción por tipo de suscriptor, lo que se expresaría con la siguiente fórmula:

$$TRNA_{u,z} = \frac{(\overline{QNA}_z - \overline{QR}_z - \sum_i TAFNA_{i,z}) * Fu}{\sum_{u=1}^8 ((n_{u,z} - na_{u,z} - nD_{u,z}) * Fu)}$$

Donde:

$TRNA_{u,z}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables por tipo de suscriptor u por APS z , de la persona prestadora (toneladas/suscriptor-mes).

\overline{QNA}_z : Toneladas promedio de residuos No Aprovechables del semestre que corresponda por APS z , de la persona prestadora (toneladas/mes).

\overline{QR}_z : Toneladas promedio de residuos de Rechazo del Aprovechamiento del semestre que corresponda por APS z , de la persona prestadora (toneladas/mes).

$TAFNA_{i,z}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables aforadas por suscriptor i , en la APS z (toneladas/suscriptor-mes).

Fu : Factor de producción para el suscriptor tipo u .

$n_{u,z}$: Número de suscriptores del tipo u en el APS z de la persona prestadora del servicio en el período de facturación.

$na_{u,z}$: Número de suscriptores con aforo ordinario, extraordinario o permanente en el periodo de facturación, del tipo u en el APS z de la persona prestadora del servicio en el período de facturación

$nD_{u,z}$: Número de suscriptores de inmuebles desocupados incluidos los desocupados grandes productores no residenciales del tipo u en el APS z de la persona prestadora del servicio en el período de facturación.

u : Tipo de suscriptor, $u = 1, 2, 3, \dots, 8$, según lo establecido en la resolución que acoge el marco tarifario.

La decisión del suscriptor para que le aforen sus residuos depende del costo y peso del aforo. Sin embargo, esta podría verse afectada favorablemente, en caso que el suscriptor pudiera contar con posibilidades de agrupamiento con otros suscriptores.

10.1.2 Regla de distribución de los residuos de barrido y limpieza y limpieza urbana por suscriptor

Debido a que la producción de residuos derivados de las actividades de barrido y limpieza y de limpieza urbana está directamente asociadas con el mantenimiento de las áreas de uso público a nivel municipal y no solamente con los suscriptores de un APS, se considera apropiado fijar como regla de distribución, la asignación de una cantidad igual de toneladas de residuos de barrido y limpieza y de limpieza urbana a cada suscriptor del municipio, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\overline{TRBL} = \frac{\text{promedio}[\sum_{j=1}^m QBL_j]}{N}$$

$$\overline{TRLU} = \frac{\text{promedio}[\sum_{j=1}^m QLU_j]}{N}$$

Donde:

- TRBL*: Toneladas de Residuos de Barrido y Limpieza por suscriptor *i* (toneladas/suscriptor-mes).
- TRLU*: Toneladas de Residuos de Limpieza Urbana por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes)
- promedio*[]: Función que indica que los datos incluidos dentro del corchete corresponden a los promedios aritméticos de toneladas por suscriptor/mes de cada uno de los prestadores del APS *j*.
- QBL_j*: Toneladas mensuales de barrido y limpieza del prestador *j* (toneladas/mes).
- QLU_j*: Toneladas mensuales de limpieza urbana del prestador *j* (toneladas/mes).
- N*: Número de suscriptores totales en el municipio, para el periodo de facturación, calculado como la suma de suscriptores a facturar en el período de facturación de las APS del municipio.
- j*: Número de personas prestadoras donde $j = \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$.

10.1.3 Regla de distribución de los residuos aprovechables y de rechazo por suscriptor

La producción de residuos aprovechables de los predios se refiere a aquellos residuos que efectivamente podrían ser aprovechados en un nuevo proceso productivo, incorporándose a la cadena de valor, lo cual es posible cuando alguien paga un precio por adquirir dicho residuos.

De acuerdo con lo anterior, no sería posible realizar aforos para establecer medidas individuales de residuos aprovechables, ya que solo es posible saber si los residuos son aprovechables cuando la bolsa de residuos se abre y se conoce su contenido, y esa labor no debe realizarse en el proceso de recolección, ya que las economías de escala se perderían generando costos elevados e impactos ambientales adicionales indeseables.

Por tanto, se propone que las toneladas por suscriptor sean el resultado de una función de distribución de la producción de residuos aprovechables entre todos los suscriptores del municipio que estén generando residuos, lo que se expresaría con la siguiente fórmula:

$$\overline{TRA} = \frac{\text{promedio}[\sum_{j=1}^m QAM_j]}{N - ND - NA}$$

Donde:

- TRA*: Toneladas de Residuos Efectivamente Aprovechados por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
- promedio*[]: Función que indica que los datos incluidos dentro del corchete corresponden a los promedios aritméticos de toneladas por suscriptor/mes de cada uno de los prestadores del APS *j*.
- QAM_j*: Toneladas mensuales efectivamente aprovechadas por el prestador *j* reportadas por las ECA (toneladas/mes).

- N : Número de suscriptores totales en el municipio, para el periodo de facturación, calculado como la suma de suscriptores a facturar en el período de facturación de las APS del municipio.
- ND : Total número de suscriptores de inmuebles desocupados incluidos los desocupados grandes productores no residenciales para el municipio.
- NA : Promedio total de número de suscriptores gran productor de aprovechamiento, para el municipio y/o distrito de los últimos seis (6) meses.
- j : Número de personas prestadoras donde $j = \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$.

Adicionalmente, en el proceso de clasificación de los residuos aprovechables en las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento, se encuentran materiales que por sus características de calidad no podrán ser comercializados o reintroducidos en las cadenas productivas, por lo que deben ser llevados a disposición final en relleno sanitario.

Por lo anterior, se propone que las toneladas por suscriptor de rechazos sean el resultado de una función de distribución de dichos materiales entre todos los suscriptores del municipio, lo que se expresaría con la siguiente fórmula:

$$\overline{TRRA} = \frac{\text{promedio}[\sum_{j=1}^m QR_j]}{N - ND}$$

- \overline{TRRA} : Toneladas de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor (toneladas/suscriptor- mes).
- QR_j : Toneladas mensuales de rechazo del aprovechamiento de la persona prestadora j medidas en las personas prestadoras ECA (toneladas/mes).

10.1.4 Balance de Producción de residuos del área de prestación del servicio facturados (Q_z)

Es importante realizar este balance, que consiste en determinar que los residuos sólidos que son facturados a los suscriptores, sean los que efectivamente provienen del área de prestación –APS-, de manera que no se duplique el cobro a los usuarios por alguna de las actividades, y de otra, para garantizar que a los prestadores se les remunere por las actividades que efectivamente realizó.

Dicho balance se calcula de la siguiente manera:

$$Q_z = QBL_z + QLU_z + QNA_z + QA_z$$

Donde:

- Q_z : Total producción promedio de residuos del APS z de la persona prestadora j , en toneladas/mes.
- QBL_z : Promedio de toneladas de residuos de Barrido y Limpieza en toneladas/mes de la persona prestadora j en el APS z .

$$QBL_z = \overline{TRBL} * (n_z)$$

TRBL: Promedio de toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor definidas en toneladas/suscriptor-mes.

QLU_z: Toneladas promedio de residuos de Limpieza Urbana de la persona prestadora *j* en el APS *z* en toneladas/mes.

$$QLU_z = \overline{TRLU} * (n_z)$$

\overline{TRLU} : Toneladas de Limpieza Urbana por suscriptor en toneladas/suscriptor-mes.

QNA_z: Toneladas promedio de residuos no aprovechables del semestre, de la persona prestadora *j* en el APS *z* (toneladas/mes).

$$QNA_z = \sum_{u=1}^8 TRNA_{u,z} * n_{u,z} + \sum_{i=1}^n TAFNA_{i,z} + \overline{TRRA} * (n_z - nd_z)$$

TRNA_{u,z}: Toneladas de Residuos No Aprovechables por tipo de suscriptor *u*, de la persona prestadora *j* en el APS *z* en toneladas/mes.

TAFNA_{i,z}: Toneladas de Residuos No Aprovechables aforadas por suscriptor *i*, en el APS *z* en toneladas/suscriptor-mes.

\overline{TRRA} : Toneladas de Residuos de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor en toneladas/suscriptor-mes.

QA_z: Toneladas promedio de residuos efectivamente aprovechadas, aforadas y no aforadas de la persona prestadora *j* (toneladas/mes).

$$QA_z = \sum QA_j * \left(\frac{n_j}{N}\right) + \sum_i TAFNA_{i,k}$$

n_j: Número de suscriptores de la persona prestadora RTA *j*.

n_{u,z}: Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores por tipo *u* de la persona prestadora en el APS *z*.

n_z: Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores del APS *z* de la persona prestadora.

nd_z: Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores desocupados del APS *z* de la persona prestadora.

Las personas prestadoras de residuos no aprovechables deberán reportar al Sistema Único de Información (SUI) la producción mensual de residuos separada por *QBL_z*, *QLU_z*, *QNA_z* y *QA_z* para cada APS *z* en el municipio y/o distrito. Para lo cual realizará rutas de recolección diferentes por cada tipo de actividad y residuos.

10.2 FACTORES DE PRODUCCIÓN POR TIPO DE SUSCRIPTOR

Para la construcción de los factores de producción de residuos por suscriptor, se analizaron tres bases de datos de toneladas de residuos por suscriptor mes por tipo de suscriptor. La primera base de datos corresponde a la producción de residuos de información reportada al SUI; las otras dos corresponden a las bases de datos utilizadas para el cálculo de la propuesta de las Resoluciones CRA 442 y 443 de 2008.

La base de datos fue realizada para el año 2012, en función del año base definido en el nuevo marco regulatorio propuesto por la Resolución CRA 643 de 2013, en tal sentido el universo de trabajo corresponde a empresas que realizan la prestación del servicio en municipios de más de 5.000 suscriptores en el año 2012, teniendo en cuenta la información reportada a través del Sistema Único de Información – SUI en el formato Facturación comercial aseo, solicitado a través de la Resolución SSPD – 2010130048765 de 2010.

A partir de esta base de datos, se obtiene la producción de residuos por suscriptor/mes para aforos ordinarios, extraordinarios y permanentes, distribuidos en cada uno de los estratos y usos, eliminando aquellas empresas cuyos datos presentaban inconsistencias en la calidad de información, el resultado de la muestra resultante fue dividido en dos subgrupos, residenciales y no residenciales.

Lo anterior dejó como resultado un total de 4.914.364 registros distribuidos en 11 empresas prestadoras en los municipios de: Envigado, Itagüí y Medellín del departamento de Antioquia; Bogotá, D.C. y Cali. La siguiente tabla presenta la producción de residuos por tipo de suscriptor, en la que se puede observar que los datos de los municipios de Antioquia son más bajos que en Bogotá y Cali.

Tabla 94. Producción de residuos por tipo de suscriptor
Toneladas por suscriptor mes. Año 2012

Estrato	Bogotá	Medellín - Envigado - Itagüí	Cali
1	0,028		0,027
2	0,032		0,029
3	0,035	0,014	0,030
4	0,037	0,016	0,034
5	0,043	0,017	0,043
6	0,051	0,017	0,055
Pequeño	0,113	0,024	0,062

Fuente: SSPD, SUI

Con el fin de no distorsionar los datos de producción promedio, se calculan primero los factores de producción de residuos por suscriptor para cada una de las ciudades por estrato y posteriormente se promedian. Para el cálculo de los factores se toma el estrato cuatro (4) como referencia, continuando con la metodología empleada en la Resolución CRA 352 de 2005. La tabla a continuación presenta el resultado.

Tabla 95. Factores de producción de residuos sólidos por tipo de suscriptor

Tipo de suscriptor	Fu
F_1	0,79
F_2	0,86
F_3	0,90
F_4	1,00
F_5	1,22
F_6	1,50
F_7	2,44
F_8	0,00

Fuente: Cálculos CRA

Los factores de producción F_1 a F_6 corresponden respectivamente a los estratos 1 a 6 de suscriptores residenciales; el factor F_7 se refiere a los pequeños productores no residenciales; F_8 es el factor para inmuebles o lotes desocupados.

11. METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE TARIFAS FINALES AL SUSCRIPTOR Y FACTURACIÓN DEL SERVICIO DE ASEO

Con el fin de calcular la tarifa final al suscriptor, la persona prestadora deberá determinar en principio el precio máximo por área de prestación de servicio en cada municipio. Para ello definirá un costo fijo total y un costo variable por tonelada.

11.1 COSTO FIJO TOTAL (CFT)

El costo fijo total por suscriptor se calcula de acuerdo a lo establecido en el artículo 11 de la Resolución CRA 720 de 2015, a partir de la sumatoria del Costo de Comercialización por suscriptor, Costo de Limpieza Urbana por suscriptor Costo de Limpieza Urbana por suscriptor y el Costo de Barrido y Limpieza por suscriptor.

$$CFT = (CCS + CLUS + CBLs)$$

Donde:

- CFT* : Costo Fijo Total por suscriptor, en cada una de las APS en el municipio y/o distrito (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).
- CCS*: Costo de Comercialización por suscriptor del servicio público de aseo, (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).
- CLUS*: Costo de Limpieza Urbana por suscriptor, (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).
- CBLs*: Costo de Barrido y Limpieza por suscriptor, (pesos de diciembre de 2014/suscriptor-mes).

11.2 COSTO VARIABLE POR TONELADA

En cuanto al Costo Variable por tonelada, se define de forma separada según si se trata de residuos no aprovechables o de residuos aprovechables.

11.2.1 Costo variable por tonelada de residuos no aprovechables

En Costo Variable por tonelada de residuos no aprovechables se define como la sumatoria de: Costo de Recolección y Transporte, Costo de Disposición Final y Costo de Tratamiento de Lixiviados calculados para un área de Prestación de Servicio (APS) determinada y se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula contenida en el artículo 12 de la Resolución CRA 720 de 2015:

$$CVNA = (CRT + CDF + CTL)$$

Donde:

- CVNA*: Costo Variable por tonelada de residuos sólidos no aprovechables (pesos de diciembre de 2014/tonelada).
- CRT*: Costo de Recolección y Transporte de Residuos (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

CDF: Costo de Disposición Final por tonelada (pesos diciembre de 2014/tonelada).

CTL: Costo de Tratamiento de Lixiviados por tonelada (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

11.2.2 Remuneración por tonelada de residuos aprovechables

La remuneración del aprovechamiento, se calculará de la siguiente forma:

$$VBA = (CRT_p + CDF_p)(1 - DINC)$$

$$CRT_p = \frac{\sum(CRT_j * QRT_j)}{\sum QRT_j}$$

$$CDF_p = \frac{\sum(CDF_j * QRS_j)}{\sum QRS_j}$$

Donde:

VBA: Valor Base de Remuneración de Aprovechamiento (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

j: Personas prestadoras de recolección y transporte para residuos no aprovechables en el municipio y/o distrito.

CRT_j: Costo Promedio de Recolección y Transporte de la persona prestadora de residuos sólidos no aprovechables (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

\overline{QRT}_j : Promedio de toneladas recolectadas y transportadas de residuos no aprovechables en el APS de la persona prestadora j, del semestre que corresponda (toneladas/mes).

CDF_j: Costo Promedio de Disposición Final de la persona prestadora de residuos sólidos no aprovechables (pesos de diciembre de 2014/tonelada).

\overline{QRS}_j : Promedio mensual de residuos sólidos que se reciben en el sitio de disposición final. En caso de personas prestadoras que inicien actividades con posterioridad a la entrada en vigencia del acto administrativo, podrán utilizar períodos inferiores hasta acumular seis (6) meses.

DINC: Incentivo a la separación en la fuente que se otorgará como un descuento de hasta el 4% de conformidad con la reglamentación que para ello expida el Gobierno Nacional, del parágrafo 2 del artículo 88 de la Ley 1753 de 2015.

Para el primer semestre de la aplicación de la presente resolución, CRT_j y CDF_j corresponderán a la primera facturación, para los demás corresponderá al promedio del semestre anterior así: Para los períodos de facturación entre enero y junio de cada año, con base en el promedio mensual de julio a diciembre del año inmediatamente anterior. Para los períodos de facturación de julio a diciembre, con base en el promedio mensual de enero a junio del año en cuestión.

Tabla 96. Resumen costos fijos y costos variables

Costos	CFT	CCS+CLUS+CBL
--------	-----	--------------

	CVNA	CRT+CDF+CTL
	VBA	(CRTp+CDFp)(1-DINC)

Fuente: Cálculos CRA

En la siguiente tabla se presentan los costos fijos y variables que deberá aplicar cada uno de los actores de la cadena de prestación del servicio público de aseo.

Tabla 97. Costos fijos y costos variables por actor

Actor	Costos Fijos	Costos Variables
Persona prestadora de recolección y transporte de residuos no aprovechables	CCS+CLUS+CBLs	CRT
Persona prestadora de relleno sanitario	–	CDF + CTL

Fuente: Cálculos CRA

Por otra parte, se precisa que cuando en el municipio y/o distrito se preste la actividad de aprovechamiento, el CCS se deberá incrementar en un 30% del precio techo.

11.3 TARIFA FINAL AL SUSCRIPTOR

Una vez definidos el Costo Fijo total y el Costo Variable por tonelada, la tarifa mensual final al suscriptor se calcula de acuerdo a las siguientes fórmulas:

El prestador deberá separar por actividades la tarifa final al suscriptor no aforado de la siguiente forma:

1. Tarifa para la actividad de comercialización:

$$TC = CCS$$

2. Tarifa para la actividad de Limpieza Urbana:

$$TLU = CLUS$$

3. Tarifa para la actividad de Barrido y Limpieza:

$$TBL = CBLs$$

4. Tarifa para la actividad de Recolección y Transporte:

$$TRT = CRT * (TRNA_{u,z} + TRBL + TRLU + TRRA)$$

5. Tarifa para la actividad de Disposición Final:

$$TDF = CDF * (TRNA_{u,z} + TRBL + TRLU + TRRA)$$

6. Tarifa para la actividad de Tratamiento de Lixiviados:

$$TTL = CTL * (TRNA_{u,z} + TRBL + TRLU + TRRA)$$

7. Tarifa para la actividad de Aprovechamiento:

$$TA = VBA * TRA$$

En todo caso se debe cumplir que:

$$(TC + TLU + TBL + TRT + TDF + TTL + TA) * (1 \pm FCS_u) = TFS_{u,z}$$

Donde:

- TC*: Tarifa para la actividad de Comercialización (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- TLU*: Tarifa para la actividad de Limpieza Urbana (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- TBL*: Tarifa para la actividad de Barrido y Limpieza (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- TRT*: Tarifa para la actividad de Recolección y Transporte (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- TDF*: Tarifa para la actividad de Disposición Final (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- TTL*: Tarifa para la actividad de Tratamiento de Lixiviados (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- TA*: Tarifa para la actividad de Aprovechamiento (pesos diciembre 2014/suscriptor).
- CCS*: Costo de Comercialización por suscriptor (pesos diciembre 2014/suscriptor-mes).
- CLUS*: Costo de Limpieza Urbana por suscriptor (pesos diciembre 2014/suscriptor-mes).
- CBLs*: Costo de Barrido y Limpieza por suscriptor (pesos diciembre 2014/suscriptor-mes).
- CRT*: Costo Promedio de Recolección y Transporte del APS de la persona prestadora *j* en un mismo municipio y/o distrito (pesos diciembre de 2014/tonelada).
- CDF*: Costo Promedio de Disposición Final del APS de la persona prestadora *k* en un mismo municipio y/o distrito (pesos diciembre de 2014/tonelada).
- CTL*: Costo Promedio de Tratamiento de Lixiviados del APS de la persona prestadora *k* en un mismo municipio y/o distrito (pesos diciembre de 2014/tonelada).
- TRNA_{u,z}*: Toneladas de Residuos No Aprovechables por suscriptor *u* en el APS *z*, de la persona prestadora, (toneladas/suscriptor-mes).
- TRBL*: Toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
- TRLU*: Toneladas de Limpieza Urbana por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
- TRA*: Toneladas Efectivamente Aprovechadas por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes)
- TRRA*: Toneladas de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
- TFS_{u,z}*: Tarifa Final por suscriptor *u*, en el APS *z*, de la persona prestadora (pesos diciembre 2014/suscriptor).

FCS_u : Factor de contribución o subsidio correspondiente a cada suscriptor, aplicable para el servicio público de aseo, determinado por estrato o tipo de uso de acuerdo con la normatividad aplicable.

El prestador deberá separar por actividades la tarifa final al suscriptor aforado de la siguiente forma:

1. Tarifa para la actividad de comercialización:

$$TC = CCS$$

2. Tarifa para la actividad de Limpieza Urbana:

$$TLU = CLUS$$

3. Tarifa para la actividad de Barrido y Limpieza:

$$TBL = CBLS$$

4. Tarifa para la actividad de Recolección y Transporte:

$$TRT = CRT * (TAFNA_{i,z} + TRBL + TRLU + TRRA)$$

5. Tarifa para la actividad de Disposición Final:

$$TDF = CDF * (TAFNA_{i,z} + TRBL + TRLU + TRRA)$$

6. Tarifa para la actividad de Tratamiento de Lixiviados:

$$TTL = CTL * (TAFNA_{i,z} + TRBL + TRLU + TRRA)$$

7. Tarifa para la actividad de Aprovechamiento:

$$TA = VBA * TAF A_{i,k}$$

En todo caso se debe cumplir que:

$$(TC + TLU + TBL + TRT + TDF + TTL) * (1 \pm FCS_u) = TFS_{i,z}$$

Donde:

TC : Tarifa para la actividad de Comercialización (pesos diciembre 2014/suscriptor).

TLU : Tarifa para la actividad de Limpieza Urbana (pesos diciembre 2014/suscriptor).

TBL : Tarifa para la actividad de Barrido y Limpieza (pesos diciembre 2014/suscriptor).

TRT : Tarifa para la actividad de Recolección y Transporte (pesos diciembre 2014/suscriptor).

TDF : Tarifa para la actividad de Disposición Final (pesos diciembre 2014/suscriptor).

TTL : Tarifa para la actividad de Tratamiento de Lixiviados (pesos diciembre 2014/suscriptor).

CCS : Costo de Comercialización por suscriptor (pesos diciembre 2014/suscriptor-mes).

$CLUS:$	Costo de Limpieza Urbana por suscriptor (pesos diciembre 2014/suscriptor-mes).
$CBLs:$	Costo de Barrido y Limpieza por suscriptor (pesos diciembre 2014/suscriptor-mes).
$CRT:$	Costo Promedio de Recolección y Transporte del APS de la persona prestadora j en un mismo municipio y/o distrito (pesos diciembre de 2014/tonelada).
$CDF:$	Costo Promedio de Disposición Final del APS de la persona prestadora k en un mismo municipio y/o distrito (pesos diciembre de 2014/tonelada).
$CTL:$	Costo Promedio de Tratamiento de Lixiviados del APS de la persona prestadora k en un mismo municipio y/o distrito (pesos diciembre de 2014/tonelada).
$TAFNA_{i,z}:$	Toneladas de Residuos No Aprovechables aforadas por suscriptor i , en el APS z de la persona prestadora, (toneladas/suscriptor-mes).
$\overline{TRBL}:$	Toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
$\overline{TRLU}:$	Toneladas de Limpieza Urbana por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
$TAF_{i,k}:$	Toneladas de Residuos Aprovechables aforadas por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
$\overline{TRRA}:$	Toneladas de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor (toneladas/suscriptor-mes).
$TFS_{i,z}:$	Tarifa Final por suscriptor aforado i , en el APS z , de la persona prestadora, (pesos diciembre 2014/suscriptor).
$FCS_u:$	Factor de contribución o subsidio correspondiente a cada suscriptor, aplicable para el servicio público de aseo, determinado por estrato o tipo de uso de acuerdo con la normatividad aplicable.

11.4 FACTURACIÓN DEL SERVICIO

Respecto a la facturación del servicio público de aseo, la Ley 142 de 1994 establece que la persona prestadora de recolección y transporte de residuos no aprovechables, garantizará la facturación del servicio de aseo y sus actividades complementarias definidas en el artículo 2.3.2.2.1.13 del Decreto 1077 de 2015:

- Recolección
- Transporte
- Barrido, limpieza de vías y áreas públicas
- Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas
- Transferencia
- Aprovechamiento
- Disposición final
- Lavado de áreas públicas

Por lo anterior, la factura del servicio público de aseo deberá contener información suficiente sobre los componentes de la tarifa final, para que el suscriptor o usuario pueda establecer con facilidad si la empresa se ciñó a la ley al elaborarla en virtud del contrato de condiciones uniformes que la persona prestadora esté obligado a cumplir. Lo anterior, separado para residuos no aprovechables y aprovechables.

En este contexto, en cuanto a la liquidación de la tarifa final por suscriptor deberá contener como mínimo los siguientes elementos:

- Costo Fijo Total
- Costo Variable de residuos no aprovechables
- Valor Base de Aprovechamiento por tonelada de residuos aprovechables
- Toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor
- Toneladas de Limpieza Urbana por suscriptor
- Toneladas de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor
- Toneladas Efectivamente Aprovechadas por suscriptor
- Toneladas de Residuos No Aprovechables por suscriptor
- Toneladas de Residuos No Aprovechables aforadas por suscriptor
- Factor de contribución o subsidio correspondiente a cada suscriptor

11.5 BALANCE DE PRODUCCIÓN DE RESIDUOS POR ÁREAS DE PRESTACION DE SERVICIO FACTURADOS

El objetivo del siguiente balance de producción de residuos del área de prestación del servicio facturados, es el de aproximarse a que la medición del servicio público de aseo cuantificada como los pesajes en el sitio de disposición final y/o Estación de Clasificación y Aprovechamiento ECA por cada una de las actividades realizadas por el/los prestadores del servicio, sea igual a la distribución equitativa que se hace de dichas toneladas entre los suscriptores de cada área de prestación. La cantidad producida de residuos del área de prestación de servicio se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_z = QBL_z + QLU_z + QNA_z + QA_z$$

Donde:

Q_z : Total producción promedio de residuos del APS z de la persona prestadora j (toneladas/mes).

QBL_z : Toneladas promedio de residuos de Barrido y Limpieza (toneladas/mes) de la persona prestadora j en el APS z. (toneladas/mes).

$$QBL_z = \overline{TRBL} * (n_z)$$

$TRBL$: Toneladas de Barrido y Limpieza por suscriptor, (toneladas/suscriptor-mes).

QLU_z : Toneladas promedio de residuos de Limpieza Urbana de la persona prestadora j en el APS z (toneladas/mes).

$$QLU_z = \overline{TRLU} * (n_z)$$

$TRLU$: Toneladas de Limpieza Urbana por suscriptor. (toneladas/suscriptor-mes).

QNA_z : Toneladas promedio de residuos no aprovechables del semestre, de la persona prestadora j en el APS z (toneladas/mes).

$$QNA_z = \sum_{u=1}^8 TRNA_{u,z} * n_{u,z} + \sum_{i=1}^n TAFNA_{i,z} + \overline{TRRA} * (n_z - nd_z)$$

$TRNA_{u,z}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables por tipo de suscriptor u , de la persona prestadora j en el APS z , (toneladas/mes).

$TAFNA_{i,z}$: Toneladas de Residuos No Aprovechables aforadas por suscriptor i , en la APS z , (toneladas/suscriptor-mes).

\overline{TRRA} : Toneladas de Residuos de Rechazo del Aprovechamiento por suscriptor, (toneladas/suscriptor-mes).

QA_z : Toneladas promedio de residuos efectivamente aprovechadas, aforadas y no aforadas de la persona prestadora j (toneladas/mes).

$$QA_z = \sum QA_j * \left(\frac{nj}{N}\right) + \sum_i TAFNA_{i,k}$$

n_j : Número de suscriptores de la persona prestadora RTA j .

$n_{u,z}$: Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores por tipo u de la persona prestadora en el APS z .

n_z : Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores del APS z de la persona prestadora.

nd_z : Promedio de los últimos seis (6) meses del número de suscriptores desocupados del APS z de la persona prestadora.

12. RESUMEN COSTOS

A continuación se presenta una tabla resumen de valores de los costos por componente actividad y los porcentajes asociados a estas.

Tabla 98. Resumen costos por componente

Componente	Rubro	Unidad	Costo \$ Junio 2012	Costo \$ Diciembre 2014
CCS	Costo segmento1 factura acueducto	\$/Suscriptor	1.152,93	1.223,39
	Costo segmento 2 factura acueducto	\$/Suscriptor	1.290,01	1.368,85
	Costo segmento1 factura energía	\$/Suscriptor	1.724,46	1.829,86
	Costo segmento 2 factura energía	\$/Suscriptor	1861,54	1.975,31
	Incremento por actividad de aprovechamiento	%	30%	
CBL	Costo por km	\$/km	26.665	28.985
Corte de césped	Costo segmento 1 por m ²	\$/ m ²	52	57
	Costo segmento 2 por m ²	\$/ m ²	79	86
Lavado	Constante fórmula	\$/ m ²	153	166
Playas	Costo por km	\$/km	9.925	10.789
Cestas	Inversión	\$/Unidad	5.249	5.705
	Mantenimiento	\$/Unidad	525	571
	Costo total mensual	\$/Unidad	5.773	6.276
CRT	Constante F1	\$/Ton	61.112	64.745
	Coeficiente Distancia F1		696	738
	Coeficiente Toneladas F1		8.196.650	8.683.846

Componente	Rubro	Unidad	Costo \$ Junio 2012	Costo \$ Diciembre 2014
	Constante F2	\$/Ton	82.896	87.823
	Coeficiente Distancia F2		263	278
	Coeficiente Toneladas F2		23.796.770	25.211.213
	Factor zonas costeras	%	1.97%	
	% Aportes Bajo Condición	%	22%	
CDF	CDF_VU Valor fijo	\$/Ton	17.823	18.722
	CDF_VU Valor Variable		126.541.290	132.924.379
	CDF_VU Techo		133.178	139.896
	CDF_PC Valor fijo		231	242
	CDF_PC Valor Variable		11.092.801	11.652.352
	CDF_PC Techo		5.888	6.185
	% Aportes Bajo Condición RSU 1	%	21%	
	% Aportes Bajo Condición RSU 2	%	32%	
	% Aportes Bajo Condición RSU 3	%	37%	
CTL	Costo máximo por recirculación	\$/Ton	2.348	
	% Aportes Bajo Condición Esc 1	%	38%	
	% Aportes Bajo Condición Esc 2	%	49%	
	% Aportes Bajo Condición Esc 3	%	47%	
	% Aportes Bajo Condición Esc 4	%	46%	
	% Aportes Bajo Condición Esc 5- Recirculación	%	80%	

Fuente: Cálculos CRA.

13. REFERENCIAS

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIO PÚBLICOS DE BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL (UAESP). Esquema de metas a cumplir para la inclusión de la población recicladora en la gestión pública de los residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C. 2012.
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIO PÚBLICOS DE BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL (UAESP). Estudio de las actividades de corte de césped, poda de árboles, manejo de escombros y limpieza de playas. 2009
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIO PÚBLICOS DE BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL (UAESP). Verificación de motivos para el otorgamiento de áreas de servicio exclusivo en el servicio público domiciliario de aseo Distrito Capital 2010 – 2018. 2010
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE YUMBO. Solicitud de verificación de motivos para la renovación de la declaración de área de servicio exclusivo en el municipio de Yumbo. 2010.
- ADERASA, Grupo de tarifas y subsidios, “Las Tarifas de Agua Potable y Alcantarillado en América Latina”. Internet: (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd53/tarifa_al.pdf>).
- AGUILERA, J.C. Informe de consultoría CRA. Determinación de la tasa de descuento aplicable cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, 2007.
- ALEXANDER, I. e Irwin, T. Price caps, rate-of-return regulation, and the cost of capital. En: The World Bank Group. Private Sector, septiembre1996, Note No. 87.
- ANDO, K., Atsuhiko, K., Yasunobu M. y Kazuyuki S. Least distance based inefficiency measures on the pareto-efficient frontier in DEA. Journal of the Operations Research Society of Japan, marzo 2012, vol. 55, No. 1, pp. 73-91.
- ASOCIACIÓN DE RECICLADORES DE BOGOTÁ (ARB) y Pacto Gremial Reciclador. Propuesta de modelo para el manejo integral de residuos sólidos articulando el componente de reciclaje con inclusión de los recicladores de oficio en el manejo del servicio público de aseo de la ciudad de Bogotá hacia la cultura de basura cero. 2012
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. Internet: <http://www6.iadb.org/Residuos/bienvenida/Inicio.bid>
- BATTESE G. E. y Prasada D. S. Technology gap, efficiency, and a stochastic metafrontier function. En: International Journal of Business and Economics, University of New England, Australia, 2002, vol. 1, No. 2, p.87-93.
- BERNSTEIN, J. Price Cap regulation and productivity. En: International Productivity Monitor, Centre for the Study of Living Standards, 2000, vol. 1, p. 23-28.
- BREALEY, Richard, Stewart C. Myers y Franklin Allen. Principles of Corporate Finance, 8th edition, McGraw Hill-Irwin, New York, 2006.
- CENTER FOR CLEAN AIR POLICY Y ADVANTIS. Evaluation of the market potential of recyclables and compost in Colombia. 2013
- CHOCONTÁ R. y Perdomo A. Diseño geométrico de vías. Bogotá: Editorial Escuela de Ingeniería, 1998.
- COELLI, T. A Guide to Frontier 4.1, a computer program for stochastic frontier production and cost function

estimation. University of North England, Australia, 1996.

COELLI T., Estache A., Perelman S. y Trujillo L. A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators. Université Libre de Bruxelles (ULB) Institutional Repository 2013/44106, ULB

COELLI, T. y Perelman, S. Efficiency measurement, multiple-output technologies and distance functions: With application to European railways. En: European Journal of Operational Research, Elsevier, septiembre 2011, vol. 117(2), p.326-339.

COELLI, T., Rao, D.S., O'Donnell, C.J.; Battese, G.E. (2005) An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, 2nd Edition. Springer.

COMPROMISO EMPRESARIAL PARA EL RECICLAJE (CEMPRE). Estudio nacional del reciclaje y los recicladores". Bogotá: Aluna Consultores Limitada, 2011

CONSORCIO REGULACIÓN INTEGRAL. Consultoría para evaluar la estructura tarifaria del servicio público de aseo, relacionada con los incentivos a las actividades de aprovechamiento y reciclaje". Consultoría CRA 2011

CONCOL. Consultoría para determinar el impacto regulatorio para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Producto No 2. Diagnóstico. Bogotá. 2009

CHISARI, Omar O., Rodríguez Pardina, Martín A. y Rossi, Martín A. El costo de capital en empresas reguladas: Incentivos y metodología. En: Desarrollo Económico, 1999, vol. 38 No.152.

COPELAND, Thomas E. y J. Fred Weston. Financial Theory and Corporate Policy, 2nd edition, London: Pearson Education, 1988.

COLOMBIA. EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1753. (9, junio, 2015). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país". Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2005. no. 49538.

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO CRA. Resolución 312. (14, enero, 2005). Por la cual se fija la tasa de descuento aplicable a los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2005. no. 45796.

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO CRA. Resolución 351 (20, diciembre, 2005). Por la cual se establecen los regímenes de regulación tarifaria a los que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo y la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio de aseo de residuos ordinarios y se dictan otras disposiciones.. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2005. no. 46153.

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO CRA. Resolución 352. (20, diciembre, 2005). Por la cual se definen los parámetros para la estimación del consumo en el marco de la prestación del servicio público domiciliario de aseo y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2005. no. 46153.

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO CRA. Metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de Acueducto y Alcantarillado. En: Revista No. 9, junio de 2004. ISSN0123-370x.

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Resolución 098. (26 de septiembre 2008). Por la cual se aprueban los generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los sistemas de transmisión regional y distribución local.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2041 (15, octubre, 2014). Por el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Diario Oficial. Bogotá, D.C, 2014. No. 49305

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1111 (2, septiembre, 2013). Por la cual se modifica la Resolución 910 de 2008. Diario Oficial. Bogotá, D.C, 2013. No. 48909

COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Política para la gestión de residuos. 1998

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Estructura de costos de operación vehicular 2006. Informe ejecutivo: Dirección general de transporte y tránsito automotor. 2007

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVIAS Subdirección de apoyo técnico. Manual de diseño geométrico de carreteras. 2008

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO Y EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 754. (25 de noviembre de 2014). Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial. Bogotá, D.C, 2014. No. 49352

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1077. (26, mayo, 2015). "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio" Diario Oficial. Bogotá, D.C, 2014. No. 49523

COLOMBIA. ALCALDÍA MUNICIPAL DE YUMBO. "*Solicitud de verificación de motivos para la renovación de la declaración de área de servicio exclusivo en el municipio de Yumbo*", 2010

CRUZ, J, Villarreal, S. y Rosillo, J. Finanzas corporativas. Valoración, política de financiamiento y riesgo. Bogotá: Thomson, 2003

CONSULTORIA Y DIRECCIÓN DE PROYECTOS SAS (CYDEP SAS). Informe No 4. Consultoría para llevar a cabo la evaluación y realización de una propuesta que permita actualizar los componentes de recolección y transporte, y transporte por tramo excedente de residuos sólidos, haciendo énfasis en la agrupación de mercados, 2011.

DAMODARAN, Aswath. Applied Corporate Finance. Chapters 2, 3 y 4. Reino Unido: John Wiley and Sons: West Sussex, 2010.

DAMODARAN, Aswath. Equity Risk Premium (ERP): Determinants, estimation and implications. A post-crisis Update. New York University, Stern School of Business, 2012.

DAMODARAN, Aswath. Measuring company exposure to country risk: Theory and practice. New York University, Stern School of Business, 2003

DAMODARAN, Aswath. NYU Stern School of Business. Internet: (< <http://www.stern.nyu.edu/~adamodar/> >)

DAMODARAN, Aswath. What is the risk free rate? A search for the basic building block. New York University, Stern School of Business, 2008.

DEENE, Tim, Reuven Irvine, et al. Recycling Cost Benefit Analysis. Ministry for the Environment New Zealand. Internet: <http://www.mfe.govt.nz/publications/waste/recycling-cost-benefit-analysis-apr07/recycling-cost-benefit-analysis-apr07.pdf>

DELGADO, Juan, Castaño Juan Guillermo, Correa Esteban, Restrepo Alex, Echeverría Félix. Clasificación de la agresividad atmosférica en Colombia mediante métodos estadísticos multivariados. Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2009

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Documento CONPES 3530 (23, junio, 2008). Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos.

DIXON, John y Pagiola, Stefano. Análisis económico y evaluación ambiental. Departamento Ambiental Banco Mundial. Washington DC, Estados Unidos. Internet: <http://www.undp.org/cu/eventos/aprotegidas/EAUPDATE-S3.pdf>

ECONOMETRÍA. Informe del estudio diseño de regulación tarifaria, Anexo 3. 2001

ECOSYSTEM VALUATION. Dollar Based Ecosystem: Valuation methods. Internet: www.ecosystem.org

EHRIG. H.J. y Robinson. H. Landfilling: Leachate treatment, in solid waste & management. Ed. T, Christensen, 2011

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, "Waste Transfer Stations: A Manual for Decision-Making". United States Environmental protection Agency. 2002

FUNDES. AVINA. El sector reciclaje en Bogotá y su región: Oportunidades para los negocios Inclusivos. En: Serie Guías Sectoriales No. 2, 2010.

GARCÍA. C. Análisis de los componentes de rentabilidad y costo de capital para el servicio de agua potable y alcantarillado en Colombia. Informe de consultoría. PNUD. 2002.

GARCÍA, Oscar. Valoración de empresas, gerencia del valor y EVA. Cali: Prensa Moderna Impresores S.A., 2003, primera edición

GREENE, William. Econometric Analysis: International. 7 Edition. United States of America. Prentice Hall, 2011

GREENE, William. The Econometric Approach to Efficiency Analysis. Chapter 2 in The Measurement of Efficiency. Oxford University Press, 2008.

GUPTA, S.K. y Singh, G. Assessment of the efficiency and economic viability of various methods of treatment of sanitary landfill Leachate. En: Environmental Monitoring Assessment, 2007, vol.135, p. 107-117

KAZUTOSHI. A. Maeda, A.K. y Sekitani, K. Least distance based inefficiency measures on the pareto-efficient frontier in DEA. En: Journal of the Operations Research Society of Japan, The Operations Research Society of Japan, marzo 2012, vol. 55, No. 1, p. 73-9.1

KJELSEN, P., Barlaz, M., Rooker, A. Baun, A., Ledin, A. y Christensen, T. (2002). Present and long-term composition of MSW leachate: a review. En: Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32(4) p. 297-336.

LOPEZ E., Tenjo F. y Zamudio N. Determinantes de la Estructura de Capital de las Empresas Colombianas (1996-2002). En: Unidad de Investigaciones del Banco de la Republica. Borradores Económicos. 2006

LOWENSTEIN, Ronnie (2004). "Refuse and recycling: Comparing the costs independent budget office. New York City Independent Budget Office. Nueva York, Estados Unidos. Internet: <http://www.ibo.nyc.ny.us/iboreports/refuseandrecycle.pdf>

MENDIETA, Juan Carlos, et al (2010). Evaluación económica de impactos ambientales en proyectos sujetos a licenciamiento ambiental. Manual técnico Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. Internet: <http://www.minambiente.gov.co>

MENDOZA D., Alberto, et al. (1992) "Estudio de pesos y dimensiones de los vehículos que circulan sobre las carreteras mexicanas. Análisis estadístico del peso y las dimensiones de los vehículos de carga que circulan por la red nacional de carreteras. Estaciones instaladas durante 1991". Documento Técnico No. 8 Sanfandila.

NICHOLSON W. Microeconomía intermedia y sus aplicaciones. Mc Graw Hill. 1997

PERDOMO J. y Ramírez J. Análisis económico sobre el tamaño óptimo del mercado y ubicación de estaciones de transferencia para el manejo de residuos sólidos en Colombia. En: Lecturas de Economía No. 75. Medellín, julio-diciembre 2011.

RAO, D.S., (nd). Efficiency and Productivity Measurement: Stochastic Frontier Analysis School of Economics, The University of Queensland, Australia.

SAKURAI, Kunitoshi. "Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos." Internet: <http://bvs.per.paho.org/acrobat/disen.pdf>

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). Diagnóstico sectorial plantas de aprovechamiento de residuos sólidos. 2008

RENOU S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P. Lanfill leachate treatment: review and opportunity. En: Journal of hazardous materials, 11 febrero 2008, vol.150, Issue 3, p. 468-493.

KURNIAWAN, T.A., Lo W.H y Chan, G.Y.S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. En: Journal of hazardous materials, febrero 2006, vol. 129, Issues 1-3, 28, p. 80-100

TERRAZA, H y Sturzenegger, G. Dinámicas de organización de los recicladores informales: Tres casos en América Latina. En: Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Sector de infraestructura y medio ambiente, nota técnica No. 117. 2010.

U.S. CONGRESS, Office of Technology Assessment. "Facing America's Trash: What Next for municipal solid waste". OTA-O-424 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, octubre 1989). Internet: <http://ota.fas.org/reports/8915.pdf>

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Chapter 5: Reporting FCA DATA. Internet: <http://www.epa.gov/osw/conserves/tools/fca/docs/chap5.pdf>

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Waste Transfer Stations: A manual for decision-making". Internet: <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/pubs/r02002.pdf>.

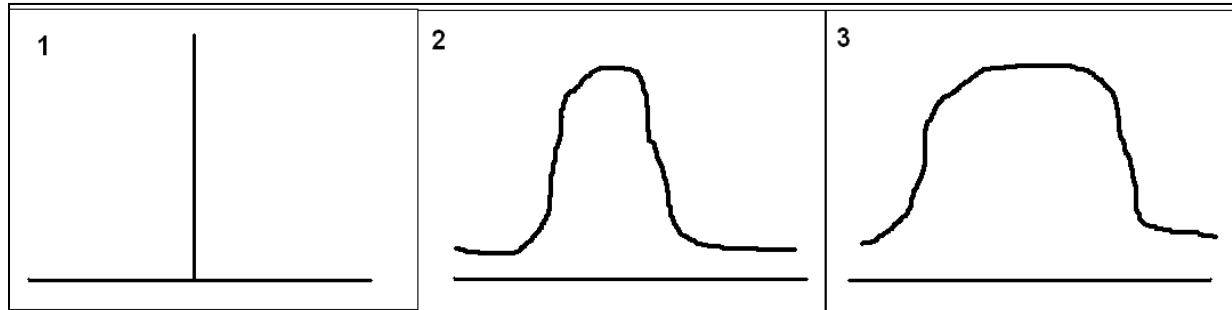
WISZNIOWSKI J., Robert, D., Surmacz-Gorka, J. Miksch, K., Weber, J.V. Leachate treatment methods: a review. En: Environmental Chemistry Letters, abril 2006, vol. 4, Issue 1, p 51-61.

YUSOF, N., Hassan, M.A., Phang, L.Y., Tabatabaei, M., Othman, M.R., Mori, M., Wakisaka, M.m Sakai, K., Shirai, Y. Nitrification of ammonium-rich sanitary landfill leachate. En: Waste Management, enero 2010, vol. 30, Issue 1, p. 100-109.

ANEXO 1 TASA LIBRE DE RIESGO

Un activo financiero se considera libre de riesgo, cuando la tasa de retorno esperada es igual a la tasa de retorno obtenida una vez se alcanza el periodo de maduración. Por lo tanto, el nivel de riesgo de cualquier activo financiero será igual a la varianza de los retornos efectivamente obtenidos en relación con los retornos esperados.

Gráfica 1. Distribución de la Varianza del Retorno esperado vs Retorno recibido



Fuente: Resolución CRA 312 de 2005

En el cuadro (1) se presenta la distribución de la varianza de un activo financiero libre de riesgo, donde el retorno esperado (eje ordenadas) es igual al retorno recibido (eje abscisas) y la probabilidad que este evento se cumpla es igual a uno; mientras que los cuadros (2) y (3), corresponden a la distribución de la varianza de los retornos obtenidos para activos financieros con niveles de riesgo bajo y alto respectivamente.

De forma paralela, la simetría y la kurtosis de la distribución mencionada se utilizan como variables complementarias en la medición del riesgo de un activo. La simetría señala el nivel de probabilidad de obtener retornos positivos o negativos según se ubique la misma con respecto del centro; la kurtosis, muestra la tendencia de una inversión a “saltar” en una u otra dirección. Por ejemplo, a pesar que las distribuciones de los cuadros dos y tres son simétricas, la inversión del cuadro tres resulta más riesgosa por su mayor distribución de la varianza y mayor kurtosis.

Por otra parte, es posible derivar una segunda característica de los activos financieros libres de riesgo, asumiendo que se cumple la regla que indica que los retornos esperados son iguales a los retornos efectivos: los retornos de un activo libre de riesgo no están relacionados con los retornos de activos riesgosos en el mercado. Básicamente, un activo cuyo rendimiento se mantiene constante bajo todos los escenarios, no puede estar relacionado a activos cuyos retornos varían según los escenarios o condiciones del mercado.

Para que se cumplan las dos características básicas mencionadas, propias de los activos libres de riesgo, no puede ocurrir lo siguiente:

- *Riesgo de no pago o default:* El activo financiero en cuestión no puede tener ningún tipo de riesgo asociado al pago de la obligación contraída, ya que en el caso contrario, el retorno esperado no sería igual al retorno efectivo (varianza $\neq 0$ y probabilidad $\neq 1$). Usualmente, los únicos activos que cumplen con esta condición son aquellos emitidos por naciones, gracias a que estas siempre podrán cumplir con sus obligaciones (en términos nominales) imprimiendo más dinero. Aunque hay que tener presente que existen casos donde los bonos emitidos por países en vías de desarrollo no resultan libres de riesgo, por numerosos factores: inestabilidad económica y política, no pago de deuda contraída por mandatarios anteriores, alto nivel de deuda en moneda extranjera, entre otros (usualmente se consideran seguros aquellos bonos clasificados AAA por las agencias de riesgo).
- *Riesgo de reinversión:* Hace referencia al riesgo que el nivel general de los tipos de interés haya cambiado con respecto a cierto valor inicial, para cuando los flujos de caja de una inversión estén listos

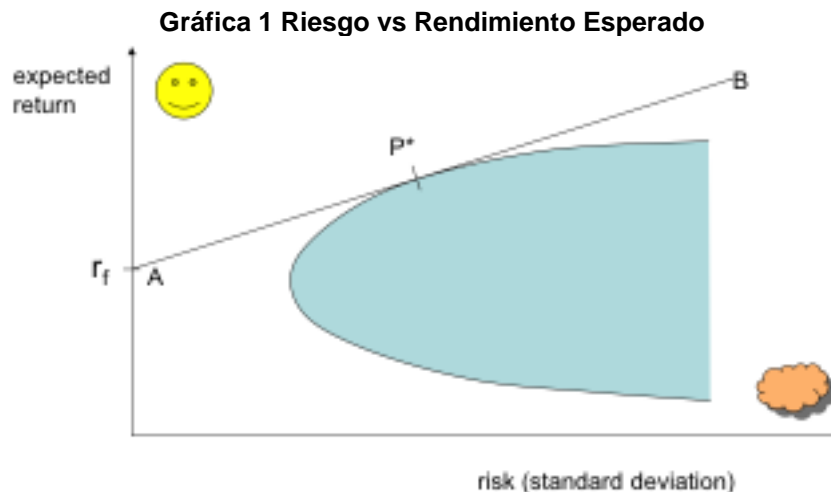
para ser reinvertidos. Como consecuencia, el valor final de la inversión inicial y de las reinversiones es incierto. Por ejemplo, los bonos a 5 años del tesoro Americano con cupones anuales, no pueden ser utilizados como activos libres de riesgo, ya que las tasas a las que serán reinvertidos los cupones no pueden predecirse al momento de la compra del bono (Esta incertidumbre aumenta la medida de riesgo del activo).

Aceptar las dos condiciones mencionadas – cero riesgo de default y reinversión - para que la tasa esperada de retorno sea igual a la tasa efectiva, implica que la tasa de un activo financiero libre de riesgo variará en función del horizonte de tiempo seleccionado y que el tipo de activo financiero a utilizar debe definirse tomando como base el número de años en que se desee garantizar los retornos. De forma tal que si se requiere estimar la tasa libre de riesgo para un flujo de caja de cinco años de duración, se debe utilizar la tasa de un activo financiero de cinco años, sin cupones y libre de riesgo de no pago.

ANEXO 2 BETA

Para comprender el funcionamiento del β es necesario derivar el modelo CAPM. El siguiente gráfico, muestra como un inversionista averso al riesgo prefiere obtener el mayor retorno con el menor riesgo. El área sombreada representa las combinaciones de riesgo y retorno esperado que están disponibles para el inversionista cuando únicamente compra activos riesgosos del mercado; el intercepto del eje retorno esperado es la tasa libre de riesgo (r_f). La línea recta AB representa las combinaciones eficientes de riesgo-retorno, que el inversionista consigue dividiendo su riqueza entre un portafolio riesgoso P^* (en el punto de tangencia de la gráfica) y un activo libre de riesgo.

En este contexto, el inversionista puede escoger entre tener el activo libre de riesgo junto con el portafolio riesgoso P^* (ubicándose sobre la línea AP^*) o tomar créditos a la tasa libre de riesgo para tener mayor proporción del portafolio riesgoso P^* (ubicándose sobre la línea P^*B).

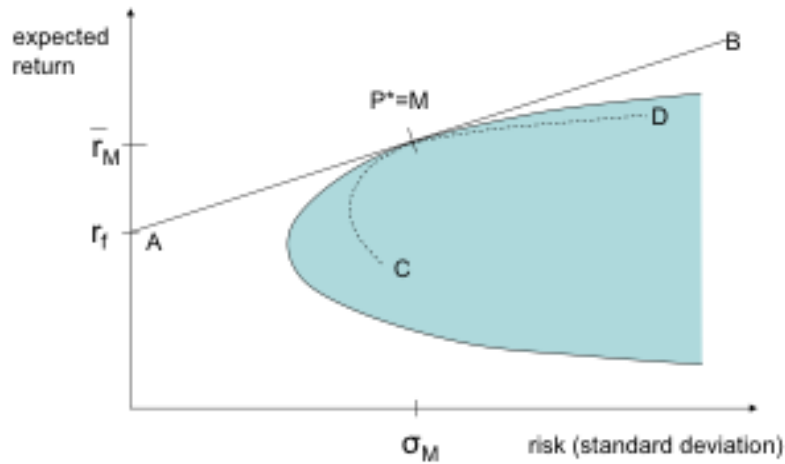


Fuente: Resolución CRA 312 de 2005

Todos los inversionistas quisieran tener activos riesgosos en las mismas proporciones que componen en el portafolio P^* . Si toman prestado o compran el activo libre de riesgo, el portafolio P^* les permite obtener la mejor combinación riesgo – retorno de acuerdo con sus preferencias o aversión al riesgo. Las proporciones en función del valor de los diferentes activos riesgosos son las mismas proporciones que éstos se encuentran efectivamente disponibles en el mercado. Por lo anterior, se dice que portafolio P^* es el portafolio de mercado.

Ahora, suponiendo que se cambia el peso de uno de los activos i por fuera de los pesos que combinan el portafolio M, este cambio movería las combinaciones riesgo – retorno a lo largo de una curva que pasa por el punto M como CD como se observa en el siguiente gráfico, la cual debe tener la misma pendiente que la línea AB en el punto M. Si no fuera así, cruzaría AB en el M y sería posible alcanzar un punto más allá de la línea AB, lo cual es una contradicción.

Gráfica 2 Riesgo vs. Rendimiento esperado, con cambio en el peso de un activo



Fuente: Resolución CRA 312 de 2005

El retorno esperado del portafolio compuesto por el activo libre de riesgo y el portafolio del mercado es el siguiente:

$$\bar{r}_p = w_0 \cdot r_f + w_1 \cdot \bar{r}_1 + \dots + w_N \cdot \bar{r}_N \quad (1)$$

Donde:

$\{w_0, w_1, \dots, w_N\}$ son las proporciones (que suman 1) del dinero invertido en el activo seguro 0 y en los activos riesgosos 1 a N.

La varianza del retorno esperado es:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij} \quad (2)$$

Donde:

σ_{ij} es la covarianza de los retornos de los activos i y j .

Cuando se cambia el peso del activo i , w_i compensando este cambio por un cambio igual en w_0 , la relación de los diferenciales $dw_0 \equiv -dw_i$ se debe cumplir para que la suma de los pesos del portafolio siga siendo igual a 1.

Luego, si se diferencia la ecuación (1) con respecto a w_i y aplicamos la relación de los diferenciales $dw_0 \equiv -dw_i$, se obtiene el cambio resultante en el retorno esperado:

$$\frac{d\bar{r}_p}{dw_0} = \bar{r}_i - r_f \quad (3)$$

De manera similar, al diferenciar la ecuación (2) con respecto a w_i se obtiene el cambio resultante en la varianza:

$$\frac{d\sigma_p^2}{dw_i} = 2 \sum_{j=1}^N w_j \sigma_{ij} \quad (4)$$

Para estimar la pendiente de la curva CD en el punto M se necesita conocer el cambio en la desviación estándar del portafolio, ya que la gráfica 2 muestra un espacio retorno esperado – desviación estándar.

$$\frac{d\sigma_p}{dw_i} = \frac{d\sqrt{\sigma_p^2}}{dw_i} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sigma_p} \frac{d\sigma_p^2}{dw_i} = \frac{1}{\sigma} \sum_{j=1}^N w_j \sigma_{ij} \quad (5)$$

Por lo tanto la pendiente de la línea CD es:

$$\frac{d\bar{r}_p}{d\sigma_p} = \frac{d\bar{r}_p}{dw_i} \bigg/ \frac{d\sigma_p}{dw_i} = \frac{(\bar{r}_i - r_f)}{\sum_{j=1}^N w_j \sigma_{ij}} \quad (6)$$

En el punto M las pendientes de CD y AB son iguales:

$$\frac{\bar{r}_M - r_f}{\sigma_M} = \frac{(\bar{r}_i - r_f)}{\sum_{j=1}^N w_j \sigma_{ij}} \quad (7)$$

La anterior expresión se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\bar{r}_i = r_f + \beta_i (\bar{r}_M - r_f) \quad (8)$$

Donde:

β_i : se define como la covarianza entre el retorno de un activo i y el retorno del portafolio del mercado dividido por la varianza del retorno del portafolio del mercado:

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^N w_j \sigma_{ij}}{\sigma_M^2} = \frac{\sigma_{iM}}{\sigma_M^2} \quad (9)$$

Luego β_i se puede estimar con una regresión del retorno de la acción del activo i como variable dependiente y el retorno del mercado como variable independiente.

A pesar que actualmente los inversionistas tienen la posibilidad de eliminar parte del riesgo país diversificando su portafolio con activos de varios países, el constante aumento de la correlación entre mercados, implica que una parte del riesgo mencionado no podrá ser diversificado.

Otra forma de entender el riesgo país, en el contexto del CAPM, es como la medida del riesgo de variaciones en el flujo de efectivo de una empresa que opera en un país emergente, distinto al generado por el apalancamiento operativo y financiero incluido en el beta.

$$B_f^A = B_f^{NA} [1 + (1 - t)(deuda/patrimonio)]$$

A continuación se presentan los métodos más comunes para cuantificar el riesgo país:

Spread de los bonos soberanos: Este es el método comúnmente utilizado para estimar el riesgo país y consiste en calcular la diferencia entre un activo libre de riesgo de un mercado maduro y un activo libre de riesgo del país bajo análisis. La idea es que si en un mercado existen dos activos con términos de redención y liquidez similares, la diferencia en su cotización estará explicada por la percepción del riesgo del emisor.

$$R_p = \text{Rendimiento bonos colombianos} - \text{Rendimiento bonos USA}$$

Normalmente el índice utilizado como medida del riesgo país bajo este método es el EMBI, EMBI + o EMBI global. Los tres siguen el retorno total de los bonos de deuda externa de mercados emergentes, y se diferencian únicamente por los bonos que cada uno incluye en su estimación.

Desviación Estándar Relativa: Consiste en ajustar la prima por riesgo de mercado en función del riesgo adicional de invertir en un mercado emergente, utilizando la desviación estándar como medida de este riesgo. Específicamente, se incorpora la prima de riesgo país a la prima de mercado, multiplicando la prima de riesgo base del mercado maduro con el ratio entre la desviación estándar del país emergente y la desviación estándar del mercado maduro. Despejando la anterior relación, se obtiene la siguiente fórmula para el riesgo país:

$$R_p = (\text{Prima de Riesgo}_{us} * \frac{\text{Desviacion Estandar Mercado}_{col}}{\text{Desviacion Estandar Mercado}_{us}}) - \text{Prima de Riesgo}_{us}$$

En la fórmula de la desviación estándar se asume que el inversionista promedio seleccionará entre el mercado de activos del país emergente y el mercado de activos maduro al momento de invertir.

La principal desventaja de esta metodología es que la desviación estándar no siempre es la medida apropiada de riesgo relativo de un mercado emergente, ya que subestima el riesgo del capital en mercados con baja volatilidad, explicada por falta de liquidez o poca representatividad.

Método Mixto: Se basa en la idea que el riesgo país no constituye únicamente el riesgo de no pago de la deuda, por lo tanto ajusta el spread con el riesgo adicional del mercado de capitales (estimado como la desviación estándar del mismo). En la estimación de la desviación estándar se asume que al momento de invertir se escogerá entre los bonos del mercado emergente y activos del mercado emergente.

$$R_p = \text{Spread Bonos Soberanos}_{col} * \frac{\text{Desviacion Estandar Mercado}_{col}}{\text{Desviacion Estandar Bonos}_{col}}$$

La principal crítica a este método consiste en que el alto nivel de variación o bajo nivel de representatividad de los activos en mercados de países en vías de desarrollo pueden llevar a estimaciones del riesgo país demasiado elevadas.

Por otra parte, cabe señalar que para efectos de este cálculo se seleccionó el promedio del índice EMBI+ (Spread de la deuda soberana Colombiana) entre de 2009 y 2013.

De acuerdo a las siguientes consideraciones se propone definir la tasa de riesgo país como el promedio del índice EMBI+:

- A pesar que el método mixto resulta una medida más exacta del riesgo país, su estimación para el caso colombiano no resulta posible debido a la alta variabilidad del mercado de activos, el bajo número de observaciones de la serie histórica y la poca representatividad del mismo.
- El uso del spread del índice EMBI+ resulta conveniente para mantener la consistencia con respecto al método de cálculo del riesgo país utilizado en el periodo regulatorio anterior.

ANEXO 4 COSTO DE LA DEUDA ANTES DE IMPUESTOS Y PESO DE LA DEUDA POR EMPRESA Y AÑO

ID Empresas 2008	DEUDA 2008	INT 2008	EQUITY 2008	Kd 2008	Wd2008
68	73.254.762.673	7.258.756.409	23.666.838.328	9,91%	75,58%
626	29.220.893.396	3.522.468.775	9.935.640.502	12,05%	74,63%
1896	1.365.316.930	182.070.323	3.124.630.358	13,34%	30,41%
2076	191.573.700	32.114.522	448.024.199	16,76%	29,95%
2271	1.628.792.697	316.485.020	785.497.527	19,43%	67,46%
2460	165.833.190	42.133.038	170.567.773	25,41%	49,30%
2636	610.292.970	64.797.968	2.205.263.862	10,62%	21,68%
2866	12.965.441.523	2.207.776.150	23.894.888.347	17,03%	35,17%
3339	7.492.090.695	270.200.324	9.907.159.920	3,61%	43,06%
3343	7.950.414.380	1.069.372.720	6.371.967.383	13,45%	55,51%
20286	10.871.402.677	749.432.719	1.231.155.699	6,89%	89,83%
20387	364.520.120	74.147.176	637.241.704	20,34%	36,39%
20537	33.796.240	5.575.123	30.026.823	16,50%	52,95%

ID Empresas 2009	DEUDA 2009	INT 2009	EQUITY 2009	Kd 2009	Wd2009
68	66.122.002.934	8.457.314.195	41.621.431.062	12,79%	61,37%
626	31.480.247.471	4.042.788.989	12.705.524.242	12,84%	71,25%
1737	80.951.955	2.476.502	427.755.360	3,06%	15,91%
1845	38.085.248.469	4.135.677.229	18.837.475.928	10,86%	66,91%
1896	1.238.420.450	111.794.502	3.050.121.628	9,03%	28,88%
2043	3.330.235.466	547.612.787	15.637.528.860	16,44%	17,56%
2092	1.621.189.505	227.380.902	486.560.421	14,03%	76,92%
2271	727.294.043	205.223.361	2.292.350.117	28,22%	24,09%
2460	165.833.190	42.133.038	170.567.773	25,41%	49,30%
2682	554.632.480	17.570.293	1.937.523.055	3,17%	22,26%
2866	10.985.743.174	2.149.432.365	26.544.603.914	19,57%	29,27%
3343	5.908.471.575	459.731.018	7.126.658.719	7,78%	45,33%
3383	2.850.134.964	264.095.101	5.000.379.557	9,27%	36,31%

ID Empresas 2010	DEUDA 2010	INT 2010	EQUITY 2010	Kd 2010	Wd2010
68	55.615.323.765	7.234.633.239	54.014.669.599	13,01%	50,73%
82	10.993.266.254	965.681.632	18.919.164.889	8,78%	36,75%
626	37.437.032.526	3.390.641.001	12.422.737.006	9,06%	75,08%
1845	49.642.656.337	3.656.508.127	32.965.158.204	7,37%	60,09%
1896	1.409.431.679	87.141.061	3.522.750.498	6,18%	28,58%

ID Empresas 2010	DEUDA 2010	INT 2010	EQUITY 2010	Kd 2010	Wd2010
2043	3.356.699.094	317.804.248	15.087.678.361	9,47%	18,20%
2092	1.287.646.880	134.080.368	1.990.642.188	10,41%	39,28%
2636	328.093.281	25.641.169	2.394.807.836	7,82%	12,05%
2682	910.317.617	59.703.598	2.055.304.348	6,56%	30,70%
2866	4.343.741.623	373.062.757	29.282.487.425	8,59%	12,92%
2895	1.826.824.054	98.488.051	4.150.652.925	5,39%	30,56%
3383	1.717.166.805	298.350.551	4.639.306.270	17,37%	27,01%

ID Empresas 2011	DEUDA 2011	INT 2011	EQUITY 2011	Kd 2011	Wd2011
68	35.480.308.543	4.422.102.519	51.685.605.333	12,46%	40,70%
82	19.993.215.066	683.161.879	22.584.944.470	3,42%	46,96%
626	29.767.443.922	3.204.954.847	12.511.788.937	10,77%	70,41%
806	11.038.176.433	1.311.099.934	12.711.278.326	11,88%	46,48%
1845	68.081.343.543	4.996.730.856	40.105.992.422	7,34%	62,93%
1896	1.143.940.155	117.148.595	3.701.973.694	10,24%	23,61%
2043	3.233.453.790	310.162.551	17.987.807.063	9,59%	15,24%
2092	968.362.318	115.459.060	2.322.908.704	11,92%	29,42%
2271	439.533.198	24.501.011	2.343.946.377	5,57%	15,79%
2460	97.368.451	9.646.353	185.290.049	9,91%	34,45%
2636	403.533.151	35.960.337	1.077.113.685	8,91%	27,25%
2682	739.765.710	75.880.041	2.837.086.266	10,26%	20,68%
2866	6.252.659.582	524.319.965	44.110.055.012	8,39%	12,42%
2895	1.478.100.880	150.874.728	5.342.823.567	10,21%	21,67%
3383	1.357.424.208	310.339.138	4.949.396.330	22,86%	21,52%

ID	DEUDA 2012	INT 2012	EQUITY 2012	Kd 2012	Wd2012
68	16.742.047.660	2.813.262.793	53.824.583.186	16,80%	23,73%
82	27.768.771.390	998.231.273	11.221.388.584	3,59%	71,22%
626	28.567.058.383	3.103.840.899	13.672.675.856	10,87%	67,63%
1845	57.153.992.291	6.331.613.308	39.525.022.187	11,08%	59,12%
1896	2.263.853.324	216.074.211	4.048.966.129	9,54%	35,86%
2043	2.268.318.380	278.984.585	18.254.042.393	12,30%	11,05%
2636	200.000.000	24.373.588	1.581.946.621	12,19%	11,22%
2682	1.648.195.201	152.879.093	3.582.674.554	9,28%	31,51%
2895	1.102.431.381	134.995.115	4.989.602.309	12,25%	18,10%
3391	1.214.206.646	181.842.752	2.992.565.206	14,98%	28,86%

ANEXO 5 ROTACIÓN DE CARTERA POR EMPRESA Y AÑO

ID Empresa	Rotación CxC 2011	Rotación CxC 2012
82	164,53	174,75
626	142,19	119,62
1737	66,56	62,76
1896	40,94	34,59
1917	40,79	37,77
2043	71,57	81,24
2092	79,13	46,22
2173	47,26	38,49
2271	124,70	30,69
2372	24,61	24,57
2614	21,30	22,66
2636	48,56	54,84
2682	46,79	43,02
2866	99,41	135,62
2895	41,69	41,01
3074	71,28	65,03
3339	16,75	21,55
3343	34,24	29,96
3391	97,74	79,99
20108	106,04	78,74
20286	70,74	94,16
20387	77,92	65,53
20526	62,41	160,81
21670	57,49	74,39

ANEXO 6 COMPOSICIÓN DE VÍAS

El objetivo de este procedimiento es calcular los porcentajes de terreno según el tipo de este, para las siguientes 12 ciudades principales de Colombia:

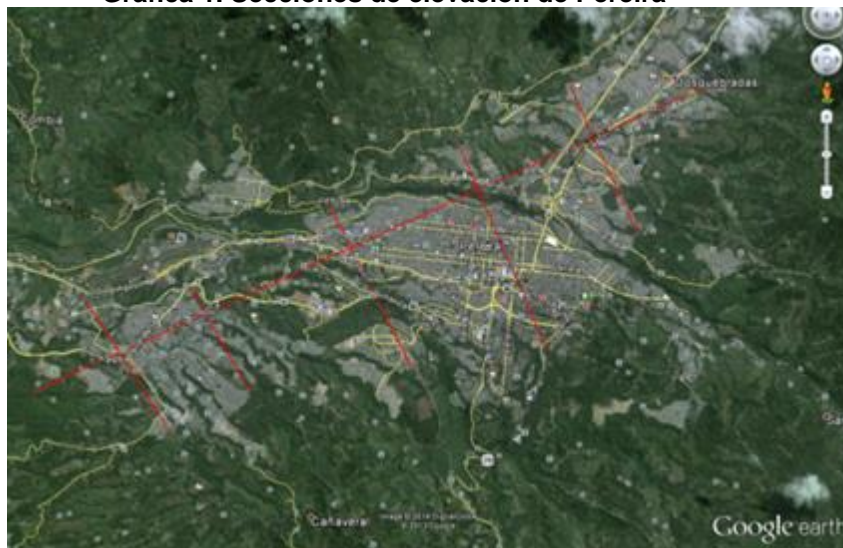
1. Bogotá
2. Cali
3. Medellín
4. Barranquilla
5. Manizales
6. Pasto
7. Pereira
8. Cúcuta
9. Ibagué
10. Montería
11. Villavicencio
12. Cartagena

1. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Para su desarrollo se tomó la información obtenida de Google Earth Ink. Se trazaron perfiles longitudinales, distribuidos equitativamente dentro de la ciudad analizada, para obtener por medio del programa los perfiles de elevación. Para el caso de Pereira, y de igual forma para las demás ciudades, se tiene lo siguiente:

Para el análisis se trazaron líneas de diseño dividiendo la ciudad en seis partes y así obtener cinco secciones, las cuales se muestran en la ilustración a continuación con las líneas rojas:

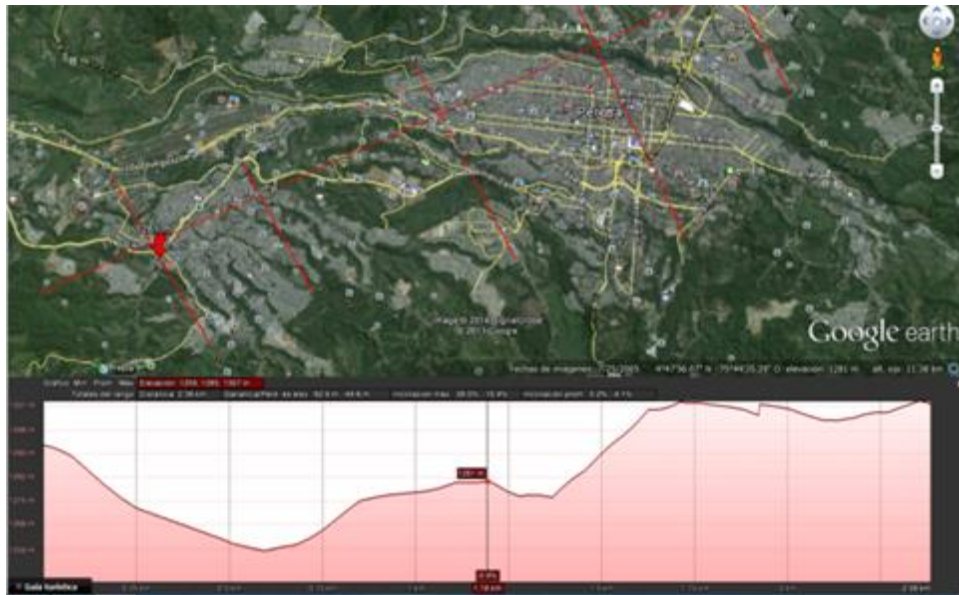
Gráfica 1. Secciones de elevación de Pereira



Fuente: Google Earth Inc.

El programa arroja el perfil de elevación para cada una de las cinco secciones previamente establecidas; para la primera sección se tiene:

Gráfica 2. Perfil transversal de Pereira



Fuente: Google Earth Inc.

El programa determina la longitud recorrida entre dos puntos y las elevaciones de dichos puntos.

2. FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DE LA PENDIENTE:

La pendiente para cada uno de los perfiles y secciones se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Donde:

- m: Pendiente de la curva entre dos puntos.
- Y_1 : Elevación en el punto inicial tomado.
- Y_2 : Elevación en el punto final tomado.
- X_1 : Distancia longitudinal en el punto inicial tomado.
- Y_2 : Distancia longitudinal en el punto final tomado.

Por lo tanto, para el análisis de la ciudad de Pereira, se tomarán diferentes puntos del perfil obtenido, y desarrollando este procedimiento para los cinco perfiles trazados, tenemos que:

Tabla 1. Cálculo de la Pendiente: Pereira

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	250	1293	1273	-20	250	-0,08	8,00
	250	590	1273	1259	-14	340	-0,0411764	4,12
	590	850	1259	1275	16	260	0,06153846	6,15
	850	1200	1275	1281	6	350	0,01714286	1,71
	1200	1360	1281	1276	-5	160	-0,03125	3,13
	1360	1700	1276	1307	31	340	0,09117647	9,12
	1700	2380	1307	1306	-1	680	-0,0014705	0,15

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 2	0	250	1283	1278	-5	250	-0,02	2,00
	250	563	1278	1289	11	313	0,03514377	3,51
	563	666	1289	1306	17	103	0,16504854	16,50
	666	870	1306	1315	9	204	0,04411765	4,41
	870	1280	1315	1287	-28	410	-0,0682926	6,83
	1280	1670	1287	1272	-15	390	-0,0384615	3,85
	1670	1870	1272	1289	17	200	0,085	8,50
Perfil 3	0	650	1304	1382	78	650	0,12	12,00
	650	1400	1382	1384	2	750	0,00266667	0,27
	1400	1650	1384	1361	-23	250	-0,092	9,20
	1650	1860	1361	1370	9	210	0,04285714	4,29
	1860	2240	1370	1329	-41	380	-0,1078947	10,79
	2240	2780	1329	1371	42	540	0,07777778	7,78
Perfil 4	0	580	1412	1431	19	580	0,03275862	3,28
	580	972	1431	1360	-71	392	-0,1811224	18,11
	972	1300	1360	1396	36	328	0,1097561	10,98
	1300	1800	1396	1424	28	500	0,056	5,60
	1800	1950	1424	1415	-9	150	-0,06	6,00
	1950	3360	1415	1431	16	1410	0,01134752	1,13
Perfil 5	0	179	1427	1439	12	179	0,06703911	6,70
	179	950	1439	1428	-11	771	-0,0142671	1,43
	950	1700	1428	1438	10	750	0,01333333	1,33
	1700	1940	1438	1454	16	240	0,06666667	6,67
	1940	2370	1454	1471	17	430	0,03953488	3,95

En la Tabla 1 se observan los porcentajes de la pendiente en cada uno de los perfiles trazados. Desde el punto de vista topográfico, el Ministerio de Transporte clasifica los terrenos en cuatro categorías:

- Terreno Plano: no presenta dificultad en el trazado ni en su explanación, por lo que las pendientes longitudinales son normalmente menores al 3%.
- Terreno Ondulado: sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación, las pendientes longitudinales son típicamente del 3% al 6%.
- Terreno Montañoso: presenta dificultades en el trazado y en la explanación, por lo tanto, son comunes las pendientes longitudinales entre el 6% y el 8%.
- Terreno Escarpado: existen muchas dificultades para el trazado y la explanación, por lo tanto, abundan las pendientes longitudinales mayores al 8%.

De esta forma, para el desarrollo del análisis de las pendientes en las principales ciudades de Colombia, se utilizará el siguiente cuadro base como criterio de selección del tipo de terreno teniendo en cuenta que los terrenos montañosos y escarpados presentan situaciones críticas, se unifica la información de éstos, y así contar con tres tipologías del terreno:

Tabla 2. Tipología del Terreno según la pendiente⁹³

Tipo de terreno	Pendientes longitudinales
Plano	<3%
Ondulado	3% a 6%
Montañoso y escarpado	≥ 6%

Fuente: Ministerio de Transporte

Ahora bien, analizando la información obtenida en los cálculos de las pendientes, se procede a tipificar los datos agrupándolos, para esto sumamos las longitudes ($X_2 - X_1$) que correspondan al mismo tipo de terreno:

Tabla 3. Longitudes según el tipo de terreno – Pereira

Perfil	Plano (m)	Ondulado (m)	Montañoso (m)	Valor total (m)
Perfil 1	1.030	500	850	2.380
Perfil 2	250	907	713	1.870
Perfil 3	750	210	1.820	2.780
Perfil 4	1.410	1.080	870	3.360
Perfil 5	1.521	430	419	2.370
Total por Tipo de Terreno	4.961	3.127	4.672	12.760

Fuente: cálculos CRA, con base en Google Earth Inc.

De la tabla anterior se observan las longitudes que pertenecen a cada tipo de terreno en la ciudad de Pereira. Por lo anterior, se procede a expresar porcentualmente los valores:

Tabla 4. Porcentaje de Terreno según el tipo – Pereira

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	4.961	3.127	4.672	12.760
Proporción	38,9	24,5	36,6	100

Fuente: cálculos CRA.

A partir del análisis geográfico, para el ejemplo de Pereira se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 38,9% pertenece a terreno plano, 24,5% a terreno ondulado y 36,6% a terreno montañoso y escarpado.

Continuando con el análisis de las demás ciudades principales de Colombia, se obtiene:

Tabla 5. Cálculo de la Pendiente: Bogotá

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	4500	2546	2566	20	4500	0,00444444	0,44
	4500	5200	2566	2693	127	700	0,18142857	18,14
	5200	6080	2693	2571	-122	880	-0,1386363	13,86
	6080	9160	2571	2559	-12	3080	-0,0038961	0,39
	9160	11200	2559	2567	8	2040	0,00392157	0,39

⁹³ Fuente: Chocontá y Perdomo (1998). Ministerio de Transporte, INVIAS (2008).

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	11200	12400	2567	2638	71	1200	0,05916667	5,92
Perfil 2	0	10200	2546	2561	15	10200	0,00147059	0,15
	10200	11900	2561	2599	38	1700	0,02235294	2,24
	11900	12700	2599	2755	156	800	0,195	19,50
Perfil 3	0	5000	2545	2560	15	5000	0,003	0,30
	5000	10000	2560	2568	8	5000	0,0016	0,16
	10000	12500	2568	2595	27	2500	0,0108	1,08
	12500	14000	2595	2793	198	1500	0,132	13,20
Perfil 4	0	2000	2552	2566	14	2000	0,007	0,70
	2000	3500	2566	2809	243	1500	0,162	16,20
	3500	5000	2809	2725	-84	1500	-0,056	5,6
	5000	7500	2725	2571	-154	2500	-0,0616	6,16
	7500	10000	2571	2562	-9	2500	-0,0036	0,36
	10000	12500	2562	2679	117	2500	0,0468	4,68
	12500	15000	2679	2961	282	2500	0,1128	11,28

Fuente: cálculos CRA.

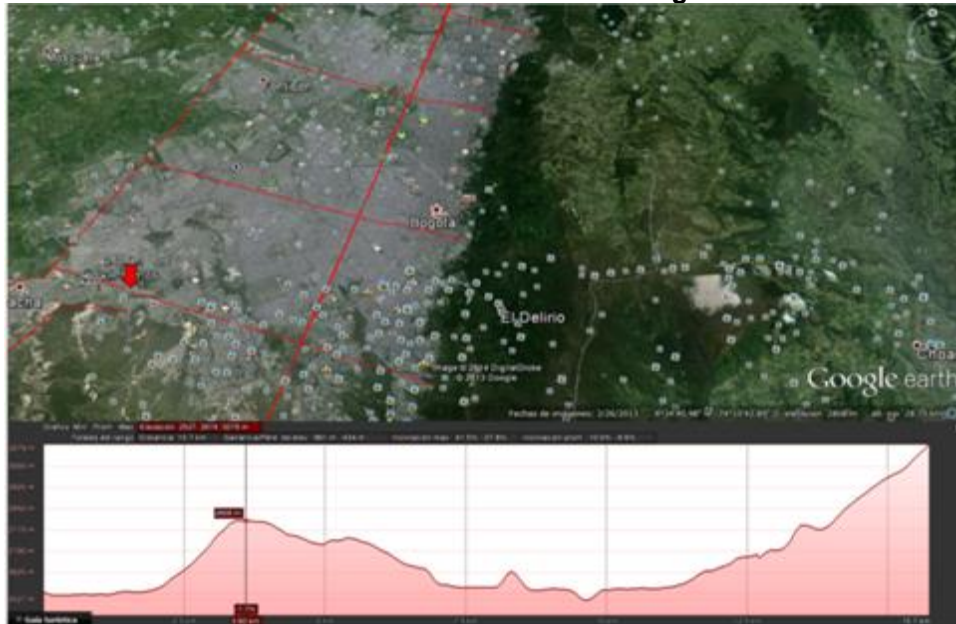
Tabla 6. Porcentaje de Terreno según el tipo – Bogotá

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	38.520	5.200	10.380	54.100
Proporción	71,2	9,6	19,2	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Bogotá se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 71,2% pertenece a terreno plano, 9,6% a terreno ondulado y 19,2% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 3. Perfil transversal de Bogotá



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 7. Cálculo de la Pendiente: Cali

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	500	1005	978	-27	500	-0,054	5,40
	500	1000	978	968	-10	500	-0,02	2,00
	1000	2000	968	959	-9	1000	-0,009	0,90
	2000	3500	959	956	-3	1500	-0,002	0,20
	3500	4500	956	952	-4	1000	-0,004	0,40
	4500	5160	952	951	-1	660	-0,0015151	0,15
Perfil 2	0	750	1039	990	-49	750	-0,0653333	6,53
	750	2250	990	974	-16	1500	-0,0106666	1,07
	2250	3375	974	964	-10	1125	-0,0088888	0,89
	3375	5250	964	954	-10	1875	-0,0053333	0,53
	2250	6900	954	950	-4	4650	-0,0008602	0,09
Perfil 3	0	540	1162	1029	-133	540	-0,2462963	24,63
	540	2500	1029	971	-58	1960	-0,0295918	2,96
	2500	4500	971	961	-10	2000	-0,005	0,50
	4500	6000	961	955	-6	1500	-0,004	0,40
	6000	8000	955	953	-2	2000	-0,001	0,10
Perfil 4	0	1200	1015	983	-32	1200	-0,0266666	2,67
	1200	1970	983	971	-12	770	-0,0155844	1,56
	1970	3000	971	964	-7	1030	-0,0067961	0,68
	3000	3830	964	960	-4	830	-0,0048192	0,48
	3830	4170	960	962	2	340	0,00588235	0,59

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	4170	4900	962	955	-7	730	-0,0095890	0,96
	4900	6750	955	952	-3	1850	-0,0016216	0,16

Fuente: cálculos CRA.

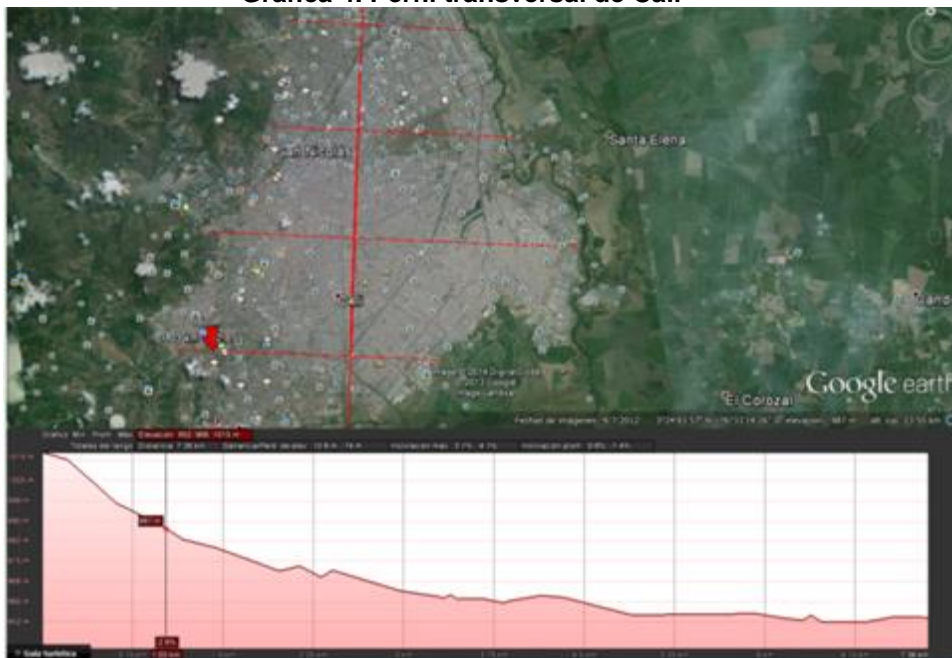
Tabla 8. Porcentaje de Terreno según el tipo – Cali

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	26.820	1.700	1.290	29.810
Proporción	90,0	5,7	4,3	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Cali se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 90% pertenece a terreno plano, 5,7% a terreno ondulado y 4,3% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 4. Perfil transversal de Cali



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 9. Cálculo de la Pendiente - Medellín

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	500	1860	1724	-136	500	-0,272	27,20
	500	1000	1724	1642	-82	500	-0,164	16,40
	1000	1500	1642	1601	-41	500	-0,082	8,20
	1500	2000	1601	1544	-57	500	-0,114	11,40
	2000	2500	1544	1479	-65	500	-0,13	13,00
	2500	2700	1479	1446	-33	200	-0,165	16,50
	2700	3000	1446	1462	16	300	0,0533333	5,33
	3000	3500	1462	1518	56	500	0,112	11,20

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	3500	4000	1518	1583	65	500	0,13	13,00
	4000	4500	1583	1681	98	500	0,196	19,60
	2500	5000	1479	1831	352	2500	0,1408	14,08
Perfil 2	0	750	1898	1868	-30	750	-0,04	4,00
	750	1500	1868	1665	-203	750	-0,2706666	27,07
	1500	2250	1665	1600	-65	750	-0,0866666	8,67
	2250	3750	1600	1495	-105	1500	-0,07	7,00
	3750	4830	1495	1453	-42	1080	-0,0388888	3,89
	4830	6000	1453	1493	40	1170	0,03418803	3,42
	6000	7500	1493	1682	189	1500	0,126	12,60
Perfil 3	0	1000	1661	1562	-99	1000	-0,099	9,90
	1000	2000	1562	1545	-17	1000	-0,017	1,70
	2000	3000	1545	1527	-18	1000	-0,018	1,80
	3000	5000	1527	1484	-43	2000	-0,0215	2,15
	5000	7200	1484	1483	-1	2200	-0,0004545	0,05
	7200	9000	1483	1486	3	1800	0,00166667	0,17
Perfil 4	0	750	1604	1583	-21	750	-0,028	2,80
	750	1500	1583	1541	-42	750	-0,056	5,60
	1500	2250	1541	1507	-34	750	-0,0453333	4,53
	2250	4500	1507	1499	-8	2250	-0,0035555	0,36
	4500	6000	1499	1619	120	1500	0,08	8,00
	6000	6750	1619	1684	65	750	0,08666667	8,67
	6750	7930	1684	1950	266	1180	0,22542373	22,54

Fuente: cálculos CRA.

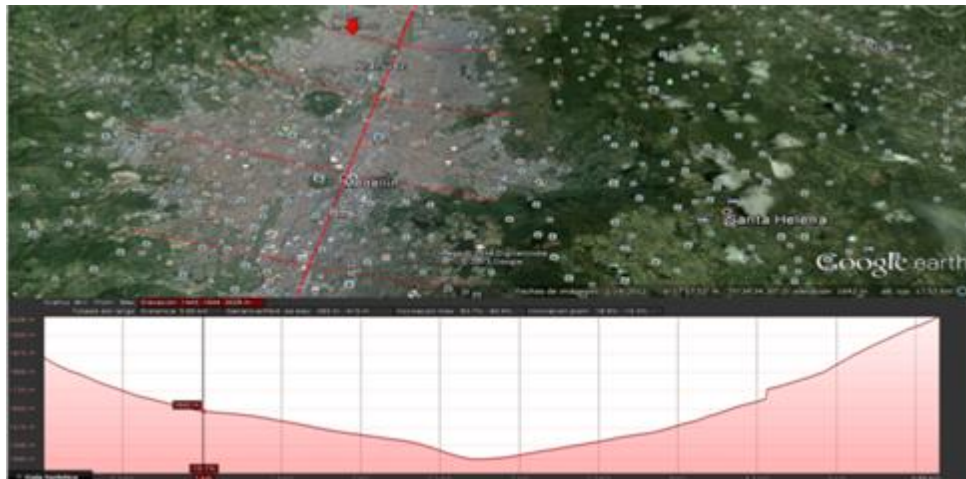
Tabla 10. Porcentaje de Terreno según el tipo – Medellín

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	9.200	4.800	17.430	31.430
Proporción	29,3	15,3	55,5	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Medellín se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 29,3% pertenece a terreno plano, 15,3% a terreno ondulado y 55,5% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 5. Perfil transversal de Medellín



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 11. Cálculo de la Pendiente: Barranquilla

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	500	140	128	-12	500	-0,024	2,40
	500	1000	128	109	-19	500	-0,038	3,80
	1000	1500	109	89	-20	500	-0,04	4,00
	1500	2000	89	74	-15	500	-0,03	3,00
	2000	2500	74	60	-14	500	-0,028	2,80
	2500	3000	60	59	-1	500	-0,002	0,20
	3000	3500	59	42	-17	500	-0,034	3,40
	3500	4000	42	27	-15	500	-0,03	3,00
	4000	4500	27	21	-6	500	-0,012	1,20
	4500	5000	21	9	-12	500	-0,024	2,40
Perfil 2	0	750	26	32	6	750	0,008	0,80
	750	1500	32	40	8	750	0,01066667	1,07
	1500	2650	40	53	13	1150	0,01130435	1,13
	2650	3120	53	99	46	470	0,09787234	9,79
	3120	4500	99	60	-39	1380	-0,0282608	2,83
	4500	6000	60	34	-26	1500	-0,01733333	1,73
	6000	7700	34	8	-26	1700	-0,0152941	1,53
Perfil 3	0	2250	40	54	14	2250	0,00622222	0,62
	2250	2700	54	72	18	450	0,04	4,00
	2700	3850	72	45	-27	1150	-0,0234782	2,35
	3850	5280	45	25	-20	1430	-0,0139860	1,40
	5280	6570	25	18	-7	1290	-0,0054263	0,54
	6570	7400	18	8	-10	830	-0,0120481	1,20
Perfil 4	0	2250	75	46	-29	2250	-0,0128888	1,29
	2250	4500	46	23	-23	2250	-0,0102222	1,02

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	4500	6640	23	5	-18	2140	-0,0084112	0,84

Fuente: cálculos CRA.

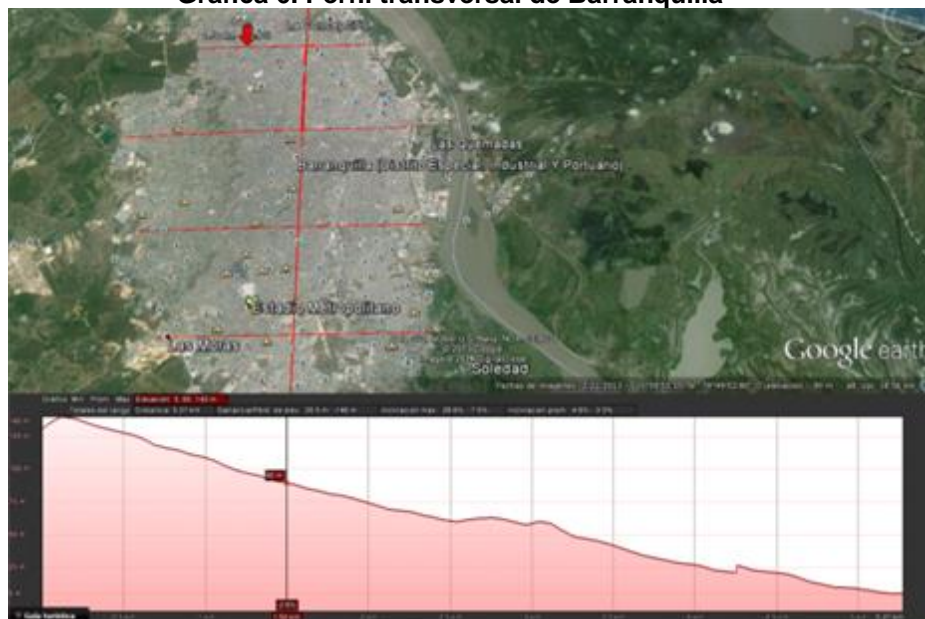
Tabla 12. Porcentaje de Terreno según el tipo – Barranquilla

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	20.690	2.500	3.550	26.740
Proporción	77,4	9,3	13,3	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Barranquilla se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 77,4% pertenece a terreno plano, 9,3% a terreno ondulado y 13,3% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 6. Perfil transversal de Barranquilla



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 13. Cálculo de la Pendiente: Manizales

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	800	2160	2181	21	800	0,02625	2,63
	800	1880	2181	2083	-98	1080	-0,0907407	9,07
	1880	2330	2083	1991	-92	450	-0,2044444	20,44
Perfil 2	0	500	2120	2063	-57	500	-0,114	11,40
	500	1000	2063	2005	-58	500	-0,116	11,60
	1000	1300	2005	1997	-8	300	-0,0266666	2,67
	1350	1610	1960	1904	-56	260	-0,2153846	21,54
Perfil 3	0	595	2059	2138	79	595	0,13277311	13,28
	595	1250	2138	2058	-80	655	-0,1221374	12,21
	1250	1860	2058	2043	-15	610	-0,0245901	2,46

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	1860	2820	2043	1872	-171	960	-0,178125	17,81
Perfil 4	0	750	2188	2149	-39	750	-0,052	5,20
	750	1050	2149	2169	20	300	0,0666666	6,67
	1050	1500	2169	2134	-35	450	-0,0777777	7,78
	1500	1690	2134	2143	9	190	0,04736842	4,74
	1690	1900	2143	2133	-10	210	-0,0476190	4,76
	1900	2220	2133	2171	38	320	0,11875	11,88
	2220	2930	2171	2105	-66	710	-0,0929577	9,30

Fuente: cálculos CRA.

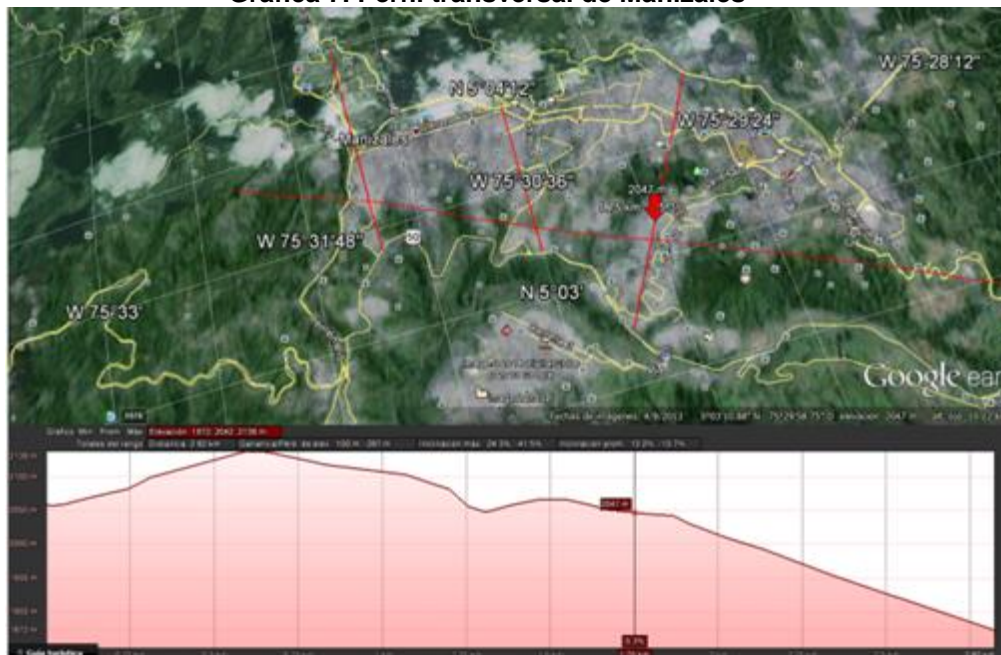
Tabla 14. Porcentaje de Terreno según el tipo – Manizales

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	1.710	1.150	6.780	9.640
Proporción	17,7	11,9	70,3	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Manizales se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 17,7% pertenece a terreno plano, 11,9% a terreno ondulado y 70,3% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 7. Perfil transversal de Manizales



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 15. Cálculo de la Pendiente: Pasto

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	1000	2671	2553	-118	1000	-0,118	11,80

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	1000	1700	2553	2510	-43	700	-0,0614285	6,14
	1700	2040	2510	2515	5	340	0,01470588	1,47
	2040	2400	2515	2498	-17	360	-0,0472222	4,72
	2400	3120	2498	2652	154	720	0,21388889	21,39
	3120	3500	2652	2614	-38	380	-0,1	10,00
Perfil 2	0	2500	2643	2523	-120	2500	-0,048	4,80
	2500	3000	2523	2573	50	500	0,1	10,00
	3000	3200	2573	2574	1	200	0,005	0,50
	3200	3900	2574	2668	94	700	0,13428571	13,43
Perfil 3	0	250	2614	2609	-5	250	-0,02	2,00
	250	500	2609	2582	-27	250	-0,108	10,80
	500	750	2582	2568	-14	250	-0,056	5,60
	750	1000	2568	2551	-17	250	-0,068	6,80
	1000	1900	2551	2541	-10	900	-0,01111111	1,11
	1900	2550	2541	2557	16	650	0,02461538	2,46
Perfil 4	0	500	2608	2596	-12	500	-0,024	2,40
	500	750	2596	2579	-17	250	-0,068	6,80
	750	1650	2579	2580	1	900	0,00111111	0,11
	1650	2170	2580	2632	52	520	0,1	10,00
	2170	2500	2632	2604	-28	330	-0,0848484	8,48
	2500	3000	2604	2613	9	500	0,018	1,80

Fuente: cálculos CRA.

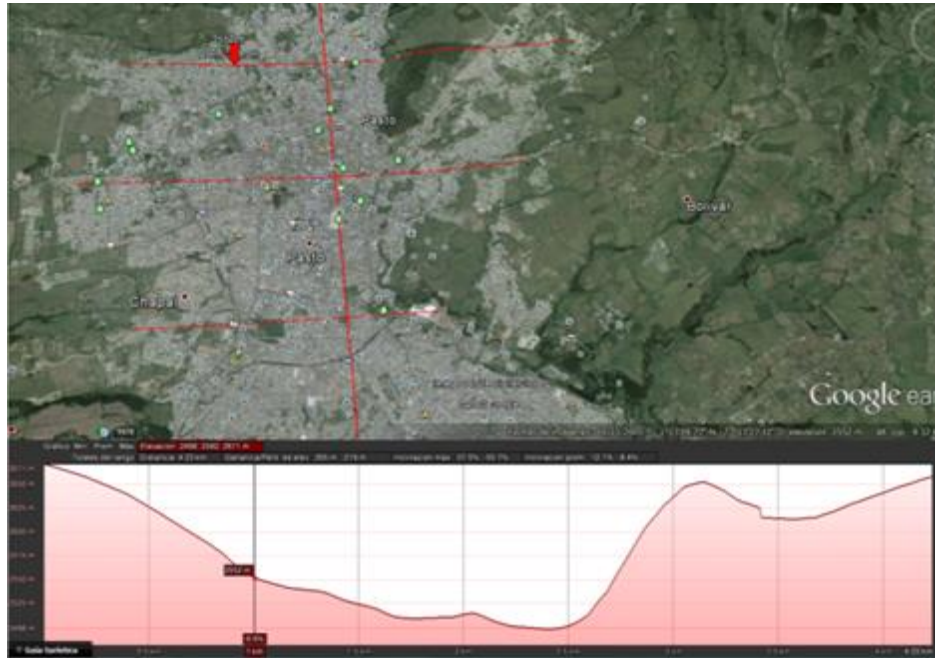
Tabla 16. Porcentaje de Terreno según el tipo – Pasto

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	4.240	3.110	5.600	12.950
Proporción	32,7	24,0	43,2	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Pasto se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 32,7% pertenece a terreno plano, 24% a terreno ondulado y 43,2% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 8. Perfil transversal de Pasto



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 17. Cálculo de la Pendiente: Cúcuta

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	275	274	272	-2	275	-0,0072727	0,73
	275	920	272	314	42	645	0,06511628	6,51
	920	1450	314	330	16	530	0,03018868	3,02
	1450	2150	330	304	-26	700	-0,0371428	3,71
	2150	3230	304	342	38	1080	0,0351851	3,52
	3230	3600	342	346	4	370	0,01081081	1,08
Perfil 2	0	480	319	292	-27	480	-0,05625	5,63
	480	1000	292	344	52	520	0,1	10,00
	1000	3000	344	326	-18	2000	-0,009	0,90
	3000	4500	326	290	-36	1500	-0,024	2,40
	4500	6000	290	279	-11	1500	-0,0073333	0,73
Perfil 3	0	2560	244	370	126	2560	0,04921875	4,92
	2560	3150	370	405	35	590	0,05932203	5,93
	3150	4100	405	310	-95	950	-0,1	10,00
	4100	7500	310	290	-20	3400	-0,0058823	0,59
	7500	8250	290	346	56	750	0,07466667	7,47
	8250	8900	346	307	-39	650	-0,06	6,00
Perfil 4	0	760	285	318	33	760	0,04342105	4,34
	760	1340	318	395	77	580	0,13275862	13,28
	1340	2000	395	324	-71	660	-0,1075757	10,76

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	2000	3230	324	351	27	1230	0,02195122	2,20
	3230	5700	351	315	-36	2470	-0,0145749	1,46
	5700	6930	315	402	87	1230	0,07073171	7,07
	6930	8300	402	355	-47	1370	-0,0343065	3,43

Fuente: cálculos CRA.

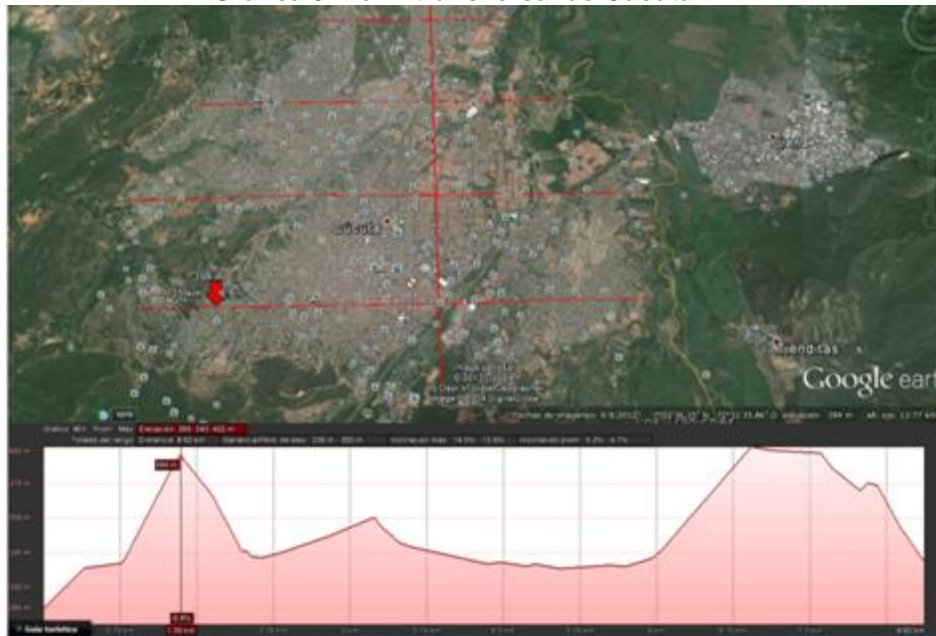
Tabla 17. Porcentaje de Terreno según el tipo – Cúcuta

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	12.745	8.070	5.985	26.800
Proporción	47,6	30,1	22,3	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Cúcuta se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 47,6% pertenece a terreno plano, 30,1% a terreno ondulado y 22,3% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 9. Perfil transversal de Cúcuta



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 18. Cálculo de la Pendiente: Ibagué

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	250	1127	1160	33	250	0,132	13,20
	250	750	1160	1190	30	500	0,06	6,00
	750	1500	1190	1231	41	750	0,05466667	5,47
	1500	2100	1231	1234	3	600	0,005	0,50
	2100	2620	1234	1230	-4	520	-0,0076923	0,77
Perfil 2	0	300	1163	1167	4	300	0,01333333	1,33
	300	470	1167	1160	-7	170	-0,0411764	4,12

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	470	980	1160	1177	17	510	0,03333333	3,33
	980	1480	1177	1148	-29	500	-0,058	5,80
	1480	1880	1148	1143	-5	400	-0,0125	1,25
	1880	2300	1143	1138	-5	420	-0,0119047	1,19
Perfil 3	0	500	1099	1080	-19	500	-0,038	3,80
	500	1120	1080	1075	-5	620	-0,0080645	0,81
	1120	1360	1075	1061	-14	240	-0,0583333	5,83
	1360	1790	1061	1073	12	430	0,02790698	2,79
	1790	2130	1073	1072	-1	340	-0,0029411	0,29
	2130	2500	1072	1053	-19	370	-0,0513513	5,14
	2500	3160	1053	1083	30	660	0,04545455	4,55
Perfil 4	0	250	1005	1008	3	250	0,012	1,20
	250	435	1008	1012	4	185	0,02162162	2,16
	435	750	1012	1001	-11	315	-0,0349206	3,49
	750	1090	1001	1016	15	340	0,04411765	4,41
	1090	1370	1016	1013	-3	280	-0,0107142	1,07
	1370	1400	1013	1020	7	30	0,23333333	23,33
	1400	1730	1020	1012	-8	330	-0,0242424	2,42

Fuente: cálculos CRA.

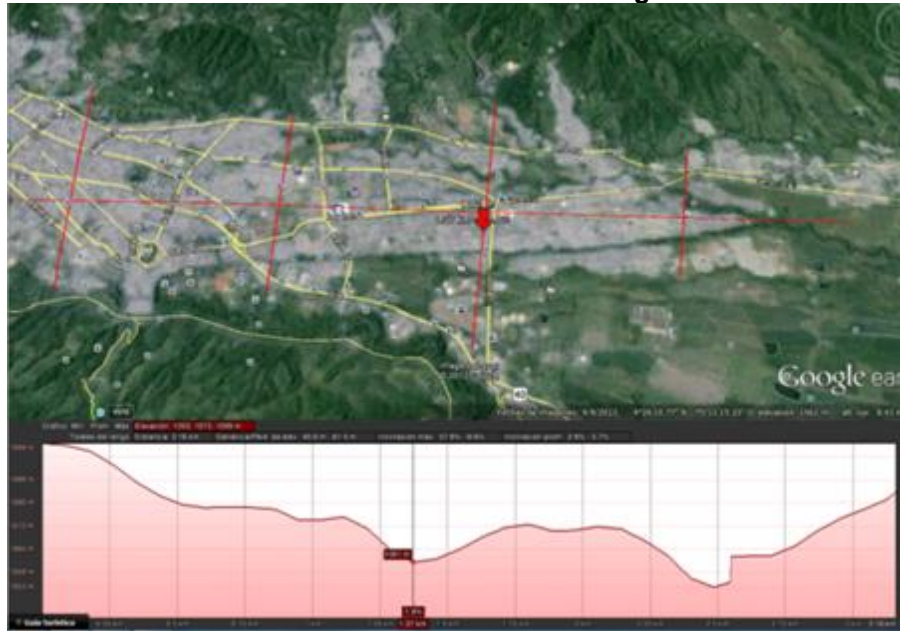
Tabla 19. Porcentaje de Terreno según el tipo – Ibagué

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	4.675	4.355	780	9.810
Proporción	47,7	44,4	8,0	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Ibagué se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 47,7% pertenece a terreno plano, 44,4% a terreno ondulado y 8,0% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 10. Perfil transversal de Ibagué



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 20. Cálculo de la Pendiente: Montería

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	1500	13	17	4	1500	0,00266667	0,27
	1500	1900	17	16	-1	400	-0,0025	0,25
	1900	2000	16	19	3	100	0,03	3,00
	2000	2250	19	15	-4	250	-0,016	1,60
	2250	2400	15	17	2	150	0,01333333	1,33
	2400	4190	17	17	0	1790	0	0,00
Perfil 2	0	1000	12	16	4	1000	0,004	0,40
	1000	2000	16	15	-1	1000	-0,001	0,10
	2000	3000	15	18	3	1000	0,003	0,30
	3000	3820	18	23	5	820	0,0060975	0,61
	3820	4000	23	18	-5	180	-0,0277777	2,78
	4000	4400	18	16	-2	400	-0,005	0,50
Perfil 3	0	625	17	20	3	625	0,0048	0,48
	625	850	20	17	-3	225	-0,0133333	1,33
	850	1100	17	21	4	250	0,016	1,60
	1100	3380	21	13	-8	2280	-0,0035087	0,35
	3380	3770	13	15	2	390	0,00512821	0,51
Perfil 4	0	135	18	19	1	135	0,00740741	0,74
	135	440	19	17	-2	305	-0,0065573	0,66
	440	900	17	14	-3	460	-0,0065217	0,65
	900	1000	14	11	-3	100	-0,03	3,00

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
	1000	1050	11	12	1	50	0,02	2,00

Fuente: cálculos CRA.

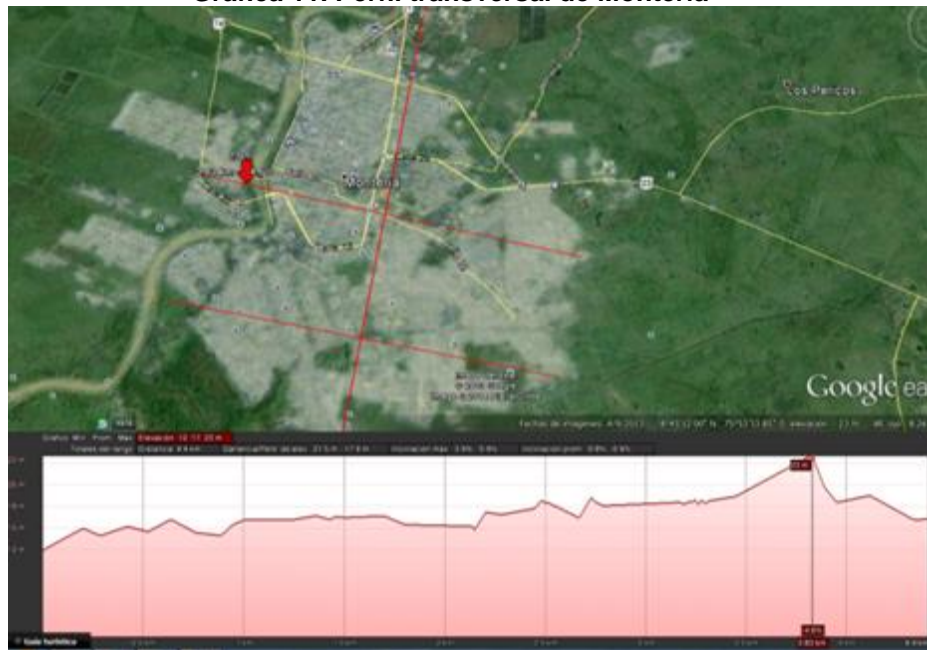
Tabla 21. Porcentaje de Terreno según el tipo – Montería

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	13210	200	0	13.410
Proporción	98,5	1,5	0,0	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Montería se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 98,5% pertenece a terreno plano 1,5% a terreno ondulado y 0,0% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 11. Perfil transversal de Montería



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 22. Cálculo de la Pendiente: Villavicencio

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 1	0	2007	679	503	-176	2007	-0,0876930	8,77
	2007	2100	503	521	18	93	0,19354839	19,35
	2100	2570	521	480	-41	470	-0,0872340	8,72
Perfil 2	0	1780	551	458	-93	1780	-0,0522471	5,22
	1780	3000	458	432	-26	1220	-0,0213114	2,13
	3000	3960	432	422	-10	960	-0,0104166	1,04
Perfil 3	0	1500	466	433	-33	1500	-0,022	2,20
	1500	2500	433	419	-14	1000	-0,014	1,40
	2500	3940	419	404	-15	1440	-0,0104166	1,04

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	m	%
Perfil 4	0	446	433	426	-7	446	-0,0156950	1,57
	446	1120	426	423	-3	674	-0,0044510	0,45
	1120	2250	423	413	-10	1130	-0,0088495	0,88
	2250	3290	413	405	-8	1040	-0,0076923	0,77
	3290	3620	405	407	2	330	0,00606061	0,61
	3620	3900	407	403	-4	280	-0,0142857	1,43

Fuente: cálculos CRA.

Tabla 23. Porcentaje de Terreno según el tipo – Villavicencio

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	10.020	1.780	2.570	14.370
Proporción	69,7	12,4	17,9	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Villavicencio se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 69,7% pertenece a terreno plano 12,4% a terreno ondulado y 17,9% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 12. Perfil transversal de Villavicencio



Fuente: Google Earth Inc.

Tabla 24. Cálculo de la Pendiente: Cartagena

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	M	%
Perfil 1	0	1480	1	11	10	1480	0,00675676	0,68

Perfil	X1	X2	Y1	Y2	Y2-Y1	X2-X1	M	%
	1480	3670	11	1	-10	2190	-0,0045662	0,46
	3670	4000	1	11	10	330	0,03030303	3,03
	4000	5340	11	23	12	1340	0,00895522	0,90
	5340	7000	23	4	-19	1660	-0,0114457	1,14
	7000	9000	4	0	-4	2000	-0,002	0,20
	9000	9300	0	4	4	300	0,01333333	1,33
	9300	12500	4	1	-3	3200	-0,0009375	0,09
Perfil 2	0	145	3	7	4	145	0,02758621	2,76
	145	1550	7	6	-1	1405	-0,00071117	0,07
	1550	2620	6	11	5	1070	0,0046729	0,47
	2620	2870	11	6	-5	250	-0,02	2,00
	2870	3830	6	4	-2	960	-0,0020833	0,21
Perfil 3	0	546	5	11	6	546	0,01098901	1,10
	546	1310	11	10	-1	764	-0,0013089	0,13
	1310	1740	10	20	10	430	0,02325581	2,33
	1740	2380	20	14	-6	640	-0,009375	0,94
	2380	2920	14	26	12	540	0,02222222	2,22
	2920	3950	26	9	-17	1030	-0,0165048	1,65
	3950	4640	9	15	6	690	0,00869565	0,87
	4640	5700	15	5	-10	1060	-0,0094339	0,94
5700	8100	5	2	-3	2400	-0,00125	0,13	
Perfil 4	0	330	10	14	4	330	0,01212121	1,21
	330	1200	14	6	-8	870	-0,0091954	0,92
	1200	1700	6	10	4	500	0,008	0,80
	1700	2100	10	4	-6	400	-0,015	1,50
	2100	4820	4	30	26	2720	0,00955882	0,96
	4820	4940	30	42	12	120	0,1	10,00
	4940	5650	42	23	-19	710	-0,0267605	2,68
	5650	8520	23	13	-10	2870	-0,0034843	0,35

Fuente: cálculos CRA.

Tabla 25. Porcentaje de Terreno según el tipo - Cartagena

Cuadro Resumen	Total Plano	Total Ondulado	Total Montañoso	Total longitud
Metros	32.500	330	120	32.950
Proporción	98,6	1,0	0,4	100

Fuente: cálculos CRA.

En conclusión, Cartagena se puede distribuir de la siguiente manera: un porcentaje de 98,6% pertenece a terreno plano, 1,0% a terreno ondulado y 0,4% a terreno montañoso y escarpado.

Gráfica 13. Perfil transversal de Cartagena



Fuente: Google Earth Inc.

Resultados

Agrupando la información calculada en las doce ciudades principales a nivel nacional y promediando los resultados, se obtiene:

Tabla 26. Resultados perfil doce ciudades

Ciudad	Terreno plano (%)	Terreno ondulado (%)	Terreno montañoso (%)
Bogotá	71,2	9,6	19,2
Cali	90,0	5,7	4,3
Medellín	29,3	15,3	55,5
Barranquilla	77,4	9,3	13,3
Manizales	17,7	11,9	70,3
Pasto	32,7	24,0	43,2
Pereira	38,9	24,5	36,6
Cúcuta	47,6	30,1	22,3
Ibagué	47,7	44,4	8,0
Montería	98,5	1,5	0,0
Villavicencio	69,7	12,4	17,9
Cartagena	98,6	1,0	0,4

Fuente: Cálculos CRA.

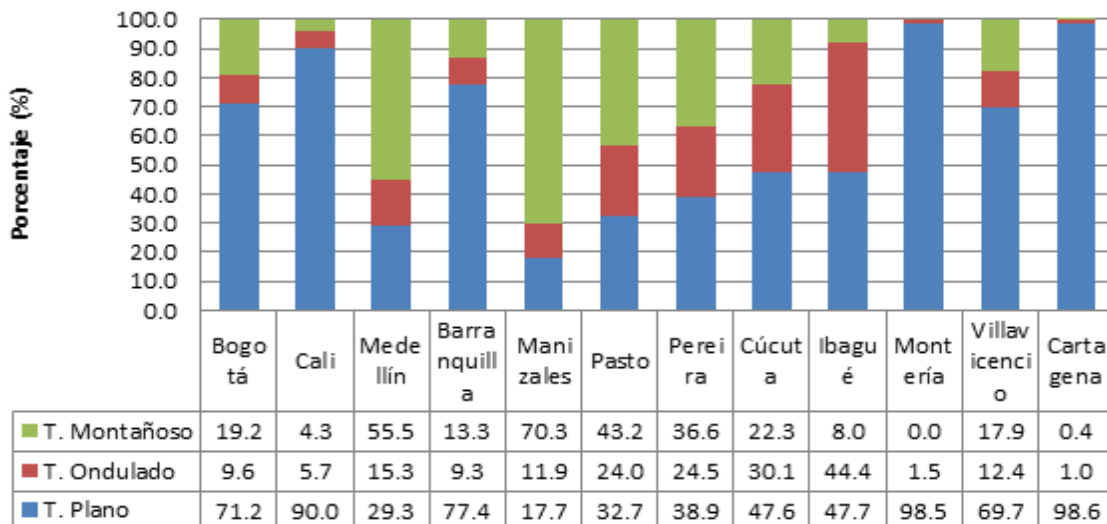
Tabla 27. Resultados en metros

Ciudad	Terreno plano (m)	Terreno ondulado (m)	Terreno montañoso (m)	Total (m)
Bogotá	38.520	5.200	10.380	54.100
Cali	26.820	1.700	1.290	29.810
Medellín	9.200	4.800	17.430	31.430
Barranquilla	20.690	2.500	3.550	26.740
Manizales	1.710	1.150	6.780	9.640
Pasto	4.240	3.110	5.600	12.950
Pereira	4.961	3.127	4.672	12.760
Cúcuta	12.745	8.070	5.985	26.800
Ibagué	4.675	4.355	780	9.810
Montería	13.210	200	0	13.410
Villavicencio	10.020	1.780	2.570	14.370
Cartagena	32.500	330	120	32.950
Total	179.291	36.322	59.157	274.770
Promedio ciudades	65%	13%	22%	100%

Fuente: cálculos CRA

Las Tabla 26 y 27 muestran el resumen de los resultados obtenidos mediante el cálculo de las pendientes relacionando las longitudes recorridas contra las elevaciones del terreno. Una vez analizados los datos encontrados, se calculó el valor porcentual para cada ciudad del país y se concluye, que el 65% corresponde a terreno plano, 13% a terreno ondulado y 22% a terreno montañoso.

Gráfica 14. Porcentaje por tipo de terreno



Fuente: cálculos CRA.

ANEXO 7 ESTIMACIÓN DE LA MALLA VIAL Y TRAMO URBANO

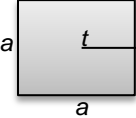
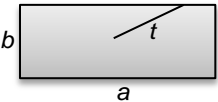
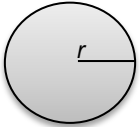
A partir de la información que reporta la Federación Nacional de Municipios con relación a los kilómetros cuadrados de área urbana por municipio, se realizó la estimación de la malla vial de los municipios clasificados en el primer segmento y los 20 más grandes del segundo segmento, según la segmentación utilizada en el presente Marco Tarifario para el Servicio Público de Aseo. El ejercicio de estimación se efectuó siguiendo los siguientes pasos:

- i) Se divide el área urbana del municipio por el área promedio de una manzana equivalente a 0,0064 km². Para el cálculo de este último dato se asume que una manzana es cuadrada y sus dimensiones son 80 metros por cada lado.
- ii) Con el paso anterior se obtiene un valor aproximado del número de manzanas en el área urbana del municipio y este número se multiplica por el perímetro de una manzana (0,32 km²) para así hallar el valor estimado de la malla vial.
- iii) Los resultados de la estimación fueron comparados con la información de malla vial disponible para las principales ciudades del país y se encontró una correlación superior al 90%.

Estimación de tramo urbano

Nuevamente usando como información primaria los kilómetros cuadrados de área urbana por municipio informados por la Federación Nacional de Municipios, se calcula el tramo urbano recorrido desde el centroide del municipio hasta el sitio de disposición final. Para este análisis se consideró como el principal supuesto que el centroide del área de prestación del servicio se ubica en el centro del área urbana del municipio. Partiendo de este supuesto, la fórmula para calcular el tramo urbano se determinó por tres métodos asociados a la figura geométrica a la que se asemeja el área del municipio. La tabla a continuación resume los cálculos realizados, teniendo en cuenta que el único dato disponible es el del área urbana municipal.

Tabla 1. Cálculo de Tramo Urbano dependiendo de Figura

Figura Geométrica	Área	Cálculo de Tramo Urbano
<p>Cuadrado</p> 	$A = a \times a = a^2$	<p>Es la mitad de a:</p> $T_{c-df} = \frac{\sqrt[2]{A}}{2}$
<p>Rectángulo</p> 	$A = b \times a$	<p>Se calcula la diagonal y se multiplica por ¾.</p> $T_{c-df} = \sqrt{\frac{A}{2}} \times \frac{3}{4}$
<p>Círculo</p> 	$A = \pi \times r^2$	<p>Se despeja el radio:</p> $T_{c-df} = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

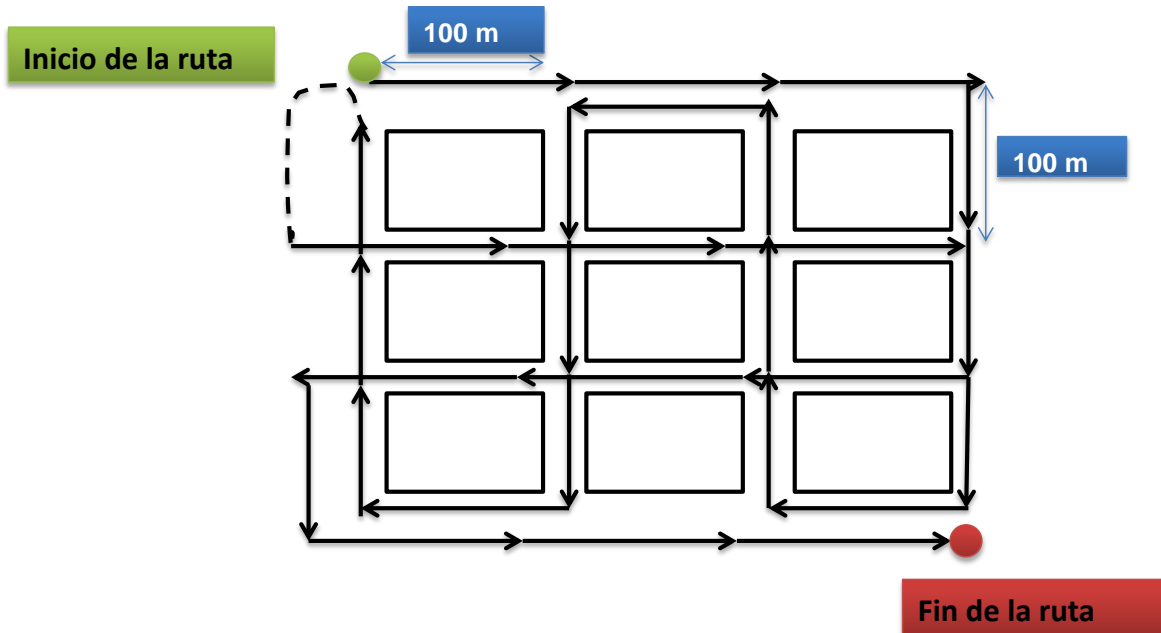
Fuente: Elaboración CRA.

Finalmente, el método seleccionado para la estimación de la distancia de tramo urbano del centroide al sitio de disposición final de cada municipio, es el correspondiente a la figura rectangular que en términos relativos es el promedio del valor calculado cuando el área del municipio se asume como un cuadrado (valor mínimo) y cuando se asume como un círculo (valor máximo).

ANEXO 8 EJERCICIOS DE RENDIMIENTOS DE VEHÍCULOS EN LA RECOLECCIÓN

A continuación se presentarán 3 ejercicios con distinta composición de manzanas para analizar el porcentaje de recorridos improductivos que se realizan por manzana.

EJERCICIO No. 1



Fuente: CRA.

Criterios de cálculo:

- Para efectos del ejercicio se tendrán en cuenta que cada lado de manzana o cuadra tienen una longitud de 100m.
- No se tendrá en cuenta el sentido de las calles, se supondrá que la dirección asignada funciona para efectos de prestación del servicio.
- Para la suma de longitudes sólo se tendrá en cuenta la longitud de la cuadra sin incluir la longitud del giro en las esquinas.
- Se deberá trazar el recorrido pasando por todas las calles del ejemplo indicado.

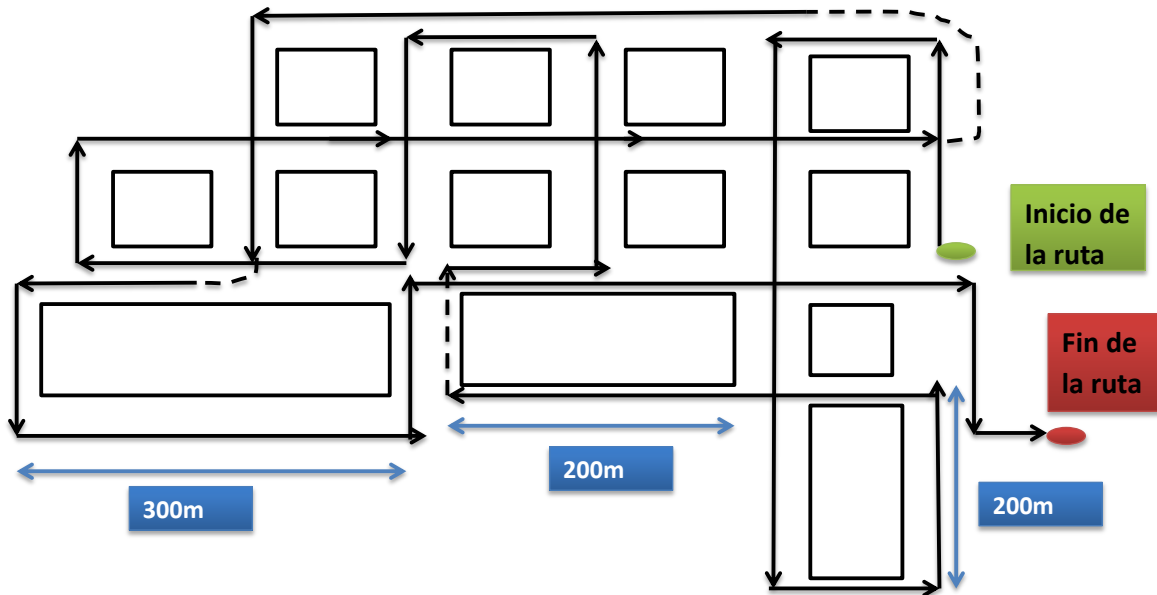
Resultados:

Al medir la longitud total de las calles, sin tener en cuenta el recorrido de recolección, obtenemos una longitud de: 2400 m.

Luego, al trazar el recorrido de recolección sobre las calles, obtenemos una longitud de: 3000 m.

Finalmente, podemos observar que el recorrido se aumentó en 600m lo que indica un aumento en el 20% del recorrido con relación a la longitud total de la muestra sin pasar más de una vez por la misma cuadra.

EJERCICIO No. 2



Fuente: CRA

Criterios de cálculo:

- Para efectos del ejercicio se tendrán en cuenta que cada lado de manzana o cuadra tienen una longitud de 100m. Para los casos en que la cuadra sea mayor se indicará en el ejemplo.
- No se tendrá en cuenta el sentido de las calles, se supondrá que la dirección asignada funciona para efectos de prestación del servicio.
- Para la suma de longitudes sólo se tendrá en cuenta la longitud de la cuadra sin incluir la longitud del giro en las esquinas.
- Se deberá trazar el recorrido pasando por todas las calles del ejemplo indicado.

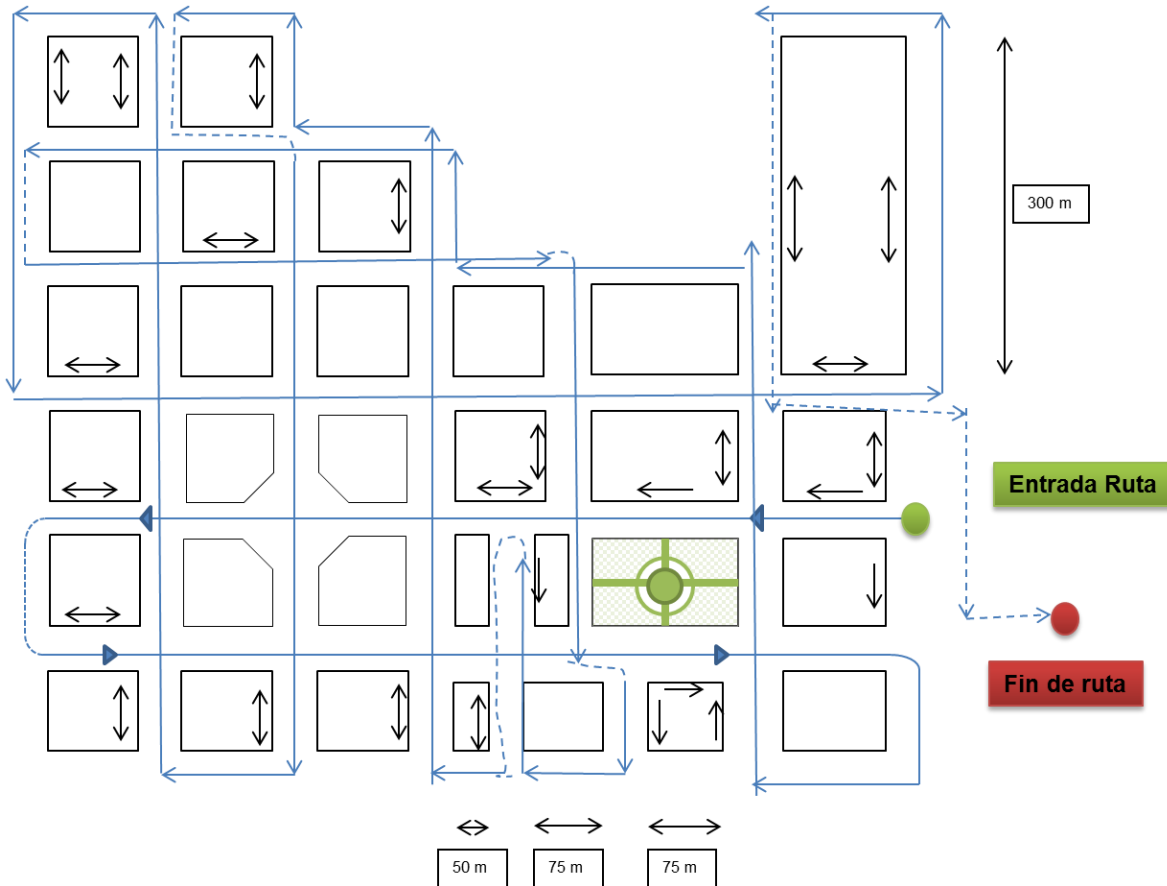
Resultados:

Al medir la longitud total de las calles, sin tener en cuenta el recorrido de recolección, obtenemos una longitud de: 4100 m.

Luego, al trazar el recorrido de recolección sobre las calles, obtenemos una longitud de: 4700 m.

Finalmente, podemos observar que el recorrido se aumentó en 600m (o 6 cuadras) lo que indica un aumento en el 13% del recorrido con relación a la longitud total de la muestra sin pasar más de una vez por la misma cuadra.

EJERCICIO No. 3



Fuente: CRA.

Criterios de cálculo:

- Para efectos del ejercicio se tendrán en cuenta que cada lado de manzana o cuadra tienen una longitud de 100m. Para los casos en que la cuadra sea mayor o menor a esta medida se indicará en el ejemplo.
- No se tendrá en cuenta el sentido de las calles, se supondrá que la dirección asignada funciona para efectos de prestación del servicio.
- Para la suma de longitudes sólo se tendrá en cuenta la longitud de la cuadra sin incluir la longitud del giro en las esquinas.
- Se deberá trazar el recorrido pasando por todas las calles del ejemplo indicado.
- La basura en los lugares marcados con doble línea será recogida en otras rutas.

Resultados:

Al medir la longitud total de las calles por las que debe pasar el camión recolector, pasando una (1) sola vez por cada cuadra, obtenemos una longitud de: 6600 m.

Luego, al trazar el recorrido de recolección sobre las calles, obtenemos una longitud de: 8200 m.

Finalmente, se puede observar que el recorrido se aumentó en 1600 metros lo que indica un aumento en el 19,5% del recorrido con relación a la longitud total de las calles por las que debe pasar el camión recolector, sin pasar más de una vez por la misma cuadra.

1. Tabla resumen de los ejercicios

	Mts del recorrido	Mts improductivos del recorrido
Ejercicio 1	3.000	600
Ejercicio 2	4.700	600
Ejercicio 3	8.200	1.600
Total	15.900	2.800
Porcentaje Total Mts Improductivos/ Total recorrido		17,6%

CONCLUSIONES

Al analizar los resultados de los tres ejercicios propuestos con diferentes composiciones de manzanas que recorren los vehículos recolectores de residuos, se obtiene que en promedio el recorrido improductivo del recorrido corresponde al 17,6% del total del recorrido, razón por la cual se toma el 20% como un aproximado para incluir adicionalmente en los costos variables de la flota del servicio público de aseo.

ANEXO 9 FORMULARIOS FACTOR DE PRODUCTIVIDAD

Instructivo Formulario factor de productividad para el servicio público de aseo

Se establecen dos formularios para calcular el factor de productividad del servicio público de aseo. El primero corresponde al componente de costos de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización. El segundo formulario está asociado a los costos de la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.

1. Periodicidad

Los formularios están contruidos para tomar información trimestral de los costos y cantidades de los insumos de los componentes en mención, es decir, si se solicita información del primer trimestre del año ésta correspondería a los meses de enero, febrero y marzo del año en curso. La empresa prestadora tiene un plazo de un mes para diligenciar los formularios, el cual corresponde al mes siguiente de vencido el trimestre, en el ejemplo correspondería al mes de abril.

A continuación se presenta un cuadro síntesis de los trimestres del año y el mes en los cuales los prestadores deben diligenciar los formularios.

Tabla 1. Periodicidad para diligenciar el formulario

Trimestre	Información solicitada (meses)	Mes para diligenciar el formulario
I	Enero, febrero y marzo	Abril
II	Abril, mayo y junio	Julio
III	Julio, agosto y septiembre	Octubre
IV	Octubre Noviembre y Diciembre	Enero

Fuente: Elaboración CRA

Es importante anotar que existen variables que por sus características se pregunta con una periodicidad diferente (cuatrimestral, semestral, anual), ejemplo el costo de la revisión técnico mecánica de los vehículos automotores. Así mismo, después de los dos primeros años de la entrada en vigencia de la resolución, la periodicidad para diligenciar el formulario pasa a ser semestral.

2. Formulario No. 1 Componentes costos de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y costo de comercialización

Este formulario está compuesto por tres secciones. La primera de ellas corresponde a información general de la empresa prestadora. La segunda sección se pregunta sobre las cantidades de productos del servicio de aseo en esta actividad. Finalmente, la tercera sección se pregunta sobre los valores o costos de los insumos.

a. Primera sección: I. Información General

Esta sección está integrada por 7 preguntas, las cuales son:

Tabla 2. Sección I del formulario No. 1

No	Pregunta/ Descripción	
1	Razón Social	Nombre legal de una empresa o sociedad comercial.
2	NIT.	Número de Identificación Tributaria que asigna la DIAN.
3	Departamento y municipio	Departamento y municipio(s) donde opera la empresa prestadora de aseo.
4	No. de Suscriptores	Número de suscriptores totales de la empresa los cuales corresponden al promedio simple de los suscriptores del trimestre
5	Nombre(s) Funcionarios	Nombre(s) de los funcionarios que diligencien el formulario. Diligenciar este campo en mayúsculas

No	Pregunta/ Descripción	
6	Teléfono(s)	Teléfonos directos de las personas encargadas de diligenciar la información. Incluir el indicativo del municipio. Tener en cuenta que el número celular es de 10 dígitos y el número fijo sin indicativo es de 7 dígitos.
7	Correo Electrónico	Correo electrónico de las personas encargadas de diligenciar la información.

Fuente: Elaboración CRA.

b. Segunda sección. II Cantidades de Productos

Esta sección está integrada por 5 preguntas relacionadas con las cantidades de productos de las actividades de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS.

Tabla 3. Sección II del formulario No. 1

No	Pregunta/ Descripción	
8	Toneladas promedio recolectadas	Toneladas/mes promedio recolectadas del semestre que corresponda
9	Número promedio de árboles podados	Número promedio de árboles podados en el trimestre (3 meses) por la empresa prestadora en el área de prestación del servicio
10	Metros cuadrados (m ²) de césped cortado	Metros cuadrados promedio de césped cortados por la empresa prestadora en el trimestre (3 meses).
11	Metros cuadrados (m ²) de áreas públicas lavadas	Metros cuadrados promedio de áreas públicas lavadas por la empresa prestadora, en el trimestre (3 meses).
12	Metros cuadrados (m ²) de limpieza de playas	Metros cuadrados promedio de limpieza de playas por la empresa prestadora, en el trimestre (3 meses).

Fuente: Elaboración CRA.

c. Tercera sección. III Costos y cantidades de insumos

Esta sección está integrada por 8 preguntas relacionadas con los costos y cantidades de insumos en las actividades de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS.

Tabla 4. Sección III del formulario No. 1

No	Pregunta/ Descripción
13	Costos por salarios de trabajadores en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización
	<p>Descripción</p> <p>Se pregunta por el costo promedio trimestral de salarios de trabajadores de cada cargo para lo cual es necesario incluir las prestaciones sociales (Salud, pensión, ARL, vacaciones, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cantidad promedio en el trimestre de trabajadores en todas las actividades que realiza la empresa. ▪ Horas/hombre mes promedio en el trimestre de trabajadores en todas las actividades que realice la empresa ▪ En caso de no tener alguno de los rubros lo deberá llenar como NA (NO APLICA). ▪ En caso de que una persona realice más de una actividad, se deberá asignar el total a la actividad principal de la persona ▪ El promedio que se solicita calcular corresponde a un promedio aritmético
14	Costo total ANUAL de dotación de trabajadores
	<p>Es el costo que incurre la empresa prestadora por concepto de dotación a sus trabajadores de las diferentes actividades del servicio de aseo, la cual se otorga dos veces al año. Se debe incluir el costo anual de esta dotación.</p> <p>Incluye: Uniforme, botas punta de acero, guantes, gafas de seguridad, mascarillas, etc.</p>
15	Costo promedio de consumos para la operación de capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS
	<p>En esta pregunta se solicita el promedio aritmético del trimestre de los consumos de los diferentes insumos en todas las actividades que realiza la empresa. Estos consumos son: ACPM, gasolina lubricantes, filtros, mantenimiento, lavado y engrase, llantas e imprevisto.</p> <p>Es importante tener en cuenta la unidad de los insumos,</p> <p>En el caso de llantas el consumo se refiere a la compra de estas durante el trimestre.</p>

16	Costos fijos del capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS
	En esta pregunta se solicita el promedio aritmético del trimestre de los costos fijos que incurre la empresa por concepto de estacionamiento, impuestos, comunicaciones (plan móvil de datos y voz y tecnología de todos los vehículos que se utilicen en la prestación del servicio. El costo de la revisión técnico mecánica es anual.
17	Vida útil y cantidad de capital
	En este campo se deberá diligenciar la vida útil en años de cada uno de los equipos. Para el rubro de equipos menores se debe diligenciar únicamente la cantidad. En caso de no tener alguno de los equipos lo deberá llenar como NA (NO APLICA).
18	Costo de gastos administrativos en cada una de las actividades
	Para la depreciación utilice el método lineal. Recuerde que el valor de la depreciación y de los arrendamientos corresponde a un promedio aritmético del trimestre.
19	Cantidad de equipos y software en la actividad de comercialización
	Recuerde que el software corresponde a los programas que utiliza en su empresa como son los paquetes de Office, contables, entre otros. Y los equipos hacen referencia a los computadores de escritorio o portátiles.
20	Total de metros cuadrados (m²) inmuebles de uso administrativo
	En este campo ingrese los valores correspondientes a m ² de las instalaciones de uso administrativo como oficinas, puntos de atención al usuario, y cualquier otro inmueble que tenga uso únicamente administrativo.

Fuente: Elaboración CRA.

d. *Ejemplo formulario No.1*

A continuación presentamos un ejemplo de cómo diligenciar el formulario correctamente utilizando una empresa prestadora ficticia.

Tabla 5. Ejemplo formulario No. 1

FORMULARIO No 1. FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARA EL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ASEO COMPONENTES COSTOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE, BARRIDO Y LIMPIEZA, CLUS Y COSTO DE COMERCIALIZACIÓN				
NOTA: La información diligenciada debe corresponder al promedio del trimestre.				
PERIODO.		Trimestre: Primer Trimestre		Año: 2014
I. INFORMACIÓN GENERAL				
1	Razón Social	Empresa de Aseo CRA E.S	2. N.I.T	800.198.456-1
3	Departamento	Antioquia	Municipio	Medellín
4	No. de Suscriptores	55,000 suscriptores		
5	Nombre(s) Funcionarios	MARIA QUINTERO	CAMILA GARZÓN	
6	Teléfono(s)	(4) 313-3523	320 211-2034	
7	Correo Electrónico	mquintero@aseo.com	cgarzon@aseo.com	
II. CANTIDADES DE PRODUCTOS				
8	Toneladas/mes promedio recolectadas del semestre que corresponda			18.000.000
9	Número de árboles podados			2.000 árboles
10	Metros cuadrados (m ²) totales de césped cortados			1.200 m ²
11	Metros cuadrados (m ²) totales de áreas públicas lavadas			500 m ²
12	Metros cuadrados (m ²) totales de limpieza de playas			NA
III. VALORES ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE Y BARRIDO Y LIMPIEZA				
13	Costos PROMEDIO por salarios de trabajadores en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza, CLUS y comercialización (incluir costo de prestaciones sociales)			
	Rubro	Costo promedio trimestre	No. de trabajadores promedio	Horas/Hombre
13.1	Conductores	\$5.500.000	4	96
13.2	Supervisores	\$ 5.200.000	2	96
13.3	Operarios de recolección	\$ 14.400.000	8	96

FORMULARIO No 1. FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARA EL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ASEO				
COMPONENTES COSTOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE, BARRIDO Y LIMPIEZA, CLUS Y COSTO DE COMERCIALIZACIÓN				
NOTA: La información diligenciada debe corresponder al promedio del trimestre.				
13.4	Operario de barrido	\$ 4.000.000	3	96
13.5	Personal de Mantenimiento	\$ 5.250.000	2	96
13.6	Personal Administrativo	\$ 9.000.000	3	96
13.7	Personal Estaciones de Transferencia	NA	NA	NA
13.8	Personal de poda de árboles, lavado de playas, corte de césped	\$ 3.500.000	2	48
13.9	Personal de la actividad de comercialización	\$	4	96
14	Costo total ANUAL de dotación de trabajadores	\$450.000		
15	Costo PROMEDIO de consumos para la operación de capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS			
	Rubro	Costo promedio trimestre	Cantidad promedio	Unidad
15.1	ACPM	\$ 25.000.000	3.125.000	Galones
15.2	Gasolina	\$ 1.200.000	150	Galones
15.3	Consumo de lubricantes	\$ 3.000.000	300	Galones
15.4	Consumo de filtros	\$ 1.000.000	3	Número
15.5	Mantenimiento y reparaciones	\$ 1.500.000	NA	NA
15.6	Lavado y engrase	\$ 1.000.000	NA	NA
15.7	Consumo de llantas (compra)	\$ 1.000.000	2	Número
15.8	Imprevistos	\$ 600.000	NA	NA
16	Costos fijos del capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS			
	Rubro	Costo promedio		
16.1	Estacionamientos	\$ 500.000		
16.2	Impuestos	\$ 200.000		
16.3	Comunicaciones (Plan Móvil de datos y voz)	\$ 300.000		
16.4	Costos en Tecnología	\$ 1.000.000		
16.5	Revisión Técnico Mecánica (COSTO ANUAL)	\$3.500.000		
17	Vida útil y cantidad de capital utilizado en recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS			
	Equipos	Vida útil (años)	Cantidad promedio	Unidad
17.1	Volquetas	5	2	Número
17.2	Camiones	5	2	Número
17.3	Motocicletas	5	1	Número
17.4	Compactadores	5	8	Número
17.5	Barredora Mecánica	5	1	Número
17.6	Equipos menores (escobas y herramientas)	n.a.	30	Número
17.7	Vehículos asignados a administración	5	2	Número
17.8	Vehículos para el transporte de operarios	5	2	Número
17.9	Tractocamiones	5	2	Número
17.10	Báscula de Estación de Transferencia	n.a.	n.a.	Número
17.11	Hidrolavadora	3	1	Número
17.12	Carro tanque	5	1	Número
18	Costo ANUAL de gastos administrativos en cada una de las actividades			
	Rubro	Costo total trimestre		
18.1	Costo de inmuebles para administración por depreciación o arrendamiento	NA	\$ 4.000.00	
18.2	Otros gastos administrativos(computadores y software, servicios públicos, contribuciones, comunicaciones)	\$ 10.000.000		
19	Cantidad de equipos y software en la actividad de comercialización			
19.1	Equipos: 8	Software: 20		
20	Total de metros cuadrados (m ²) inmuebles de uso administrativo	300 m ²		
21	Observaciones			

FORMULARIO No 1. FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARA EL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ASEO	
COMPONENTES COSTOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE, BARRIDO Y LIMPIEZA, CLUS Y COSTO DE COMERCIALIZACIÓN	
NOTA: La información diligenciada debe corresponder al promedio del trimestre.	

Fuente: Elaboración CRA.

3. Formulario No. 2 Componentes costos de disposición final y tratamiento de lixiviados

Este formulario está compuesto por tres secciones al igual que el primer formulario. La primera de ellas corresponde a información general de la empresa prestadora. La segunda sección se pregunta sobre las cantidades de productos del servicio de aseo en esta actividad. Finalmente, la tercera sección se pregunta sobre los valores o costos de los insumos.

a. Primera sección: I. Información General

Esta sección está integrada por 7 preguntas, las cuales corresponden a los datos de la empresa prestadoras y son las mismas preguntas de la sección primera del Formulario No1 recolección y transporte, el cual se explicó en el numeral anterior.

b. Segunda sección. II Cantidades de Productos

Esta sección está integrada por 2 preguntas relacionadas con las cantidades de productos de las actividades de disposición final y tratamiento de lixiviados.

Tabla 6. Sección II del formulario No. 2

No.	Pregunta/ Descripción
7	Toneladas promedio dispuestas.
	Promedio aritmético de las toneladas de residuos dispuesta del semestre que corresponda.
8	Metros cúbicos (m³) promedio de lixiviados tratados
	Promedio aritmético de los m ³ del volumen de lixiviados tratados en los últimos seis (6) meses.

Fuente: Elaboración CRA

c. Tercera sección. III Costos y cantidades de insumos

Esta sección está integrada por 10 preguntas relacionadas con los costos y cantidades de insumos de las actividades de disposición final y tratamiento de lixiviados.

Tabla 7. Sección III del formulario No. 2

No.	Pregunta/ Descripción
9	Costos por salarios de trabajadores en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
	Descripción
	Se pregunta por el costo promedio trimestral de salarios de trabajadores de cada cargo para lo cual es necesario incluir las prestaciones sociales (Salud, pensión, ARL, vacaciones, etc.)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cantidad promedio en el trimestre de trabajadores en todas las actividades que realiza la empresa. ▪ Horas/hombre mes promedio en el trimestre de trabajadores en todas las actividades que realice la empresa ▪ En caso de no tener alguno de los rubros lo deberá llenar como NA (NO APLICA). ▪ En caso de que una persona realice más de una actividad, se deberá asignar el total a la actividad principal de la persona ▪ El promedio que se solicita calcular corresponde a un promedio aritmético

10	Costo total ANUAL de dotación de trabajadores
	Es el costo que incurre la empresa prestadora por concepto de dotación a sus trabajadores de las diferentes actividades del servicio de aseo, la cual se otorga dos veces al año. Se debe incluir el costo anual de esta dotación. Incluye: Uniforme, botas punta de acero, guantes, gafas de seguridad, mascarillas, etc.
11	Costo promedio de consumos para la operación de capital en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.
	En esta pregunta se solicita el promedio aritmético del trimestre de los consumos de los diferentes insumos en todas las actividades que realiza la empresa. Estos consumos son: ACPM, gasolina lubricantes, filtros, mantenimiento, lavado y engrase, llantas e imprevisto. Es importante tener en cuenta la unidad de los insumos, En el caso de llantas el consumo se refiere a la compra de estas durante el trimestre.
12	Costos fijos del capital en la actividad de recolección y transporte, barrido y limpieza y CLUS
	En esta pregunta se solicita el promedio aritmético del trimestre de los costos fijos que incurre la empresa por concepto de estacionamiento, impuestos, comunicaciones (plan móvil de datos y voz y tecnología de todos los vehículos que se utilicen en la prestación del servicio. ▪ El costo de la revisión técnico mecánica es anual.
13	Vida útil y cantidad de capital
	En esta pregunta se solicita la vida útil en años de cada uno de los equipos y el número de equipos de cada tipo. ▪ Debe tener en cuenta que las herramientas menores hacen referencia a: guadañadora, herramientas, extintores y equipo de seguridad, equipo interno de comunicaciones y cámaras de vigilancia. Los equipos de instrumentación hacen referencia a batería piezómetro y a consola instrumentación o similar. ▪ En caso de no tener alguno de los equipos lo deberá llenar como N.A. (NO APLICA). ▪ El número de equipos debe corresponder a la suma de los equipos en el trimestre.
14	Predio
	La información relacionada con el predio debe ser aquella del momento de la compra. Se debe incluir el año de adquisición, las hectáreas del predio, y el valor por hectárea al momento de su compra.
15	Operación de celdas
	Los rubros de esta pregunta deben ser diligenciados ANUALMENTE con el costo y la cantidad teniendo en cuenta la unidad. Se requiere que sea anualmente y en momento en el que se haga el cierre parcial del módulo.
16	Vida útil del relleno sanitario
	En esta pregunta se solicita la vida útil del relleno sanitario en AÑOS.
17	Capacidad total del relleno sanitario
	Se solicita la capacidad total del relleno sanitario en toneladas de acuerdo con lo establecido por la autoridad ambiental.
18	Costo de gastos administrativos en cada una de las actividades
	▪ Para la depreciación utilice el método lineal. ▪ Recuerde que el valor de la depreciación y de los arrendamientos corresponde a un promedio aritmético del trimestre.

Fuente: Elaboración CRA.

e. *Ejemplo formulario No.2*

Tabla 8. Ejemplo formulario No. 2

FORMULARIO No. 2 FACTOR DE PRODUCTIVIDAD PARA EL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ASEO				
COMPONENTE COSTOS DE DISPOSICIÓN FINAL Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS				
NOTA: La información diligenciada debe corresponder al promedio simple del trimestre.				
PERIODO.		Trimestre:		Año:
I. INFORMACIÓN GENERAL				
1	Razón Social	Empresa de Aseo CRA E.S.P	N.I.T	800.198.456-1
2	Departamento	CUNDINAMARCA	Municipio	BOGOTÁ
3	No. de Suscriptores	62,000 suscriptores		
4	Nombre(s) Funcionarios	MANUELA OYOLA	RAISA QUINTERO	
5	Teléfono(s)	(1) 317-5413	(1) 212-3820	
6	Correo Electrónico	moyola@aseo.com	rquintero@aseo.com	

II. CANTIDADES DE PRODUCTOS				
7	Toneladas/mes promedio dispuestas del semestre que corresponda	20,000		
8	Metros cúbicos/mes promedio de lixiviados tratados del semestre que corresponda.	2,000 m ³		
III. COSTOS Y CANTIDADES DE INSUMOS				
9	Costos PROMEDIO por salarios de trabajadores en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados (incluir costo de prestaciones sociales)			
	Actividad	Costo promedio trimestre	No. de trabajadores promedio	Horas/hombre mes
9.1	Conductores	\$1.000.000	2	96
9.2	Operario Buldócer	\$1.100.000	5	96
9.3	Operario compactador patecabra para residuos sólidos	\$1.200.000	5	96
9.4	Operario de báscula	\$1.000.000	4	96
9.5	Orientador	\$1.500.000	3	96
9.6	Supervisores	\$3.500.000	2	96
9.7	Operario retrocargador	n.a.	n.a.	n.a.
9.8	Operario volqueta doble viaje	\$1.450.000	3	96
9.9	Operario mantenimiento	\$1.500.000	3	96
9.10	Personal administrativo	\$1.200.000	6	96
9.11	Personal de mantenimiento y limpieza	\$1.500.000	4	96
9.12	Ingeniero residente	\$2.500.000	2	96
9.13	Topógrafo permanente	\$1.500.000	2	96
9.14	Director de relleno	\$5.000.000	1	96
9.15	Cadenero	\$1.000.000	3	96
9.16	Especialista en geotecnia	\$4.100.000	1	96
9.17	Inspector	\$1.200.000	2	96
10	Costo total ANUAL de dotación de trabajadores	\$4.500.000		
11	Costo PROMEDIO de consumos en la operación de la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.			
	Rubro	Costo promedio trimestre	Cantidad promedio	Unidad
11.1	ACPM	\$20.000.000	2500	Galones
11.2	Gasolina	\$5.000.000	625	Galones
11.3	Consumo de lubricantes	\$ 4.000.000	40	Galones
11.4	Consumo de filtros	\$ 3.000.000	5	Número
11.5	Mantenimiento y reparaciones	\$ 4.000.000	n.a.	NA
11.6	Lavado y engrase	\$ 2.000.000	n.a.	NA
11.7	Consumo de llantas	\$ 3.500.000	5	Número
11.8	Imprevistos	\$ 5.000.000	n.a.	NA
12	Costos fijos del capital en la actividad de disposición final y tratamiento de lixiviados.			
	Rubro	Costo promedio trimestre		
12.1	Impuestos	\$ 500.000		
12.2	Comunicaciones (Plan Móvil de datos y voz)	\$ 300.000		
12.3	Revisión Técnico Mecánica (COSTO ANUAL)	\$ 3.000.000		
13	Vida útil del capital utilizado en disposición final y tratamiento de lixiviados.			
	Equipo	Vida útil (años)	Cantidad promedio	Unidad
13.1	Buldócer tipo D6 o equivalente	8	2	Número
13.2	Buldócer tipo D8 o equivalente	8	2	Número
13.3	Compactador para residuos tipo 816 G o equivalente	5	3	Número
13.4	Volqueta doble troque	5	2	Número
13.5	Retroexcavadora	8	1	Número
13.6	Vibrocompactador	5	1	Número
13.7	Equipos de instrumentación	n.a.	30	Número

13.8	Herramientas menores	n.a.	10	Número
13.9	Equipo de topografía	5	2	Número
14	Información del predio			
15.1	Año de adquisición	2010		
15.2	Hectáreas del predio	8 ha		
15.3	Valor por hectárea al momento de su compra	\$ 17.000.000		
15	Operación de celdas			
	Rubro	Costo ANUAL	Cantidad ANUAL	Unidad
15.1	Geomembrana	\$10.000.000.000	318	m ²
15.2	Geotextil	\$2.000.000.000	318	m ²
15.3	Tubería para recolección de lixiviados	\$ 1.800.000.000	5.200	m
15.4	Capa drenante	\$9.500.000.000	95	m ³
15.5	Capa de suelo para cierre de celdas	\$3.500.000.000	140	m ³
15.6	Revestimiento vegetal cierre de celdas	\$ 1.500.000	32	ha
16	Costo PROMEDIO de post clausura y plan de manejo ambiental			
	Rubro	Costo promedio	Unidad	
16.1	Mantenimiento	\$ 95.000.000	\$	
16.2	Costo de actividades del plan de manejo ambiental	\$100.000.000	\$	
17	Vida útil del relleno sanitario (años).	20 años		
18	Capacidad total del relleno sanitario en toneladas de acuerdo con lo establecido por la autoridad ambiental	4.800.000 toneladas		
19	Costo ANUAL de gastos administrativos			
	Rubro	Costo promedio	Costo promedio	
19.1	Costos por vehículos asignados a administración	Valor del Activo: \$ 40.000.000 Vida útil del activo: 8 años Depreciación anual: \$ 5.000.000	n.a.	
19.2	Costo de inmuebles para administración		\$ 36.000.000	
19.3	Otros gastos administrativos	\$ 8.000.000		
20	Observaciones			

Fuente: Elaboración CRA.

ANEXO 10 MUNICIPIOS Y/O DISTRITOS A LOS QUE APLICA POR SEGMENTOS

Tabla 1. Municipios y/o distritos primer segmento

Municipio y/o distrito	Departamento
Armenia	Quindío
Barranquilla	Atlántico
Bello	Antioquia
Bogotá D.C.	Bogotá D.C.
Bucaramanga	Santander
Buenaventura	Valle del Cauca
Cali	Valle del Cauca
Cartagena	Bolívar
Cúcuta	Norte de Santander
Ibagué	Tolima
Manizales	Caldas
Medellín	Antioquia
Montería	Córdoba
Neiva	Huila
Pasto	Nariño
Pereira	Risaralda
Popayán	Cauca
Santa Marta	Magdalena
Sincelejo	Sucre
Soacha	Cundinamarca
Soledad	Atlántico
Tunja	Boyacá
Valledupar	Cesar
Villavicencio	Meta

Tabla 2. Municipios y/o distritos segundo segmento

Municipio y/o distrito	Departamento	Municipio y/o distrito	Departamento
Acacias	Meta	Los Patios	Norte de Santander
Aguachica	Cesar	Madrid	Cundinamarca
Aguazul	Casanare	Magangué	Bolívar
Agustín Codazzi	Cesar	Maicao	La Guajira
Andes	Antioquia	Malambo	Atlántico
Anserma	Caldas	Manaure	La Guajira
Apartadó	Antioquia	Marinilla	Antioquia
Aracataca	Magdalena	Mariquita	Tolima
Arauca	Arauca	Melgar	Tolima
Arjona	Bolívar	Miranda	Cauca
Ayapel	Córdoba	Mocoa	Putumayo
Baranoa	Atlántico	Mompós	Bolívar
Barbosa	Antioquia	Montelíbano	Córdoba
Barrancabermeja	Santander	Montenegro	Quindío
Bosconia	Cesar	Mosquera	Cundinamarca
Caicedonia	Valle del Cauca	Ocaña	Norte de Santander
Cajicá	Cundinamarca	Orito	Putumayo
Calarcá	Quindío	Palmar de Varela	Atlántico
Caldas	Antioquia	Palmira	Valle del Cauca
Campoalegre	Huila	Pamplona	Norte de Santander
Candelaria	Valle del Cauca	Piedecuesta	Santander
Carepa	Antioquia	Pitalito	Huila
Cartago	Valle del Cauca	Planeta Rica	Córdoba
Caucasia	Antioquia	Plato	Magdalena
Cereté	Córdoba	Pradera	Valle del Cauca
Chaparral	Tolima	Puerto Asís	Putumayo
Chía	Cundinamarca	Puerto Berrío	Antioquia
Chigorodó	Antioquia	Puerto Boyacá	Boyacá
Chinchiná	Caldas	Puerto Colombia	Atlántico
Chinú	Córdoba	Puerto López	Meta

Municipio y/o distrito	Departamento	Municipio y/o distrito	Departamento
Chiquinquirá	Boyacá	Puerto Tejada	Cauca
Ciénaga	Magdalena	Quibdó	Chocó
Ciénaga de Oro	Córdoba	Quimbaya	Quindío
Circasia	Quindío	Riohacha	La Guajira
Copacabana	Antioquia	Roldanillo	Valle del Cauca
Corozal	Sucre	Sabanagrande	Atlántico
Dosquebradas	Risaralda	Sabanalarga	Atlántico
Duitama	Boyacá	Sabaneta	Antioquia
El Bagre	Antioquia	Sahagún	Córdoba
El Banco	Magdalena	San Andrés	Archipiélago de San Andrés
El Carmen de Bolívar	Bolívar	San Andrés de Tumaco	Nariño
El Carmen de Viboral	Antioquia	San Gil	Santander
El Cerrito	Valle del Cauca	San José del Guaviare	Guaviare
El Santuario	Antioquia	San Juan de Nepomuceno	Bolívar
Envigado	Antioquia	San Juan del Cesar	La Guajira
Espinal	Tolima	San Luis de Sincé	Sucre
Facatativá	Cundinamarca	San Marcos	Sucre
Flandes	Tolima	San Martín	Meta
Florencia	Caquetá	San Onofre	Sucre
Florida	Valle del Cauca	San Pablo	Bolívar
Floridablanca	Santander	San Vicente del Caguán	Caquetá
Fundación	Magdalena	Santa Rosa de Cabal	Risaralda
Funza	Cundinamarca	Santander de Quilichao	Cauca
Fusagasugá	Cundinamarca	Santiago de Tolú	Sucre
Galapa	Atlántico	Santo Tomás	Atlántico
Garzón	Huila	Saravena	Arauca
Girardot	Cundinamarca	Segovia	Antioquia

Municipio y/o distrito	Departamento	Municipio y/o distrito	Departamento
Girardota	Antioquia	Sevilla	Valle del Cauca
Girón	Santander	Sibaté	Cundinamarca
Granada	Meta	Socorro	Santander
Guadalajara de Buga	Valle del Cauca	Sogamoso	Boyacá
Honda	Tolima	Tarazá	Antioquia
Ipiales	Nariño	Tierralta	Córdoba
Itagüí	Antioquia	Tuluá	Valle del Cauca
Jamundí	Valle del Cauca	Turbaco	Bolívar
La Ceja	Antioquia	Turbo	Antioquia
La Dorada	Caldas	Villa de San Diego de Ubaté	Cundinamarca
La Estrella	Antioquia	Villa del Rosario	Norte de Santander
La Plata	Huila	Villamaría	Caldas
La Tebaida	Quindío	Yarumal	Antioquia
La Unión	Valle del Cauca	Yopal	Casanare
La Virginia	Risaralda	Yumbo	Valle del Cauca
Leticia	Amazonas	Zarzal	Valle del Cauca
Líbano	Tolima	Zipaquirá	Cundinamarca
Lorica	Córdoba		