Escuela de Hábitat y Sostenibilidad
EHyS_UNSAM

Diseño e implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de La Rioja

Proyecto Final Integrador
Ingeniería Ambiental – Universidad Nacional de San Martín, 2025

Costantino Martín
Legajo: CYT-5366

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO 2
INTRODUCCIÓN 4
CAPÍTULO 1 – DIAGNÓSTICO 7
1.1- GENERACIÓN 7
1.2- DISPOSICIÓN INICIAL 9
1.3- RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE 11
1.4- TRATAMIENTO 15
1.5- DISPOSICIÓN FINAL 16
CAPÍTULO 2 – GENERACIÓN, RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE 19
2.1- GENERACIÓN 20
2.2- DISPOSICIÓN INCIAL 22
2.3- RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE 28
CAPÍTULO 3 – TRATAMIENTO DE RESIDUOS RECICLABLES 47
3.1 PROCESOS 51
3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO 54
3.3. LA PLANTA 59
3.4. MAQUINARIA 60
CAPÍTULO 4 – TRATAMIENTO DE RESTOS DE PODA Y JARDINERÍA 65
4.1.- Procesos del CCC 66
4.2.- CHIPEADO 67
4.3.- COMPOSTAJE 68
CAPÍTULO 5 – DISPOSICIÓN FINAL 79
5.1.- EL PREDIO 84
5.2.- EL MÉTODO 85
5.3.- DISEÑO DE TRINCHERAS Y CELDAS 85

5.4.- AISLAMIENTO DEL SUELO 87
5.5.- GENERACIÓN DE LIXIVIADOS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN 89
5.6.-MATERIAL DE COBERTURA 94
5.7.- EMISIÓN DE GASES 95
CAPÍTULO 6 – SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS 98
6.1.- CASETA DE BOMBEO 101
6.2.- ECUALIZADOR 102
6.3.- LAGUNAS ANAERÓBICAS 102
6.4.- TRATAMIENTO AERÓBICO 104
6.5.- FILTRACIÓN 105
6.6.- CLORACIÓN 107
6.7.- LAGUNA DE VUELCO 107
CAPÍTULO 7 – ANÁLISIS ECONÓMICO 110
7.1 - INVERSIÓN 110
7.2 –COSTOS DE OPERACIÓN 117
CAPÍTULO 8 – ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 126
8.1.- Área de Influencia 126
8.2.- Marco Legal 127
8.3.-LÍNEA DE BASE SOCIOAMBIENTAL 128
8.4.- Metodología 134
8.5.- IDENTIFICACIÓN IMPACTOS 139
8.6.- MATRIZ DE IMPACTO 143
8.7.- PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL 144
Bibliografía 150
ANEXO I – MEMORIAS DE CÁLCULO 155
ANEXO II - PLANOS 224

SIGLAS

SIGLA	SIGNIFICADO
CABA	Ciudad Autónoma de Buenos Aires
CCAMR	Centro de Clasificación y Acondicionamiento de Materiales Reciclables
CCC	Centro de Chipeo y Compostaje
CE	Conductividad Eléctrica
CePaR	Centro de Participación Riojana
COV	Carga Orgánica Volumétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPP	Elementos de Protección Personal
FeRCoA	Federación Riojana de Cooperativas Autogestionadas
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIRSU	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
HCD	Honorable Concejo Deliberantes
IRePCySA	Instituto Regional de Planificación Control y Servicios Ambientales
MP	Material Particulado
PC	Plan de Contingencia
PFI	Proyecto Final Integrador
PGIRSU	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
RENaTEP	Registro Nacional de Trabajadores de la Economía Popular
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Información Geográfica

RESUMEN EJECUTIVO

En este Proyecto Final Integrador (PFI), se aborda el caso de la Ciudad de La Rioja, capital de la provincia homónima. En ella residen más de 200 mil personas y, como en la mayoría de los entramados urbanos, la gestión de los residuos se ha vuelto una de las principales problemáticas a resolver por el gobierno local.

A partir de un análisis del estado de situación y la evaluación diagnóstico de la temática, se desarrolló el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PGIRSU) de la Ciudad, el cual incluye, el diseño del sistema de recolección de los residuos generados, en donde se realizó un rediseño de los cuadros de recolección y del sistema de levantamiento, que alterna entre recolección puerta a puerta y contenerización, y que además, contempla la separación en dos fracciones (basura y residuos reciclables) y un servicios de restos de poda y jardinería. Esto se realizó con la ayuda de herramientas de Sistema de Referenciación Geográficas (SIG) y los datos del último censo (2022), en donde se consideraron densidad de población, generación de residuos, densidad de viviendas, cantidad de manzanas, tecnologías de recolección, entre otros factores relevantes.

Además, en el marco del PGIRSU, se diseñaron dos centros de tratamiento y recuperación para dos fracciones de residuos, el primero, el Centro de Clasificación y Acondicionamiento de Materiales Reciclables (CCAMR), destinado a las tareas correspondientes a la recuperación y reinserción en el mercado de diferentes materiales reciclables. Por otro lado, para la recuperación de los restos de poda y jardinería, se diseñó el Centro de Chipeo y Compostaje (CCC).

Actualmente, los residuos de la ciudad son dispuestos sin ningún tipo de tratamiento ni prevención ambiental en un terreno en las afueras del casco urbano, por lo que, para concluir con la gestión integral de los residuos, se diseñó el Relleno Sanitario (RS) de la ciudad, contemplando la implementación del PGIRSU, a lo largo de los años, en donde se incluyó la reubicación de los residuos que se encuentran actualmente en el predio.

Además, se calcularon los parámetros para el diseño de la planta de tratamiento de efluentes del RS y se propone un sistema de tratamiento, teniendo en cuenta que los detalles de diseño de esta planta exceden el alcance de este PFI.

Para las dos locaciones referentes a este trabajo, que aloja, por un lado, el CCAMR y, por otro lado, el CCC y el RS, se realizó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). El mismo incluye la matriz de impacto, el plan de mitigación, el plan de monitoreo y el plan de contingencia.

Para cerrar el PFI, se planteó el análisis económico de las distintas instancias del PGIRSU, con el objetivo de poder establecer estrategias de implementación que conlleva el estudio de proveedores, financiación, inversiones y hasta incluso concesionar o tercerizar alguna operación o servicio.

A continuación, se comparan la situación de la gestión de residuos de la ciudad previa al PGIRSU y su propuesta a partir de este PFI.

	SITUACIÓN ACTUAL	SITUACIÓN PROPUESTA
Diseño de cuadros de recolección	- Tamaño de cuadros y ditribución en funcion de la superficie.	- División del territorio utilizando cirterios de superficie, unidades de recolección, densidad poblacional y generación de residuos utilizando lo datos del censo 2022 y herramientas de SIG
Sistema de recolección	- En una sola fracción, puerta a puerta.	- Recolección en dos fracciones (Reciclables y Basura). Contenerización en el micro y macrocentro de la ciudad y puerta a puerta en el resto de la ciudad.
Recolección de restos de poda y jardinería	- Esquema de recoleción por cuadrilla	- Esquema de recoleción por cuadrilla
Residuos Reciclables	- Programa #Yoseparo, solo en el área central de la ciudad, con recoleccion de frecuencia semanal y un punto verde movil que rota por distintos espacios de la ciduad semanalmente.	- Separación en origen en toda la ciudad con modalidad de contenerización en micro y macrocentro y puerta a puerta en el resto de la ciudad.
Tratamiento de Residuos Reciclables	- Recuperación de materiales a partir del trabajo recolectores informales y cooperativizados.	- Se diseñaron 2 plantas modulares con 4 líneas de separación y la maquinaria asociada plara la clasificación y acondicionamiento de materiales reciclables.
Tratamiento de restos de poda y jardinería	- No hay actualmente un tratamiento de esta fracción de residuos	- Tratamiento de los restos de poda y jardinería a partir de chipeo y compostaje
Disposición final	- Vertedero a cielo abierto sin ningun tipo de control ambiental ni sanitario	- Relleno Sanitario

INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos se ha convertido en una de las principales problemáticas de todas las ciudades modernas. Argentina, no es ajeno a tal contexto y, por cómo está planteada la delegación de responsabilidades, ocupa un lugar central en las finanzas y en la política de los gobiernos municipales, quienes son los responsables primarios de la recolección y la disposición de los residuos generados en sus partidos. La gestión de los residuos representa entre un 10% y un 20% de los gastos totales de los gobiernos municipales (Gutierrez, 2014).

Esta problemática se hace visible, sobre todo, en contextos urbanos grandes como el del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), que incluye la Ciudad de Buenos Aires y el conurbano bonaerense, pero también, en grandes ciudades argentinas como Rosario, Córdoba, Mendoza, entre otras. En los últimos años, este tema, también, se ha instalado en pequeñas ciudades y contextos rurales, debido a las altas tasas de generación de residuos, los cuales hoy, tanto en los contextos urbanos como rurales de nuestro país, son tratados en su gran mayoría como basura al no existir planes de gestión integral de los mismos y ser enviados directamente a disposición final.

En este PFI, se aborda el caso de la Ciudad de La Rioja, capital de la provincia homónima. En ella residen más de 200 mil personas, siendo ampliamente la ciudad más poblada de la provincia, casi cuadriplicando a la ciudad de Chilecito, la segunda en cantidad de habitantes. En dicha ciudad, se han planteado en algunas oportunidades distintos sistemas de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), las cuales han tenido marchas y contramarchas hasta llegar al actual, que consta de una recolección de residuos domiciliarios por zonas y una recolección de residuos reciclables por adhesión al programa municipal, que se desarrolla solamente en el área del micro y macrocentro.

A pesar de ser incipiente, el esquema de separación en origen y recolección de residuos domiciliarios avanza al ritmo de las dificultades que presenta la gestión. El gran problema de la ciudad, que se viene presentando a lo largo del tiempo, radica en la disposición final de los residuos. Esta se da en un basural a cielo abierto ubicado en las afueras de la ciudad, a aproximadamente 19 km de la misma. Si bien hubo intentos, en distintos momentos, a través de distintas administraciones, de ordenar el predio y la manera de disposición final, y hasta un proyecto de la instalación de una planta de tratamiento de residuos, el modo en que se desarrolla esta etapa de la gestión es la más básica; dejar los residuos sin clasificar en un predio a cielo abierto.

Si bien, tanto en La Rioja Capital como en la mayoría de las ciudades, la invisibilidad de la relación que se tiene con los residuos diluye el entendimiento de la población del impacto de esta problemática, los efectos de la mala, o ausencia, de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), cada vez afectan más la vida cotidiana, imponiéndose en la agenda de gestión. Dicha problemática es responsable de casi el 9% de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del departamento Capital (Bartolomé y Brúculo, 2021). Los efectos ambientales más evidentes son el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural, con la consecuente devaluación, tanto de los predios donde se localizan los vertederos como de las áreas vecinas por el abandono y la acumulación de la basura, siendo uno de los efectos fácilmente observados por la población; sin embargo, entre los efectos ambientales más serios están la contaminación del suelo, del aire y los cuerpos de agua, ocasionada por el vertimiento directo de los residuos. (Rondón Toro et al., 2016); además de los impactos sociales y económicos que genera la ausencia de cualquier tipo de gestión de los residuos, a partir del descarte de materiales reciclables con un potencial valor económico y las matrices logísticas ineficientes.

En el presente PFI, se analizará la situación de la temática de residuos de la ciudad, con el fin de poder establecer un PGIRSU, que complemente y proponga mejoras al que funciona actualmente. Este plan incluirá la corriente de residuos reciclables, para la cual se planteará un centro de acondicionamiento, la fracción verde de los residuos domiciliarios (restos de poda y jardinería), y el diseño de la disposición final en relleno sanitario para todos aquellos residuos que no puedan ser recuperados y deban seguir este destino.

La ciudad de La Rioja es la cabecera del departamento capital que está ubicado en el centro-este de la provincia, tal como se puede verificar en la *figura 1*. De acuerdo con los datos del último censo (2022) cuenta con 212.225 habitantes concentrados principalmente en el casco urbano de la ciudad. El territorio de la ciudad Capital se desarrolla en aproximadamente 13.638 km^2. Cuenta con una estructura urbana radio céntrica a partir de su microcentro que es coincidente con su casco fundacional (Avila & Gómez Carrizo, 2021), que se complementa con un macrocentro, que en conjunto suman un total de 78 manzanas. Los principales accesos a la ciudad son la ruta nacional N°38 que la comunican con Catamarca y Córdoba, y la ruta nacional N°75, que se convierte en avenida de Circunvalación y da paso desde la ruta 38 al Valle de Sanagasta hacia el oeste (Avila & Gómez Carrizo, 2021).

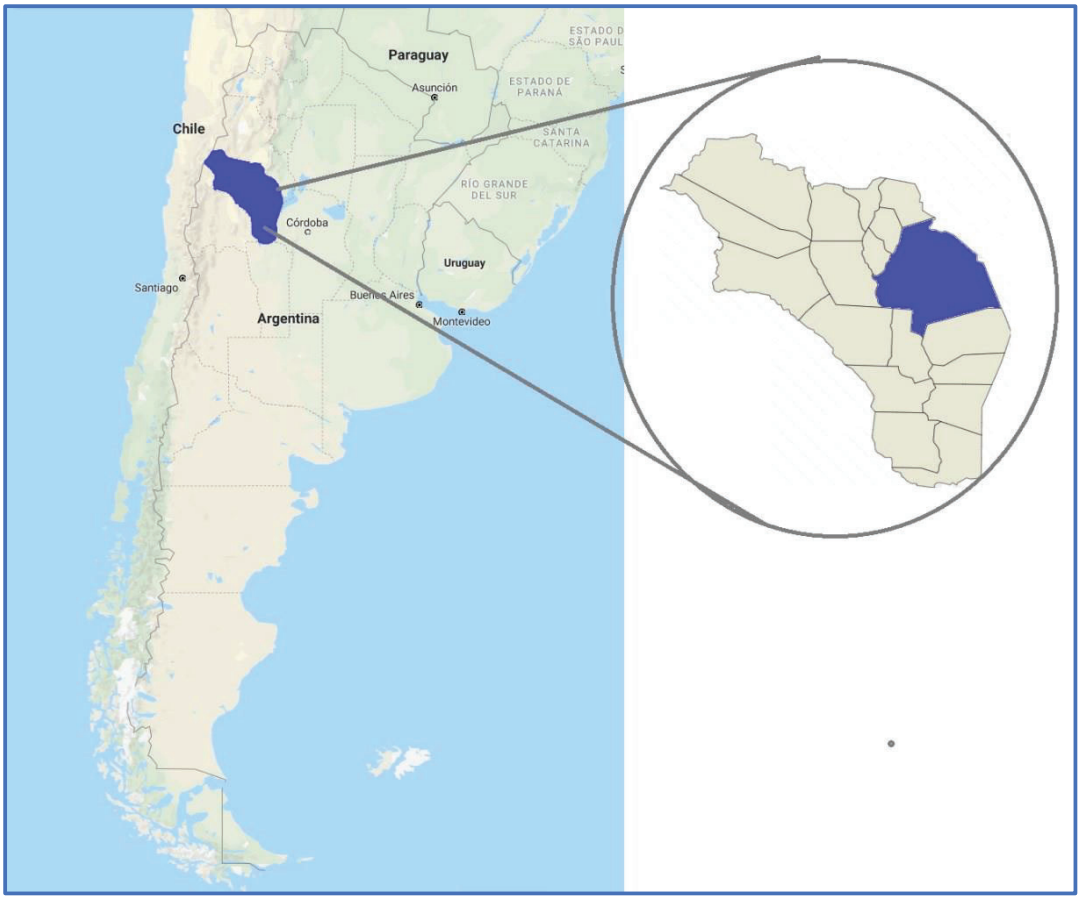


Figura 1 *Ubicación geográfica del departamento de La Rioja Capital.*

CAPÍTULO 1 – DIAGNÓSTICO

La gestión de los residuos transita por diferentes etapas que se inician con la GENERACIÓN de los mismos, su DISPOSICIÓN INICIAL, RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE, TRATAMIENTO y DISPOSICIÓN FINAL. Tanto en la instancia de diagnóstico como en la planificación, toma una relevante importancia, el sistema de estadísticas y datos locales relacionados a los residuos. Por esto, en este capítulo, se evaluará el estado de situación actual de las diferentes etapas de la gestión de residuos sólidos urbanos de la ciudad de La Rioja, teniendo en cuenta las iniciativas impulsadas desde gestión ejecutiva departamental y análisis de datos obtenidos a partir de bibliografía. Además, se establecerá un contexto regional y nacional, el cual será complementado con el marco conceptual de lo que refiere una implementación de una GIRSU.

1.1- GENERACIÓN

Según el "Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010" (Martinez Arce et al., 2010), la generación de residuos sólidos es el indicador más importante para dimensionar la escala que deberán tener los distintos servicios del manejo de residuos y prever las dificultades que se encontrarán en los procesos. América Latina y el Caribe registran una generación de RSU de 231 millones de toneladas anuales, con valores que oscilan entre 0,41 y 4,46 kg/cápita/día, con un promedio de 0,99 kg/cápita/día (Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F., 2018). Siguiendo a los mismos autores, a nivel mundial, el promedio de generación de residuos per cápita en relación a los ingresos económicos se establece en 4,54 kg/cápita/día para los países con ingreso alto y 0,11 kg/cápita/día para los de ingreso bajo de la región.

Analizando el contexto nacional, en 2015, la generación de RSU en Argentina dio un promedio de 1,03 kg per cápita, en donde como se refleja en la *tabla 1*, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires registra la mayor generación diaria per cápita siendo esta de 1,9 Kg, la Provincia de Buenos aires con 1,18 Kg por habitante por día se encuentra en segundo lugar y a continuación Córdoba con una generación de 1,06 Kg por habitante por día. En el caso de la provincia de La Rioja, el promedio diario por habitante, en 2015, fue de 0,71 Kg ocupando el puesto 17° a nivel nacional (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017).

Estas estimaciones han sido notablemente superadas por el estudio realizado por el Banco Mundial, *What a Waste 2.0* (2018), en donde, se establece que, en Argentina los RSU per cápita en 2016 fueron de 1,14 kg/cápita/día y subirá hasta los 1,31 kg/cápita/día

al 2030, y 1,54 kg/cápita/día al 2050. Esto arroja un crecimiento de la generación per cápita anual de 1,07% entre 2016 y 2030 y del 0,88% entre 2030 y 2050.

Tabla 1 - Generación de residuos sólidos urbanos (RSU) por jurisdicción en Argentina, en toneladas diarias y en kg/hal *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustenteable, Presidencia de la Nación, 2017.*

Jurisdicción	Población	Generación/día	Generación per cápita
	Habitantes	Tn/día	Kg/hab/día
Total	**43.131.966**	**44.621,61**	**1,03**
Ciudad Autónoma de Buenos Aires	3.054.267	5.792	1,9
Buenos Aires	16.659.931	19.665	1,18
Catamarca	396.895	220,8	0,56
Córdoba	3.567.654	3.780	1,06
Corrientes	1.070.283	816	0,76
Chaco	1.143.201	363	0,32
Chubut	566.922	463	0,82
Entre Ríos	1.321.415	1.042	0,79
Formosa	579.250	335	0,58
Jujuy	727.780	537	0,74
La Pampa	343.056	307	0,89
La Rioja	367.728	260	0,71
Mendoza	1.885.551	1.711	0,91
Misiones	1.189.446	604	0,51
Neuquén	619.745	512	0,83
Río Negro	698.874	531	0,76
Salta	1.333.365	1.031	0,77
San Juan	738.959	658	0,89
San Luis	476.351	366	0,77
Santa Cruz	320.469	206	0,64
Santa Fe	3.397.532	3.525	1,04
Santiago del Estero	928.097	645	0,69
Tierra del Fuego	152.317	91	0,6
Tucumán	1.592.878	1.161	0,73

En el ámbito de la Ciudad de La Rioja, Según estadísticas de la Secretaría de Servicios Públicos del Municipio de la Capital y de la Dirección de Estadística de la Provincia, se producían, en el año 2014, en la ciudad, en promedio 160 toneladas diarias de RSU, el 82% de los cuales son generados por los 55.540 hogares que la constituyen y el 18% restante por los 6.819 comercios y fábricas del parque industrial (Holote et al.). En lo que refiere a la caracterización, si bien, no se cuenta con datos oficiales de la ciudad, los autores antes mencionados, en el trabajo titulado “Desarrollo y Aplicación de Indicadores de Sustentabilidad en el Tratamiento Pirolítico de Residuos Sólidos Urbanos”, realizaron, en el año 2014, un estudio de caracterización a lo largo de un año, en el cual se llegó a la composición de los RSU promedio que se muestra en la *Tabla 2*. En esta caracterización,

se puede validar que más del 65% corresponde a la fracción orgánica y más del 31% a la fracción de residuos reciclables y/o reutilizables.

Abordando la generación de la fracción verde de la ciudad (restos de poda y jardinería), teniendo en cuenta los índices de generación nacional promedio, se estima que el 5% de la generación total de los residuos corresponden a este tipo (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017). Esto significa, actualmente, un aproximado de 11 toneladas diarias, dato que se puede validar en la *tabla 2*, en la cual se muestran las correspondientes proyecciones.

Tabla 2- Datos de población y generación y caracterización de residuos de la ciudad de La Rioja del año 2014 Fuente*: Generación propia en función de datos obtenidos de Holote, Tavella, Labert, & Cova; INDEC, 2015; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017*

AÑO			**2014**
	Población (hab.)		*200.334*
Residuos	La Rioja	(t/d)	160,000
	Domiciliario	(t/d)	131,20
		(kg/hab. d)	*0,80*
	Comercial	(t/d)	28,80
Caracterización	**Componente**	**Representación porcentual**	***Residuos Generados (T/d)***
	Orgánicos	61,10%	97,76
	Poda y jardinería	5,00%	8,00
	Papel y Cartón	7,50%	12,00
	Vidrio	2,40%	3,84
	Plásticos	13,50%	21,60
	Metales	8,20%	13,12
	Otros	2,30%	3,68
		Total (t/d)	***160,00***

1.2- DISPOSICIÓN INICIAL

La disposición inicial, en la ciudad de La Rioja, se realiza, casi en todo el territorio departamental en una sola fracción. Es decir, no hay una separación en origen y la totalidad de los residuos domiciliarios se disponen mezclados en la acera, a la espera de la recolección. En este sentido, la Ordenanza N°4889, establece que cada frentista, está obligado a disponer de canastos, al alcance del recolector, en donde los generadores domiciliarios, deberán disponer sus residuos en bolsas plásticas o materiales similares hasta un máximo de 10 kilogramos. En el caso de generadores comerciales e industriales,

e instituciones, el peso de disposición inicial, se duplica al igual que la cantidad de canastos que deben ser instalados en la vereda.

Existe, una alternativa para la separación en origen y disposición inicial diferenciada de la fracción reciclable. Esta se basa en el programa #YoSeparo, el cual invita, solamente a los vecinos del área central de la ciudad, a separar los residuos reciclables, limpios y secos, en fracciones identificadas por tres colores: Cartón y Papel (marrón), Plásticos (amarillo) y Metal y Vidrio (azul). Los vecinos interesados se inscriben mediante WhatsApp al programa. Una vez inscriptos, separan sus residuos reciclables, según la clasificación mencionada, los identifican con el color correspondiente o un cartel que indique a qué fracción pertenecen y los disponen en la acera los sábados antes de las 8 de la mañana. Además, se añade a este esquema, una iniciativa de "Punto Limpio" móvil el cual va rotando por distintos espacios de la comuna, los sábados por la mañana, en donde los vecinos pueden acercar sus residuos reciclables separados, limpios y secos. En la figura 2, se observa uno de los materiales de difusión y promoción del programa. Según el informe presentado en la apertura de sesiones del Honorable Consejo Deliberantes (HCD) del año 2022, 6.000 familias realizan la separación en origen.

Figura 2 - Material de difusión del programa de separación de residuos reciclables. ***Fuente:*** *Secretaría de Ambiente Municipal.*

Además, la comuna, cuenta con lugares para realizar la disposición inicial de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE's) y pilas. Los centros de recepción de estos residuos son en el palacio Municipal, en los Centros de Participación Riojana (CEPAR) Este, Oeste, Norte y Sur en el horario de 9 a 19 hs. Cabe aclarar que los RAEE´s que se reciben son:

- Informática: Computadoras, impresoras, monitores, teclados, etc.
- Telefonía: Móvil y fija, timbres.

- Electrónica: Radios, equipos musicales, cargadores y reproductores de todo tipo
- Pequeños electrodomésticos: Planchas, ventiladores, batidoras, licuadoras, procesadores en general.
- Herramientas Eléctricas: Taladros, amoladoras, herramientas eléctricas en general, cables.

En lo que respecta a los restos de poda y jardinería, al igual que otros tipos de residuos como restos áridos y escombros, la normativa local, prohíbe la disposición de este tipo de residuos en formas que pueda obstruir las veredas y la libre circulación, dicha disposición deberá ser como la pautada para el servicio de recolección domiciliaria, o bien, comunicarse con el área municipal correspondiente, para coordinar el retiro previamente a realizar la disposición. Los incumplimientos a estas pautas de disposición final se encuentran sancionados según la ordenanza N°4889. Cabe aclarar, que, a fin de asegurar el arbolado público, se establece según ordenanza 5350/2015, el mantenimiento y poda es realizado por personal técnico municipal. Por lo que la generación domiciliaria, debería ser solamente producto del mantenimiento de parques, jardines y especies arbustivas y arbóreas privadas.

1.3- RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

El Censo 2010 estableció que el servicio de recolección de residuos cubre el 86,9% de la población riojana -principalmente de zona urbana-. Mientras que la población restante gestiona sus residuos de forma irregular, generando micro y macro basurales o incineraciones a cielo abierto.

En la ciudad Capital, la totalidad del territorio departamental urbano cuenta con servicio de recolección de residuos, al menos en una sola fracción, en una modalidad “puerta a puerta”. Este, varía su frecuencia y días de recolección en función de la región geográfica. Tal como se puede validar en la imagen de la *figura 3*, el territorio de la ciudad se divide en 5 zonas, de las cuales una, solamente, la zona del Macro y Microcentro cuenta con una recolección diaria de residuos (frecuencia 7). El resto de las zonas (Norte, Sur, Este y Oeste) cuentan con una recolección de frecuencia 3 (3 días por semana) en horarios matutinos o vespertinos según la región.

Según las declaraciones de la propia intendenta en la apertura de sesiones del HCD en el año 2022, “… el año pasado, se recolectaron en la Ciudad más de 54 millones de Kg de residuos…”, lo que, en función de las proyecciones basadas en las tasas de generación, no representa más del 67% de la cantidad de residuos generados en la ciudad Capital. Esto genera que los residuos restantes no se canalicen de la manera adecuada y formen basurales que provocan que, el 11% aproximadamente de los hogares de La Rioja están

a tres cuadras o menos de un basural (El Independiente, 2018). También existen antecedentes de denuncias del poder ejecutivo provincial al estado municipal por quemas indebidas de residuos, tal como reza la nota periodística publicada el 10 de noviembre del ’21 (El Diario de La Rioja, 2021).

Como se mencionó en el apartado anterior de este capítulo, el gobierno local, ofrece un sistema de recolección diferenciada en el marco del programa #YoSeparo. Este programa, solo está habilitado para los ciudadanos que viven dentro de la zona delimitada por las calles 8 de diciembre, Av. Facundo Quiroga, Av. Gobernador Gordillo y Av. Perón. Tal como se puede ver en el mapa de la *figura 4*, esta extensión territorial abarca 105 manzanas del casco céntrico de la ciudad, siendo un porcentaje del territorio de la ciudad bastante pequeño, la que cuenta con este servicio.

Figura 3 - Esquema de recolección de residuos domiciliarios - *Fuente: Gobierno Municipal de La Rioja.*

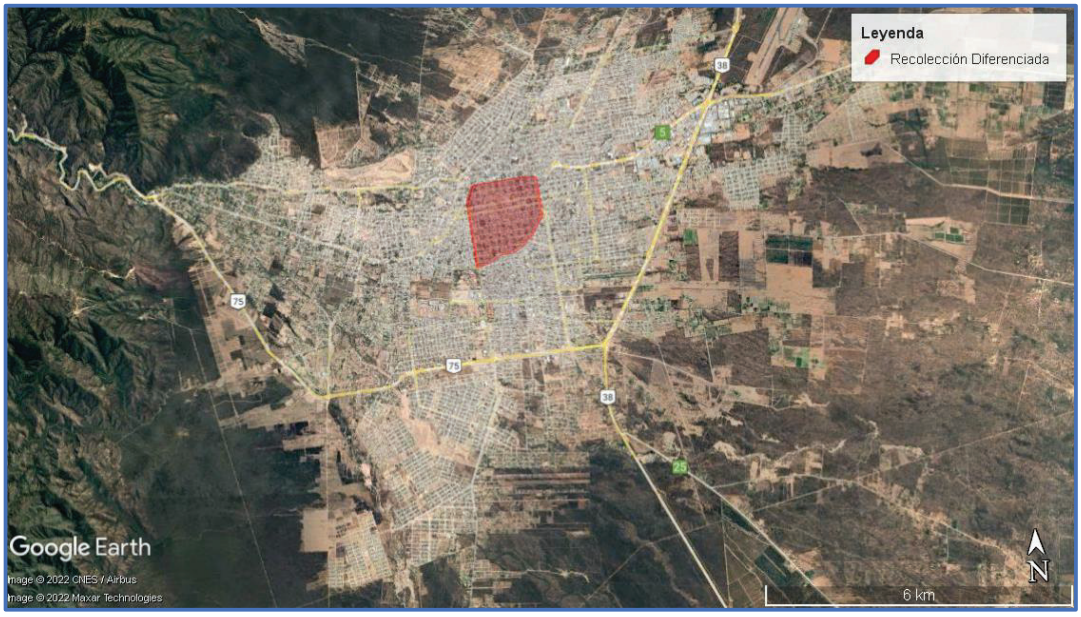


Figura 4- Mapa de cobertura del servicio de recolección diferenciada - *Fuente: Composición propia en función de la información dispuesta por el gobierno municipal.*

La recolección de los restos de jardinería y poda se podría dividir en dos. Aquellos restos que son dispuestos por los ciudadanos embolsados en la acera, que se canalizan por el sistema regular de recolección de residuos según cada zona, y, por otro lado, disposiciones excepcionales en montículos. Esto último, en general, se coordina en función al esquema de trabajo de las cuadrillas de barrido y limpieza, que también incluye la limpieza de microbasurales, y se suma a los residuos de fracción verde generados por el mantenimiento de espacios verdes públicos.

Concluyendo la etapa de recolección y transporte, todos los materiales recolectados son dirigidos al predio de disposición final de la ciudad, ubicado a casi 19 km del centro de la misma y a 4 km del punto urbano más cercano, tal como se puede observar en el mapa ilustrado en la *figura 5*. En lo que respecta a los materiales recolectados del programa #YoSeparo, son trasladados al mismo lugar con la diferencia que estos materiales son destinados a las dos cooperativas que desarrollan sus tareas en dicho lugar. Para ello el gobierno municipal cuenta con una flota de 11 camiones compactadores de 21 m^3 de capacidad.

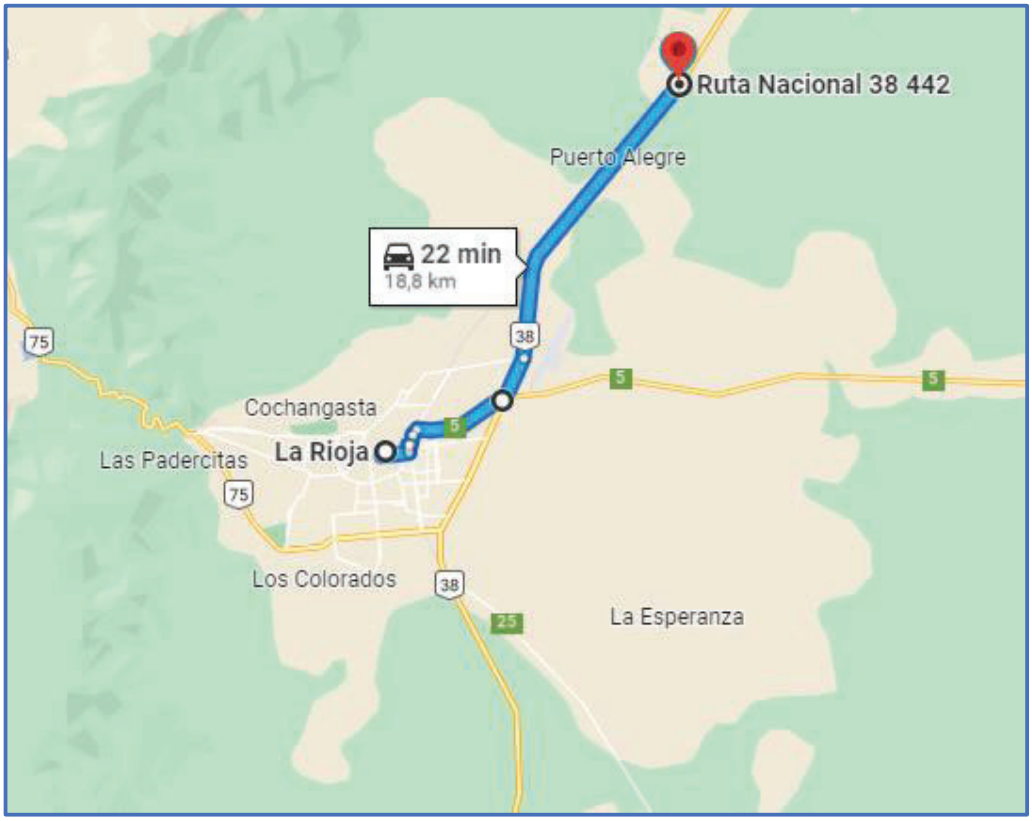


Figura 5 - Ubicación del centro de disposición final de residuos de la Ciudad de La Rioja

1.4- TRATAMIENTO

En la ciudad de La Rioja, al igual que en la mayoría de las ciudades de nuestro país, la sistematización de los datos e indicadores referentes a la temática de los residuos es muy escasa, por lo que es muy difícil establecer un diagnóstico certero del material tratado. Sin embargo y en función a los programas de gestión, se puede deducir que la mayoría de los residuos generados en la ciudad son destinados a disposición final sin ningún tipo de tratamiento.

En la provincia de La Rioja, inclusive en la ciudad capital, hubo varios intentos, de establecer plantas de tratamiento para la fracción reciclable de los residuos, como la que se dio en el predio de disposición final, en el año 2011, la cual consistía, en una planta experimental. No obstante, según el Instituto Regional de Planificación, Control y Servicios Ambientales de la Provincia (IRePCySA) de las tres plantas de separación de residuos sólidos urbanos instaladas en la última década en la provincia de La Rioja, solo se encuentra funcionando, en el año 2019, la planta ubicada en el departamento Sanagasta mientras que la planta instalada en la ciudad de Chamical funciona a un 5% de su capacidad y la ubicada en la ciudad de Chepes se encuentra inactiva (Innova La Rioja, 2019).

Según el informe de abril ’22 del Registro Nacional de Trabajadores de la Economía Popular (ReNaTEP), en la provincia de La Rioja, hay 516 trabajadores registrados dentro de las tareas de Recuperación, Reciclado y Servicios Ambientales. Focalizando en la Ciudad de La Rioja, actualmente, funcionan dos cooperativas de clasificación y acondicionamiento de materiales reciclables, el más antiguo, Recuperar-nos, que, según el ministerio de Desarrollo Social, cuenta con 313 trabajadores, agrupados dentro de la Federación Argentina de Cartoneros, Carreros y Recicladores (FACCyR) de los cuales no más de 30 desarrollan sus tareas en el predio de disposición final en vinculación con el programa municipal, según las propias declaraciones de la Intendenta local. Por otro lado, enmarcados dentro de la Federación Riojana de Cooperativas Autogestionadas (FeRCoA) y creada a fines del año 2020, la cooperativa San Expedito, emplea a unos 13 trabajadores, los cuales, en el primer año de trabajo, recuperaron unas 22 toneladas de cartón. Estas dos organizaciones, obtienen su material de trabajo, principalmente, por la recolección de residuos autogestionada en todo el territorio de la ciudad; a lo que se suma el material recolectado en el marco del programa municipal. Durante los años 2020 y 2021, los dos grupos cooperativos, lograron recuperar y reinsertar en la matriz productiva, 488 toneladas de residuos reciclables. Esto significó un ingreso de $8.300.000, para los 40 trabajadores que desarrollan sus tareas en el predio de disposición final del municipio (Honorable Consejo Deliberantes de la Ciudad de La Rioja, 2022).

1.5- DISPOSICIÓN FINAL

En la actualidad del país donde solamente 63% de la población tiene cobertura de disposición final a través de rellenos sanitarios, y solo el 18% de la población riojana cuenta con este método de disposición final (ver *Tabla 3*), la ciudad de La Rioja carece de un sistema adecuado de disposición final (Banco Mundial, 2015). Los residuos, son trasladados al área asignada para tal fin, que, como ya se mencionó, se encuentra a casi 19 km al noreste del centro de la ciudad y comprende un área de 27 Ha. Si bien, este predio fue puesto en funcionamiento en el año 2004, no presentó actividad hasta el año 2009. En el registro de imágenes satelitales de la *figura 6*, se puede ver la evolución del predio hasta llegar al año 2023. En el mismo, también son dispuestas las fracciones verdes y áridas, los residuos son simplemente depositados a cielo abierto, a fin de que los mismos, se descompongan de manera natural, con todos los impactos que ello conlleva.

El suelo de este predio no cuenta con ningún método de aislamiento o compactación, por lo que los lixiviados propios de la descomposición filtran en el suelo sin ningún tipo de dificultad más que las que ofrecen las características naturales del suelo local. Además, en la misma imagen se pueden apreciar distintos focos ígneos, causados por la propia dinámica de interacción entre los procesos de descomposición de los residuos, de las condiciones climáticas del lugar y la ausencia total de algún sistema de ordenamiento de las descargas. Estas se dan en forma aleatoria, en función del espacio que encuentran los camiones que transportan los residuos a tal predio y la voluntad de los choferes de distribuir dichos materiales.

Existe una vasta bibliografía que resalta y demuestra los aspectos negativos de este método de disposición final, tal como lo definido como “botadero” por Jaramillo (2002), “…Se le llama botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos.”

***Tabla 3** - Población con servicio de disposición adecuada de residuos por jurisdicción en porcentajes 2017* Fuente: *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017*

Región	Provincias	Población con cobertura de disposición final en relleno sanitario (en %)
Centro	Buenos Aires	87
	Partidos CEAMSE (*)	100
	Resto de Buenos Aires	48
	CABA	100
	Córdoba	54
	Entre Ríos	19
	La Pampa	5
	Santa Fe	52
NEA	Chaco	0
	Corrientes	3
	Formosa	0
	Misiones	100
NOA	Catamarca	0
	Jujuy	0
	Salta	49
	Santiago del Estero	6
	Tucumán	69
Cuyo	La Rioja	18
	Mendoza	25
	San Juan	100
	San Luis	59
Patagonia	Chubut	53
	Neuquén	76
	Río Negro	21
	Santa Cruz	0
	Tierra del Fuego	100
Total		63,1 %

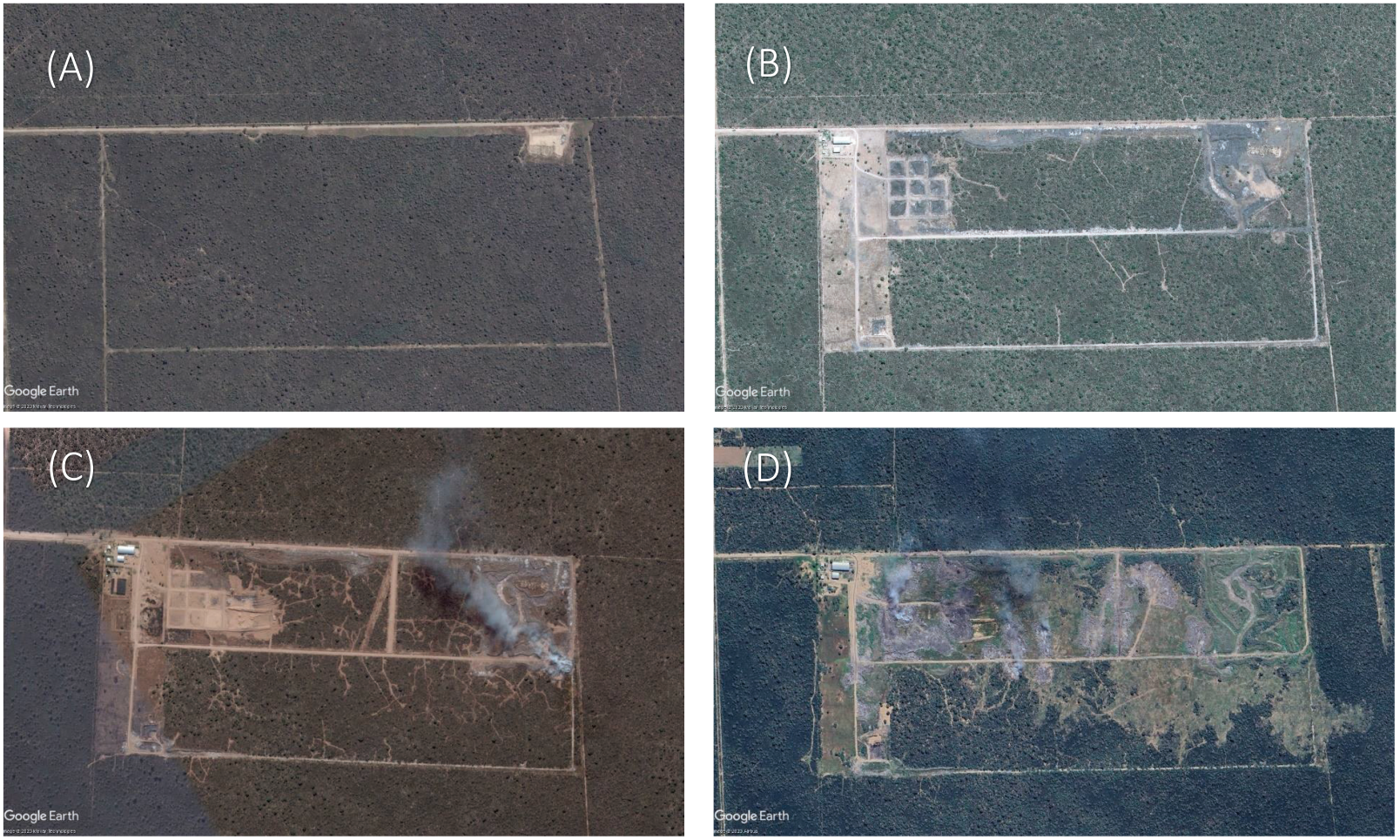


Figura 6 - Imagen satelital del Predio de Disposición Final de la ciudad de La Rioja. A.- año 2003 B.- año 2009 C.-2016 D,.2023

CAPÍTULO 2 – GENERACIÓN, RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

En este capítulo se presentan las estimaciones de generación de residuos para los años de aplicación del PGIRSU a desarrollar en este PFI, como así también la metodología de recolección y transporte. Es importante destacar todos los cálculos que justifican y avalan la información presentada en este apartado están detalladas en el Anexo I de memorias de cálculo.

Como punto de partida, se calcularán las tasas de generación partiendo de los datos recopilados en la etapa de diagnóstico y su respectiva proyección hasta el año 2052, separado en diferentes etapas de aplicación. Cabe destacar que el principal objetivo de este PGIRSU planteado en este PFI es la reducción de residuos que se envían a disposición final, a partir de la recuperación de materiales reciclables y el tratamiento de la fracción verde de los residuos; y, para aquellos residuos que no tienen otro destino más que dicha disposición, establecer un sistema de Relleno Sanitario (RS), que resguarde las medidas de seguridad correspondientes y el menor impacto ambiental. En post de este objetivo, y teniendo en cuenta los reiterados conflictos que sufre el sistema de gestión de residuos en la ciudad, es que, el primer paso del plan es el reordenamiento del sistema en su conjunto, desde la división zonal actual o las frecuencias de recolección, hasta la implementación de nuevos servicios. En esta línea, es que se establece un plan que, además de un servicio de recolección de residuos tradicional, contempla la implementación masiva de un Sistema de Recolección de Residuos Reciclables (SRRR), en todo el territorio urbano del departamento, los cuales serán destinados a un Centro de Clasificación y Acondicionamiento de Materiales Reciclables (CCAMR). Por otro lado, la puesta en marcha de un Centro de Chipeo y Compostaje (CCyC), acompañado de la reestructuración del sistema actual de recolección de la fracción verde, permitirá el abordaje de la tercera fracción de residuos de mayor relevancia en el municipio.

La puesta en marcha de las diferentes modalidades del SRRR se realizará en un solo tiempo, con el objetivo de focalizar la promoción y comunicación del lanzamiento. Teniendo en cuenta que, en Argentina, sólo el 6% de los residuos son reciclados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021), es decir que se recuperan el 20% aproximadamente de los materiales reciclables generados, la meta para la etapa de lanzamiento del plan GIRSU, será dicho porcentaje. Para ello se establecerá una fuerte campaña de concientización y comunicación, que durará los primeros dos años, con el objetivo de que en el año 2025 se puedan recuperar el 40% de los residuos reciclables generados en la ciudad. Una vez ya instalada la separación en origen en la ciudad de La Rioja, se pone como meta, recuperar el 60% de los residuos reciclables generados para el 2030 y el 80% de esta corriente de residuos en el año 2040. El porcentaje de meta

(80%), se establece a partir de los índices de relevados por Caravajal Romero, Teijeiro Alvarez, & García Alvares (2022) en diferentes experiencias a nivel mundial, y se optó por tomar como referencia el más alto correspondiente a los reciclables recuperados por Italia a partir de los procesos de reciclaje en 2016. Además, 80%, es la meta de participación ciudadana que estableció la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), para el 2023 y es el actual porcentaje de adhesión al programa de separación en origen de la ciudad de Rafaela implementado desde hace 18 años.

2.1- GENERACIÓN

A partir de los datos de la *Tabla 2*, se realizaron las respectivas proyecciones en función de los datos de población de La Rioja Capital relevados por el INDEC en el censo nacional del 2022. Para la proyección de población, se aplicó el método de tasa decreciente para calcular la población de la provincia para los años 2023, 2025, 2030, 2040, y 2052. A partir de ello, se utilizó el método descripto en INDEC (2015), de incrementos relativos, para estimar la tasa de crecimiento demográfico, que se fundamenta en la participación del crecimiento absoluto un área mayor (la provincia), que le ha correspondido a cada área menor (la ciudad).

Una vez establecida la proyección poblacional, se calculó la generación de residuos de la ciudad. Para esto, se tomó como punto de partida la tasa de generación diaria de residuos per cápita del año 2014 (0,80 kg), y como referencia, el crecimiento planteado de dicho parámetro establecido por Kaza, Yao , Bhada-Tata, & Van Woerden (2018), que plantea un crecimiento de la generación diaria per cápita para nuestro país de un 1,07% anual hasta 2030 y de 0,88% anual entre este último año y 2052. Los datos se ven reflejados en la *tabla 4*, en donde la generación diaria de la ciudad se estima en el 2023 en más de 188 toneladas diarias, casi 197 toneladas en la implementación de la segunda etapa del plan GIRSU (2025), casi 220 toneladas para el año 2030, más de 267 toneladas para el 2040 y en el 2052 una generación diaria de más de 338 toneladas. En función de lo que se planteó en el apartado 2.1, un 82% se genera en los domicilios de la ciudad y el restante 18% a partir de la actividad comercial.

Tabla 4 - Datos de población del año 2022 y su respectiva proyección a los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052; y tasa de generación diaria de residuos de la ciudad de La Rioja. **Fuente:** *Generación propia en función de datos obtenidos de Holote, Tavella, Labert, & Cova; INDEC, 2015; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017*

AÑO			2022	2023	2025	2030	2040	2052
Población (hab.)			*212.225*	*214.621*	*219.500*	*232.214*	*260.017*	*298.033*
Tasa de Generación (kg/hab. d)			*0,87*	*0,88*	*0,90*	*0,94*	*1,03*	*1,14*
Residuos	La Rioja	(t/d)	184,38	188,45	196,84	219,33	267,15	338,47
	Domiciliario	(t/d)	151,19	154,53	161,41	179,85	219,06	277,54
	Comercial	(t/d)	33,19	33,92	35,43	39,48	48,09	60,9

En el desagregado por corrientes de residuos, tal como se observa en el gráfico de la *figura 7*, en el 2022 año, se generaron, más de 112 toneladas diarias de residuos orgánicos, más de 9 toneladas de fracción verde y más de 58 toneladas de residuos reciclables. En el mismo gráfico, se puede verificar la evolución de las tasas de generación diaria por corriente para el año 2023, 2025, 2030 y 2040, años para los cuales se establecieron las metas de implementación de la fracción reciclable; y la consecuente tasa para el año 2052, para establecer los parámetros en el diseño del relleno sanitario y los centros de tratamiento.

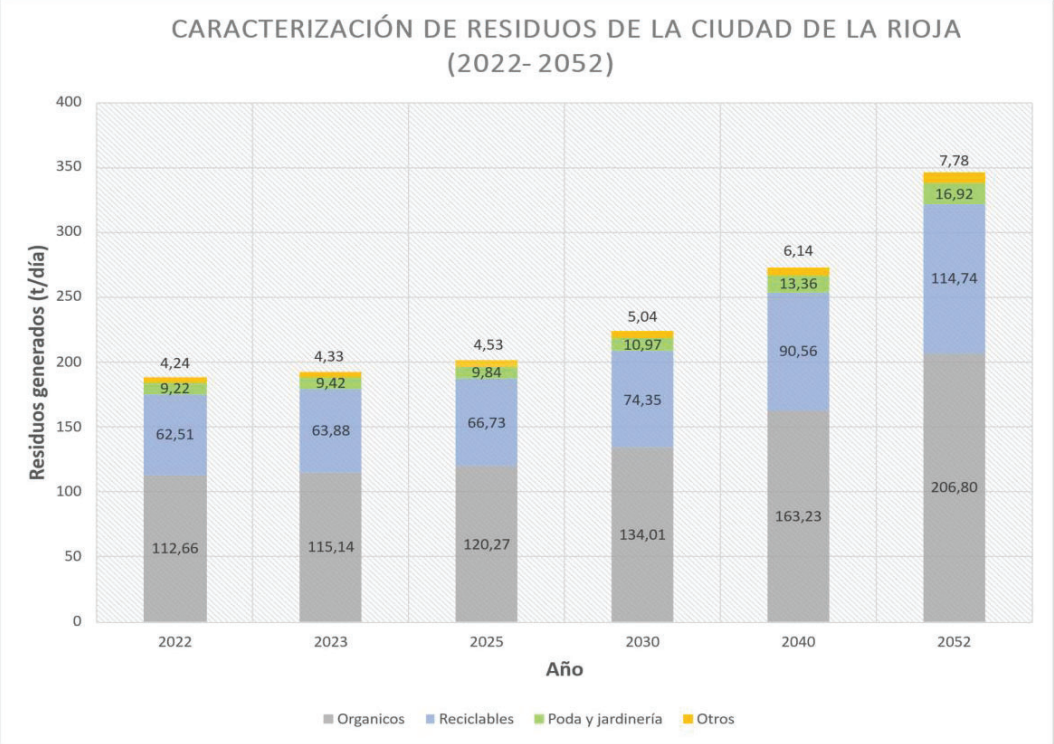


Figura 7 - Datos de generación diaria de residuos, discriminada por fracciones Orgánicos, Restos de poda y jardinería, Reciclables y Otros residuos, para los años 2022, 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.

2.2- DISPOSICIÓN INCIAL

La disposición inicial es la etapa de un plan GIRSU vinculante entre el generador y los servicios de recolección, y esto hace que tome una importancia determinante. Que los generadores dispongan los residuos tal cual como lo prevé el plan, puede determinar el éxito o fracaso del mismo. Por ello, a la hora de diseñar un plan, no solo hay que considerar las cuestiones técnicas en esta etapa, sino también las cuestiones comunicacionales, culturales, de accesibilidad, entre otros.

En el plan propuesto en este trabajo, en principio se plantean, en función de consideraciones técnicas, logísticas y demográficas, dos sistemas de disposición inicial. Para ello, como se justificará en el apartado siguiente, se estableció una nueva zonificación, para la gestión de los residuos, en 28 cuadros, tal como se puede ver en el mapa de la *figura 8*. Los cuadros del área central, cuyos límites se visibilizan en color verde, la disposición inicial será en contenedores, los cuales se encontrarán sobre la calle, en lugares determinados y particulares para cada cuadra, en función de mantener una equidistancia entre los extremos de la calle, sin comprometer la seguridad vial.

En cada cuadra habrá, dos contenedores contiguos de 2.400 litros, uno negro y uno verde. El primero destinado a basura[1] y el segundo destinado a materiales reciclables (*ver figura 9*), sumando un total de 4.048 contenedores. El tamaño del contenedor, no solo se determinó por la capacidad, sino también cuestiones constructivas, técnicas y de accesibilidad, para garantizar la correcta utilización, evitar el vandalismo, asegurar la disponibilidad en el mercado y su respectiva compatibilidad con unidades de recolección. En la *tabla 5*, se presentan los datos de generación de residuos de los cuadros contenerizados, además de la superficie de los mismos, el relevamiento de manzanas y por ende la cantidad de contenedores.

Cabe destacar que, en este análisis, al no contar con un detalle de la distribución geográfica de los comercios, se consideró que la totalidad de los mismos están distribuidos dentro de estos cuadros ya que, según el ordenamiento urbano de la ciudad, es la principal área comercial. Si bien, teniendo en cuenta lo anterior, se sobreestima la cantidad de residuos comerciales generados en el área central, es de utilidad para validar la capacidad del sistema de contenerización.

Para el resto de las áreas geográficas de la ciudad, por fuera del área central, en el plan propuesto, no se prevén modificaciones sustanciales, en función a la disposición inicial

[1] Basura: se considerará dentro de esta categoría a todos los residuos orgánicos (que no sea restos de poda y jardinería), materiales reciclables que por sus condiciones no sea posible de reciclar y/o reutilizar, restos de higiene personal, recuperados y otros residuos que por su composición o naturaleza tengan que ser destinados a disposición final.

que funciona actualmente en la ciudad. Se mantendrá la disposición domiciliaria según lo establecido en la Ordenanza N°4889.

Para la fracción reciclable de los residuos, por fuera del área central, se propone un servicio de recolección puerta a puerta, con una frecuencia semanal, en el cual los ciudadanos, deberán disponer estos materiales en función del esquema semanal de las distintas etapas de implementación, según la ordenanza N°4889. Con esto, se propone una separación en origen en dos fracciones, Basura y Reciclables. En las *tablas 6 y 7*, se reflejan los datos de generación de las distintas fracciones de residuos para las distintas etapas de implementación del plan, en los cuadros que responderán a este esquema.

En lo que consiste a los comercios, por fuera del área central, no deberán disponer sus residuos reciclables, en el servicio mencionado en los párrafos anteriores, sino que deberán esperar al retiro personalizado. Esto asegurará que el material, que en estas locaciones se generan en gran volumen y en buenas condiciones, no se contamine por eventuales errores en la separación en origen domiciliario.

Para los restos de poda y jardinería, lo que contempla el plan GIRSU, es que los mismos deberán ser dispuestos en acera a nivel del suelo, dentro de los márgenes de cada propiedad, sin afectar la circulación tanto de la calle como de la vereda, en cantidades que no superen 1 m^3 de poda y 1 m^3 de restos de jardinería. Este último debidamente embolsado.

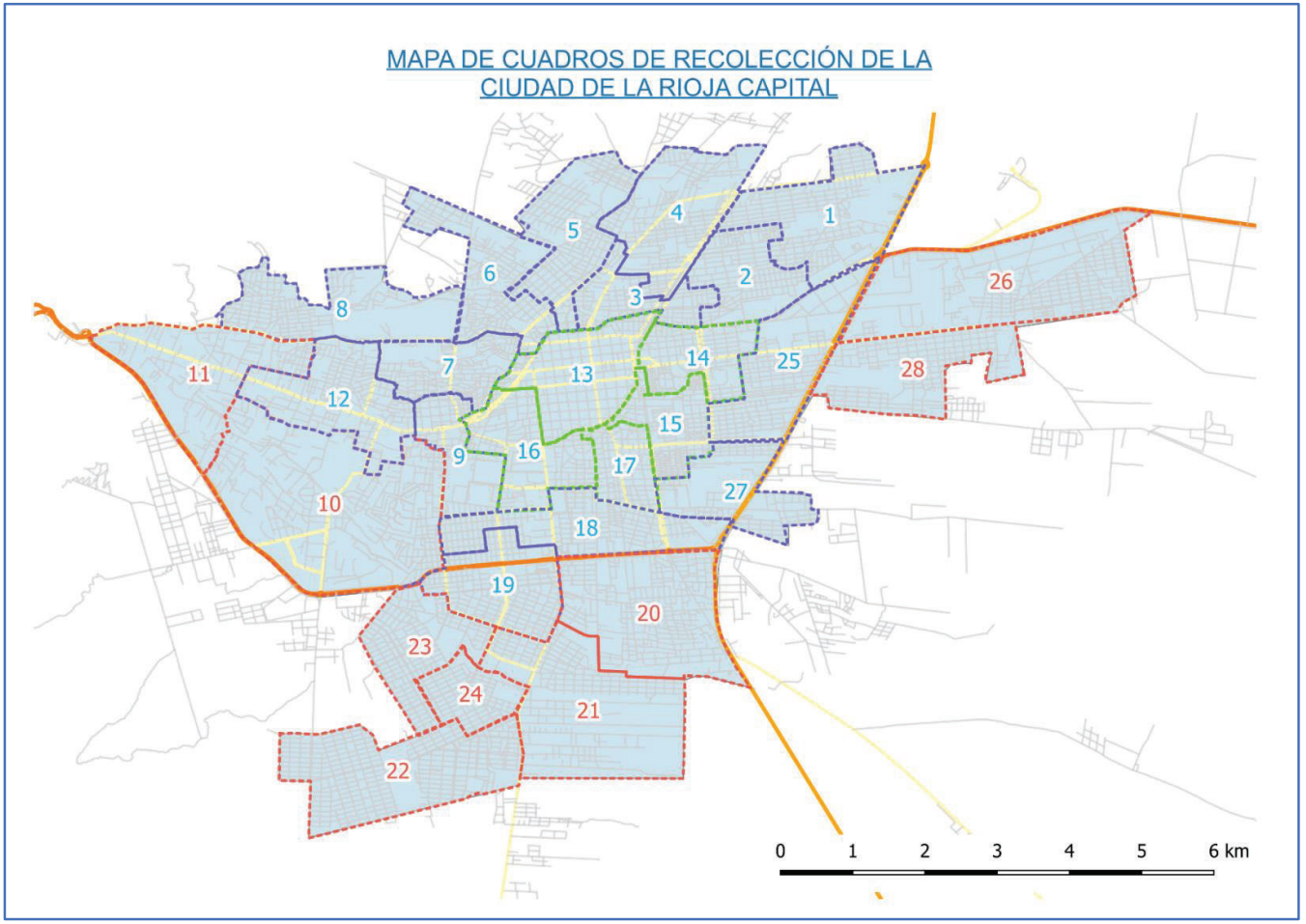


Figura 8 - Mapa de cuadros de recolección de residuos de la ciudad de La Rioja Capital. Cuadros de área central delimitados en color verde, los cuadros con límites color violeta, son los que cuentan con frecuencia 6 de recolección de Basura y los delimitados en color rojo son los que cuentan con frecuencia 2.

Tabla 5 - Datos de generación de residuos de los cuadros contenerizados para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052. M: Residuos totales generados. M_B: Basura generada. M_R: Residuos Reciclables generados. M_V: Residuos de Fracción Verde (restos de poda y jardinería) generados.

	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección f_B	f_R	f_V	Residuos Generados M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)
2023											
Comercial								33,92	21,14	9,77	-
Domiciliario	13	2,54	124	992	7	1	1	10,15	7,02	3,50	0,55
	14	1,46	121	968				8,57	6,77	3,38	0,53
	15	1,23	88	704				10,16	7,13	3,55	0,56
	16	1,22	98	784				8,39	4,82	2,40	0,38
	17	1,38	75	600				7,92	5,71	2,85	0,45
2025											
Comercial								35,43	24,23	11,20	-
Domiciliario	13	2,54	124	992	7	1	1	10,61	6,72	3,35	0,53
	14	1,46	121	968				8,95	5,67	2,83	0,45
	15	1,23	88	704				10,61	6,73	3,35	0,53
	16	1,22	98	784				8,93	5,66	2,82	0,45
	17	1,38	75	600				8,17	5,18	2,58	0,41
2030											
Comercial								33,44	22,87	10,57	-
Domiciliario	13	2,54	124	992	7	3	1	11,82	7,49	3,73	0,59
	14	1,46	121	968				9,97	6,32	3,15	0,50
	15	1,23	88	704				11,82	7,50	3,74	0,59
	16	1,22	98	784				9,95	6,31	3,14	0,50
	17	1,38	75	600				9,10	5,77	2,88	0,45
2040											
Comercial								48,09	32,89	15,20	
Domiciliario	13	2,54	124	992	7	3	1	14,39	9,13	4,55	0,72
	14	1,46	121	968				12,15	7,70	3,84	0,61
	15	1,23	88	704				14,40	9,13	4,55	0,72
	16	1,22	98	784				12,11	7,68	3,83	0,61
	17	1,38	75	600				11,08	7,03	3,50	0,55
2052											
Comercial								60,92	41,67	19,25	
Domiciliario	13	2,54	124	992	7	3	1	18,24	11,56	5,76	0,91
	14	1,46	121	968				15,39	9,76	4,86	0,77
	15	1,23	88	704				18,24	11,57	5,76	0,91
	16	1,22	98	784				15,35	9,73	4,85	0,77
	17	1,38	75	600				14,04	8,90	4,44	0,70

Tabla 6 - Datos de generación de residuos de los cuadros del esquema puerta a puerta, para los años 2023, 2025 y 2030. M: Residuos totales generados. M_B: Basura generada. M_R: Residuos Reciclables generados. M_V: Residuos de Fracción Verde generados

2023						
# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Residuos Generados			
			M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)
1	3,24	135	9,64	6,11	3,05	0,48
2	1,79	117	12,37	7,84	3,91	0,62
3	1,12	84	7,02	4,45	2,22	0,35
4	3,31	142	6,94	4,40	2,19	0,35
5	1,83	166	7,75	4,91	2,45	0,39
6	2,22	105	5,80	3,68	1,83	0,29
7	1,61	115	10,34	6,55	3,27	0,52
8	2,95	113	9,42	5,97	2,98	0,47
9	1,63	83	4,99	3,16	1,58	0,25
10	6,87	123	3,24	2,05	1,02	0,16
11	3,21	78	3,14	1,99	0,99	0,16
12	2,67	143	7,27	4,61	2,30	0,36
18	2,91	172	9,70	6,15	3,07	0,49
19	1,98	122	7,14	4,53	2,26	0,36
20	3,99	174	3,41	2,16	1,08	0,17
21	4,43	118	3,35	2,12	1,06	0,17
22	4,32	151	3,92	2,49	1,24	0,20
23	1,23	119	3,06	1,94	0,97	0,15
24	2,41	81	4,47	2,83	1,41	0,22
25	2,89	132	7,54	4,78	2,38	0,38
26	5,13	167	2,97	1,88	0,94	0,15
27	2,12	79	4,73	3,00	1,49	0,24
28	2,73	132	5,01	3,17	1,58	0,25

2025						
# Cuadro	Área (Km2)	Manzanas	Residuos Generados			
			M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)
1	3,24	135	10,07	6,38	3,18	0,50
2	1,79	117	12,92	8,19	4,08	0,65
3	1,12	84	7,34	4,65	2,32	0,37
4	3,31	142	7,25	4,60	2,29	0,36
5	1,83	166	8,10	5,13	2,56	0,40
6	2,22	105	5,94	3,77	1,88	0,30
7	1,61	115	10,80	6,84	3,41	0,54
8	2,95	113	9,84	6,24	3,11	0,49
9	1,63	83	5,21	3,31	1,65	0,26
10	6,87	123	3,38	2,14	1,07	0,17
11	3,21	78	3,14	1,99	0,99	0,16
12	2,67	143	7,59	4,81	2,40	0,38
18	2,91	172	10,09	6,40	3,19	0,50
19	1,98	122	7,46	4,73	2,36	0,37
20	3,99	174	3,56	2,26	1,12	0,18
21	4,43	118	3,49	2,22	1,10	0,17
22	4,32	151	4,10	2,60	1,29	0,20
23	1,23	119	3,28	2,08	1,04	0,16
24	2,41	81	4,67	2,96	1,47	0,23
25	2,89	132	7,87	4,99	2,49	0,39
26	5,13	167	3,10	1,97	0,98	0,16
27	2,12	79	4,89	3,10	1,55	0,24
28	2,73	132	5,23	3,31	1,65	0,26

2030						
# Cuadro	Área (Km2)	Manzanas	Residuos Generados			
			M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)
1	3,24	135	11,22	7,11	3,55	0,56
2	1,79	117	14,39	9,12	4,55	0,72
3	1,12	84	8,17	5,18	2,58	0,41
4	3,31	142	8,08	5,12	2,55	0,40
5	1,83	166	9,02	5,72	2,85	0,45
6	2,22	105	6,62	4,20	2,09	0,33
7	1,61	115	12,03	7,63	3,80	0,60
8	2,95	113	10,97	6,95	3,47	0,55
9	1,63	83	5,81	3,68	1,84	0,29
10	6,87	123	3,77	2,39	1,19	0,19
11	3,21	78	3,66	2,32	1,16	0,18
12	2,67	143	8,46	5,36	2,67	0,42
18	2,91	172	11,25	7,13	3,55	0,56
19	1,98	122	8,31	5,27	2,63	0,42
20	3,99	174	3,97	2,51	1,25	0,20
21	4,43	118	3,89	2,47	1,23	0,19
22	4,32	151	4,56	2,89	1,44	0,23
23	1,23	119	3,65	2,31	1,15	0,18
24	2,41	81	5,20	3,30	1,64	0,26
25	2,89	132	8,77	5,56	2,77	0,44
26	5,13	167	3,46	2,19	1,09	0,17
27	2,12	79	5,45	3,46	1,72	0,27
28	2,73	132	5,83	3,69	1,84	0,29

Tabla 7 - Datos de generación de residuos de los cuadros del esquema puerta a puerta, para los años 2040 y 2052 . M: Residuos totales generados. M_B: Basura generada. M_R: Residuos Reciclables generados. M_V: Residuos de Fracción Verde generados.

2040						
# Cuadro	Área (Km2)	Manzanas	Residuos Generados			
			M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)
1	3,24	135	13,67	8,66	4,32	0,68
2	1,79	117	17,53	11,11	5,54	0,88
3	1,12	84	9,96	6,31	3,15	0,50
4	3,31	142	9,84	6,24	3,11	0,49
5	1,83	166	10,99	6,97	3,47	0,55
6	2,22	105	8,06	5,11	2,55	0,40
7	1,61	115	14,65	9,29	4,63	0,73
8	2,95	113	13,36	8,47	4,22	0,67
9	1,63	83	7,08	4,49	2,24	0,35
10	6,87	123	4,59	2,91	1,45	0,23
11	3,21	78	4,46	2,83	1,41	0,22
12	2,67	143	10,31	6,53	3,26	0,52
18	2,91	172	13,70	8,68	4,33	0,68
19	1,98	122	10,12	6,41	3,20	0,51
20	3,99	174	4,83	3,06	1,53	0,24
21	4,43	118	4,74	3,01	1,50	0,24
22	4,32	151	5,56	3,52	1,76	0,28
23	1,23	119	4,45	2,82	1,41	0,22
24	2,41	81	6,33	4,02	2,00	0,32
25	2,89	132	10,68	6,77	3,38	0,53
26	5,13	167	4,21	2,67	1,33	0,21
27	2,12	79	6,64	4,21	2,10	0,33
28	2,73	132	7,10	4,50	2,24	0,35

2052						
# Cuadro	Área (Km2)	Manzanas	Residuos Generados			
			M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)
1	3,24	135	17,31	10,98	5,47	0,87
2	1,79	117	22,21	14,08	7,02	1,11
3	1,12	84	12,61	8,00	3,99	0,63
4	3,31	142	12,47	7,90	3,94	0,62
5	1,83	166	13,92	8,83	4,40	0,70
6	2,22	105	10,22	6,48	3,23	0,51
7	1,61	115	18,56	11,77	5,87	0,93
8	2,95	113	16,93	10,73	5,35	0,85
9	1,63	83	8,96	5,68	2,83	0,45
10	6,87	123	5,81	3,68	1,84	0,29
11	3,21	78	5,65	3,58	1,78	0,28
12	2,67	143	13,06	8,28	4,13	0,65
18	2,91	172	17,35	11,00	5,48	0,87
19	1,98	122	12,82	8,13	4,05	0,64
20	3,99	174	6,12	3,88	1,93	0,31
21	4,43	118	6,01	3,81	1,90	0,30
22	4,32	151	7,04	4,47	2,23	0,35
23	1,23	119	5,63	3,57	1,78	0,28
24	2,41	81	8,03	5,09	2,54	0,40
25	2,89	132	13,54	8,58	4,28	0,68
26	5,13	167	5,33	3,38	1,69	0,27
27	2,12	79	8,42	5,34	2,66	0,42
28	2,73	132	8,99	5,70	2,84	0,45

Figura 9 - (A).-foto de catálogo del contenedor verde de 2.400 litros. (B).-foto de un ejemplo, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, de cómo serán emplazados los contenedores.

2.3- RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

La recolección y transporte es una de las etapas más complejas en lo que respecta a la planificación de la gestión de los residuos. En esta etapa intervienen varios factores, como la cantidad de residuos a recolectar, el volumen y densidad de los mismos, las unidades a utilizar, el método de recolección y en función de esto también el área a cubrir por cada unidad y el tiempo de servicio. Este aspecto multidimensional, provoca que surjan una gran cantidad de alternativas para el desarrollo de la recolección, pero ninguna es replicable exactamente de una ciudad a otra. La importancia de dicha etapa radica en las erogaciones económicas que se realizan, ya que se estima pueden llegar a representar entre el 50 y 90% de los costos de los servicios de limpia (Araiza Aguilar y Zambrano, 2015).

En el plan propuesto en este PFI, para la ciudad de La Rioja, se divide en tres circuitos de recolección. El primero, es el servicio destinado a recolectar todos los residuos dispuestos en una sola fracción, tal como se describe en el apartado 1.3, con el objetivo de juntar la basura, es decir, los residuos orgánicos (que no sean restos de poda y jardinería) y materiales reciclables que no puedan ser recuperados, con destino final el relleno sanitario. Al ser actualmente este servicio el único que llega a todo el territorio municipal, el mismo canaliza todas las fracciones de residuos domiciliarios, situación que progresivamente irá siendo modificada, con la aplicación del PGIRSU, hasta quedar como el servicio que recolectará solamente la basura. Además, el presente plan contempla la implementación de un servicio de recolección de materiales reciclables y, por último, se aborda la fracción verde, con un servicio destinado a este tipo de residuos.

El diseño de un sistema de recolección de residuos sólidos mediante el método manual se basa en dos criterios: macro rutas y micro rutas. Una macro ruta es una división geográfica de la ciudad en partes homogéneas, fundamentalmente se trata de determinar el tamaño de cada una de las rutas de tal forma que la cantidad de trabajo

diario que realiza una cuadrilla sea similar a cualquier otra con el máximo de utilización de los recursos (Marquez, 2010).

El primer paso para la elaboración de rutas es la partición del territorio en zonas, la misma se realiza tomando en cuenta características como la generación de residuos, topografía y límites determinados por accidentes geográficos o instalaciones urbanas. Esta segmentación de la ciudad en sectores operativos se denomina macro rutas, las cuales permiten conocer el número de vehículos que se requieren para la operación; posterior a esto se debe definir horarios y frecuencias de recolección (Lucero Pastás & Viñamagua Carrión, 2016). Teniendo en cuenta que el seguimiento de las micro rutas, en la actualidad, en nuestro país, no termina de asentarse o tener reales casos de aplicación, para el diseño de los sistemas de recolección, solo se utilizó el método de macro rutas.

El diseño de las macro rutas de recolección se basó en los siguientes parámetros:

- Esquema de recolección actual.
- Área y manzanas por sector de recolección.
- Número de viviendas y tasas de generación por sector de recolección.
- Límites geográficos.
- Vehículos y tecnología de recolección.

Este análisis, terminó dando como resultado, la división de la ciudad de La Rioja en 28 cuadros de recolección, que como ya se mencionó, se pueden ver en el mapa de la *figura 8*, a partir de los cuales se diseñaron los distintos esquemas logísticos.

2.3. A- RECOLECCIÓN DE BASURA.

Si consideramos como basura a todo material que ya no tenga valor y que su destino es la disposición final, dentro de este servicio se canalizan, los residuos orgánicos (que no sean restos de poda y jardinería), residuos de baños e higiene, todo material reciclable que por sus condiciones no pueda ser recuperado y cualquier otro tipo de residuo que por su composición o naturaleza tengan que ser destinados a disposición final, y que no sea peligroso ni especial, según lo considere la reglamentación correspondiente.

Como ya se mencionó, la cantidad de residuos que deberá recolectar el servicio que canalizará la Basura, va a ir variando progresivamente acompañando la aplicación de las diferentes etapas del plan GIRSU. A partir de esto, en dicho servicio se recolectarán en el 2023, más del 83% del total de los residuos generados en la ciudad, en el 2025 el 77,36% y en el 2030 poco más que el 71%, y una vez implementado en forma plena el PGIRSU, este servicio será el responsable de canalizar logísticamente casi el 65% de los residuos de la ciudad.

Tal como se comentó en el apartado anterior (3.2), el área central, que involucra los cuadros 13, 14, 15, 16 y 17, contarán con un sistema de contenerización, para lo cual se instalarán 1 contenedor por cuadra destinados a basura. Estos serán recolectados con una frecuencia diaria, a partir de las 19 horas. En la *tabla 8* se puede validar el detalle de la cantidad de residuos diarios, que este esquema debe canalizar en la zona correspondiente. Dichos cuadros, por la cantidad de contenedores a recolectar, serán recorridos por dos unidades cada uno, es decir estarán involucrados en estos cuadros un total de 10 camiones. Esta asignación, será puesta en evaluación a medida que avance el PGISRU. A partir de esto y considerando el tiempo de descarga declarado por el fabricante de la unidad de recolección (32 segundos), con un margen de error del 20% y un tiempo de arribo a cada contenedor de 20 segundos y el desplazamiento de cada unidad desde la base hacia el RS, se calculó el tiempo de recolección por cuadro, los cuales se pueden ver en los resultados de la *tabla 9A*.

En lo que respecta al resto de los cuadros, estarán cubiertos por un sistema de recolección puerta a puerta, con una frecuencia 2 o 6 dependiendo de la tasa de generación en cada zona. Esto permitirá optimizar la demanda de recursos que se destina a este servicio. Los cuadros que contarán con frecuencia 2 son el 10, 11, 20, 21, 22, 23, 24, 26, y 28. En la *tabla 10*, se detallan los días de recolección de los cuadros mencionados. La franja horaria de recolección de estos cuadros será matutina y/o vespertina en función de la cantidad de calles no asfaltada de cada cuadro.

El resto de los cuadros los 13 cuadros, serán cubiertos, también, por un servicio puerta a puerta, pero en este caso, contarán con una frecuencia 6 (de domingo a viernes). Esta frecuencia se estableció en función de la tasa de generación de estas zonas y la capacidad de los camiones de recolección. En este caso la recolección en todos estos cuadros será en el turno nocturno (a partir de las 20 hs.). En las *tablas 11 y 12,* se pueden validar los datos de generación de residuos por circuito y los residuos a recolectar en función de la frecuencia y las respectivas proyecciones para las distintas etapas de implementación del plan.

Tabla 8 - Datos de residuos recolectados por día de recolección para la validación del sistema logístico de contenerización. (A).- para los años 2023 y 2025. (B).- para los años 2030, 2040 y 2052 R_B: Basura recolectada. f_B: frecuencia de recolección semanal de la basura. f_R: frecuencia de recolección semanal de los residuos reciclables. f_V: frecuencia semanal de recolección de la fracción verdes.R_R: Residuos Reciclables recolectados. R_V: Residuos de Fracción Verde recolectados. VR_B: Volumen Basura recolectada. V_R: Volumen de Residuos Reciclables recolectados. V_V: Volumen de Residuos de Fracción Verde p: % de ocupación de los contenedores entre servicios de recolección. IC: Índice de compactación de los residuos.

(A)

2023

	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección f_B	f_R	f_V	Residuos Generados M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	Residuos Recolectados – Basura R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	Reciclables R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Comercial								33,92	21,14	9,77	-	31,78					15,01				
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	1	1	10,15	7,02	3,50	0,55	15,36	33,72	0,14	6%	1,61	7,49	25,44	0,10	4%	1,21
	14	1,46	121	484				8,57	6,77	3,38	0,53	13,95	30,63	0,13	5%	1,46	6,79	23,06	0,10	4%	1,10
	15	1,23	88	352				10,16	7,13	3,55	0,56	15,36	33,73	0,19	8%	1,61	7,49	25,44	0,14	6%	1,21
	16	1,22	98	392				8,39	4,82	2,40	0,38	13,79	30,28	0,15	6%	1,44	6,71	22,78	0,12	5%	1,08
	17	1,38	75	300				7,92	5,71	2,85	0,45	13,38	29,37	0,20	8%	1,40	6,51	22,08	0,15	6%	1,05

2025

	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección f_B	f_R	fV	Residuos Generados M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	Residuos Recolectados – Basura R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	Reciclables R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Comercial								35,43	24,23	11,20	-	28,71					47,02				
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	1	1	10,61	6,72	3,35	0,53	14,48	31,79	0,13	5%	1,51	9,38	31,86	0,13	5%	1,52
	14	1,46	121	484				8,95	5,67	2,83	0,45	13,11	28,79	0,12	5%	1,37	7,92	26,88	0,11	5%	1,28
	15	1,23	88	352				10,61	6,73	3,35	0,53	14,48	31,79	0,18	8%	1,51	9,39	31,87	0,18	8%	1,52
	16	1,22	98	392				8,93	5,66	2,82	0,45	13,09	28,75	0,15	6%	1,37	7,90	26,81	0,14	6%	1,28
	17	1,38	75	300				8,17	5,18	2,58	0,41	12,47	27,37	0,18	8%	1,30	7,23	24,53	0,16	7%	1,17

(B)

2030

	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección f_B	f_R	f_V	Residuos Generados M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	Residuos Recolectados – Basura R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	Reciclables – *LUNES - MIERCOLES* R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	$A_{descarga}$ (m^2)	*SÁBADO* R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Comercial								33,44	22,87	10,57	-	31,99					14,97						22,46				
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	3	1	11,82	7,49	3,73	0,59	15,39	67,56	0,14	6%	1,61	4,48	30,43	0,06	3%	0,72	45,64	6,72	45,64	0,09	4%	2,17
	14	1,46	121	484				9,97	6,32	3,15	0,50	13,98	61,39	0,13	5%	1,46	3,78	25,67	0,05	2%	0,61	38,51	5,67	38,51	0,08	3%	1,83
	15	1,23	88	352				11,82	7,50	3,74	0,59	15,39	67,57	0,19	8%	1,61	4,48	30,44	0,09	4%	0,72	45,65	6,72	45,65	0,13	5%	2,17
	16	1,22	98	392				9,95	6,31	3,14	0,50	13,96	61,31	0,16	7%	1,46	3,77	25,61	0,07	3%	0,61	38,41	5,66	38,41	0,10	4%	1,83
	17	1,38	75	300				9,10	5,77	2,88	0,45	13,32	58,48	0,19	8%	1,39	3,45	23,43	0,08	3%	0,56	35,14	5,18	35,14	0,12	5%	1,67

2040

	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección f_B	f_R	f_V	Residuos Generados M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	Residuos Recolectados – Basura R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	Reciclables – *LUNES - MIERCOLES* R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	$A_{descarga}$ (m^2)	*SÁBADO* R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Comercial								48,09	32,89	15,20		35,93					24,31						36,47				
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	3	1	14,39	9,13	4,55	0,72	17,22	75,62	0,15	6%	1,80	5,46	37,06	0,07	3%	0,88	55,59	10,92	74,12	0,15	6%	3,53
	14	1,46	121	484				12,15	7,70	3,84	0,61	15,65	68,74	0,14	6%	1,64	4,61	31,27	0,06	3%	0,74	46,90	9,21	62,54	0,13	5%	2,98
	15	1,23	88	352				14,40	9,13	4,55	0,72	17,23	75,64	0,21	9%	1,80	5,46	37,07	0,11	4%	0,88	55,61	10,92	74,14	0,21	9%	3,53
	16	1,22	98	392				12,11	7,68	3,83	0,61	15,63	68,64	0,18	7%	1,63	4,59	31,19	0,08	3%	0,74	46,78	9,19	62,38	0,16	7%	2,97
	17	1,38	75	300				11,08	7,03	3,50	0,55	14,91	65,48	0,22	9%	1,56	4,20	28,53	0,10	4%	0,68	42,80	8,41	57,07	0,19	8%	2,72

2052

	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección f_B	f_R	f_V	Residuos Generados M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	Residuos Recolectados – Basura R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	Reciclables – *LUNES - MIERCOLES* R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	$A_{descarga}$	*SÁBADO* R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Comercial								60,92	41,67	19,25		45,52					30,80						46,21				
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	3	1	18,24	11,56	5,76	0,91	21,82	95,81	0,19	8%	2,28	6,92	46,95	0,09	4%	1,12	70,43	13,83	93,91	0,19	8%	4,47
	14	1,46	121	484				15,39	9,76	4,86	0,77	19,83	87,09	0,18	7%	2,07	5,83	39,62	0,08	3%	0,94	59,42	11,67	79,23	0,16	7%	3,77
	15	1,23	88	352				18,24	11,57	5,76	0,91	21,82	95,83	0,27	11%	2,28	6,92	46,97	0,13	6%	1,12	70,45	13,84	93,94	0,27	11%	4,47
	16	1,22	98	392				15,35	9,73	4,85	0,77	19,81	86,97	0,22	9%	2,07	5,82	39,52	0,10	4%	0,94	59,27	11,64	79,03	0,20	8%	3,76
	17	1,38	75	300				14,04	8,90	4,44	0,70	18,89	82,96	0,28	12%	1,98	5,32	36,15	0,12	5%	0,86	54,22	10,65	72,30	0,24	10%	3,44

Tabla 9 -Tiempos de recolección para los cuadros contenerizados. (A). - Recolección de los contenedores negros (Basura). (B). - Recolección de contenedores verdes (Reciclables)

(A). -

# Cuadro	Área (Km²/camión)	Manzanas/camión	Contenedores/camión	Tiempo de recolección (horas/camión)	Tiempo de Arribo a zona y RS (horas/camión)	Tiempo Total por cada unidad (horas/camión)
13	1,27	62	248	3,58	0,79	4,37
14	0,73	60,5	242	3,50	0,79	4,28
15	0,62	44	176	2,54	0,79	3,33
16	0,61	49	196	2,83	0,82	3,65
17	0,69	37,5	150	2,17	0,82	2,98

(B). -

# Cuadro	Área (Km²)	Manzanas	Contenedores	Tiempo de recolección (horas)	Tiempo de Arribo a zona y al CCAMR (horas)	Tiempo Total por cada unidad(horas/camión)
13	1,27	62	248	3,58	0,50	4,08
14	0,73	60,5	242	3,50	0,43	3,93
15	0,62	44	176	2,54	0,45	2,99
16	0,61	49	196	2,83	0,55	3,38
17	0,69	37,5	150	2,17	0,50	2,67

Tabla 10 - Esquema semanal de recolección de Basura de los cuadros que cuentan con frecuencia 2 de este servicio

N° de Cuadro	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
10							
11							
20							
21							
22							
23							
24							
26							
28							

Tabla 11 - Datos de residuos recolectados por día de recolección para la validación del sistema logístico puerta a puerta, para los años 2023 y 2025.

# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Fcias. de rec.			Residuos Recolectados										
						Basura			Reciclables				Fracción Verde			
			f_B	f_R	f_V	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	A_D (m^2)	R_V (t/d)	V_V (m^3)	IC
1	3,24	135	6	1	1	8,55	37,54	1,79	4,26	28,96	1,38	43,43	3,37	33,41	1,59
2	1,79	117				10,97	48,15	2,29	5,47	37,14	1,77	55,71	4,33	42,85	2,04
3	1,12	84				6,23	27,35	1,30	3,11	21,09	1,00	31,64	2,46	24,34	1,16
4	3,31	142				6,15	27,02	1,29	3,07	20,85	0,99	31,27	2,43	24,05	1,15
5	1,83	166				6,87	30,18	1,44	3,43	23,28	1,11	34,92	2,71	26,86	1,28
6	2,22	105				5,15	22,60	1,08	2,57	17,43	0,83	26,15	2,03	20,11	0,96
7	1,61	115				9,17	40,25	1,92	4,57	31,05	1,48	46,57	3,62	35,82	1,71
8	2,95	113				8,36	36,70	1,75	4,17	28,31	1,35	42,46	3,30	32,66	1,56
9	1,63	83				4,43	19,43	0,93	2,21	14,99	0,71	22,49	1,75	17,30	0,82
10	6,87	123	2			8,61	37,80	1,80	1,43	9,72	0,97	14,58	1,13	11,21	0,53
11	3,21	78				8,36	36,73	1,75	1,39	9,44	0,94	14,16	1,10	10,89	0,52
12	2,67	143	6			6,45	28,31	1,35	3,22	21,84	1,04	32,76	2,54	25,20	1,20
18	2,91	172				8,61	37,79	1,80	4,29	29,15	1,39	43,72	3,40	33,63	1,60
19	1,98	122				6,33	27,79	1,32	3,16	21,44	1,02	32,16	2,50	24,73	1,18
20	3,99	174	2			9,07	39,81	1,90	1,51	10,24	1,02	15,36	1,19	11,81	0,56
21	4,43	118				8,90	39,08	1,86	1,48	10,05	1,00	15,07	1,17	11,59	0,55
22	4,32	151				10,43	45,81	2,18	1,73	11,78	1,18	17,67	1,37	13,59	0,65
23	1,23	119				8,14	35,74	1,70	1,35	9,19	0,92	13,79	1,07	10,60	0,50
24	2,41	81				11,89	52,20	2,49	1,98	13,42	1,34	20,13	1,56	15,48	0,74
25	2,89	132	6			6,68	29,35	1,40	3,33	22,64	1,08	33,96	2,64	26,12	1,24
26	5,13	167	2			7,90	34,69	1,65	1,31	8,92	0,89	13,38	1,04	10,29	0,49
27	2,12	79				12,58	55,23	2,63	2,09	14,20	1,42	21,30	1,65	16,38	0,78
28	2,73	132				13,32	58,47	2,78	2,21	15,03	1,50	22,55	1,75	17,35	0,83
2025																
1	3,24	135	6	1	1	8,29	36,41	1,73	8,91	60,49	2,88	90,73	3,52	34,89	1,66
2	1,79	117				10,64	46,71	2,22	11,43	77,59	3,69	116,39	4,52	44,76	2,13
3	1,12	84				6,04	26,53	1,26	6,49	44,07	2,10	66,10	2,57	25,42	1,21
4	3,31	142				5,97	26,22	1,25	6,41	43,55	2,07	65,32	2,54	25,12	1,20
5	1,83	166				6,67	29,28	1,39	7,16	48,63	2,32	72,95	2,83	28,05	1,34
6	2,22	105				4,89	21,49	1,02	5,26	35,70	1,70	53,54	2,08	20,59	0,98
7	1,61	115				8,89	39,04	1,86	9,55	64,85	3,09	97,28	3,78	37,41	1,78
8	2,95	113				8,11	35,60	1,70	8,71	59,13	2,82	88,70	3,45	34,11	1,62
9	1,63	83				4,29	18,85	0,90	4,61	31,32	1,49	46,97	1,82	18,07	0,86
10	6,87	123	2			8,35	36,67	1,75	2,99	20,30	2,03	30,45	1,18	11,71	0,56
11	3,21	78				7,77	34,11	1,62	2,78	18,89	1,89	28,33	1,10	10,89	0,52
12	2,67	143	6			6,25	27,46	1,31	6,72	45,62	2,17	68,43	2,66	26,32	1,25
18	2,91	172				8,31	36,50	1,74	8,93	60,63	2,89	90,94	3,71	36,75	1,75
19	1,98	122				6,14	26,96	1,28	6,60	44,78	2,13	67,18	3,13	31,01	1,48
20	3,99	174	2			8,80	38,62	1,84	3,15	21,38	2,14	32,08	3,71	36,77	1,75
21	4,43	118				8,63	37,91	1,81	3,09	20,99	2,10	31,49	3,12	30,93	1,47
22	4,32	151				10,12	44,44	2,12	3,62	24,60	2,46	36,91	2,86	28,30	1,35
23	1,23	119				8,09	35,54	1,69	2,90	19,68	1,97	29,52	3,53	34,97	1,67
24	2,41	81				11,53	50,64	2,41	4,13	28,04	2,80	42,06	2,61	25,83	1,23
25	2,89	132	6			6,48	28,47	1,36	6,97	47,29	2,25	70,93	1,25	12,34	0,59
26	5,13	167	2			7,66	33,65	1,60	2,74	18,63	1,86	27,95	1,22	12,11	0,58
27	2,12	79				12,09	53,10	2,53	4,33	29,40	2,94	44,10	1,43	14,19	0,68
28	2,73	132				12,92	56,72	2,70	4,63	31,41	3,14	47,11	1,15	11,35	0,54

Tabla 12 - Datos de residuos recolectados por día de recolección para la validación del sistema logístico puerta a puerta, para los años 2030, 2040 y 2052.

# Cuadro	Área (Km2)	Manzanas	Fcias. de rec.			Residuos Recolectados								
						Basura			Reciclables					
									JUEVES - SÁBADOS			*MARTES*		
			f_B	f_R	f_V	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC
2030														
1	3,24	135	6	3	1	8,53	37,46	1,78	4,25	28,89	1,38	6,38	43,33	2,06
2	1,79	117				10,94	48,05	2,29	5,46	37,05	1,76	8,19	55,58	2,65
3	1,12	84				6,22	27,29	1,30	3,10	21,04	1,00	4,65	31,56	1,50
4	3,31	142				6,14	26,97	1,28	3,06	20,80	0,99	4,59	31,19	1,49
5	1,83	166				6,86	30,12	1,43	3,42	23,22	1,11	5,13	34,84	1,66
6	2,22	105				5,03	22,11	1,05	2,51	17,05	0,81	3,77	25,57	1,22
7	1,61	115				9,15	40,17	1,91	4,56	30,97	1,47	6,84	46,46	2,21
8	2,95	113				8,34	36,62	1,74	4,16	28,24	1,34	6,24	42,36	2,02
9	1,63	83				4,42	19,39	0,92	2,20	14,95	0,71	3,30	22,43	1,07
10	6,87	123	3			8,59	37,72	1,80	1,43	9,70	0,97	2,14	14,54	1,45
11	3,21	78				8,35	36,65	1,75	1,39	9,42	0,94	2,08	14,13	1,41
12	2,67	143	6			6,43	28,25	1,35	3,21	21,79	1,04	4,81	32,68	1,56
18	2,91	172				8,55	37,55	1,79	4,26	28,95	1,38	6,40	43,43	2,07
19	1,98	122				6,32	27,74	1,32	3,15	21,39	1,02	4,73	32,08	1,53
20	3,99	174	3			9,05	39,73	1,89	1,50	10,21	1,02	2,26	15,32	1,53
21	4,43	118				8,88	39,00	1,86	1,48	10,03	1,00	2,21	15,04	1,50
22	4,32	151				10,41	45,71	2,18	1,73	11,75	1,17	2,60	17,62	1,76
23	1,23	119				8,33	36,57	1,74	1,38	9,40	0,94	2,08	14,10	1,41
24	2,41	81				11,86	52,09	2,48	1,97	13,39	1,34	2,96	20,08	2,01
25	2,89	132	6			6,67	29,29	1,39	3,33	22,58	1,08	4,99	33,87	1,61
26	5,13	167	3			7,88	34,62	1,65	1,31	8,90	0,89	1,97	13,35	1,33
27	2,12	79				12,44	54,63	2,60	2,07	14,04	1,40	3,10	21,06	1,00
28	2,73	132				13,29	58,35	2,78	2,21	15,00	1,50	3,31	22,50	2,25
2040														
1	3,24	135	6	3	1	9,53	41,84	1,99	6,91	46,91	2,23	10,36	70,37	3,35
2	1,79	117				12,22	53,67	2,56	8,86	60,18	2,87	13,29	90,26	4,30
3	1,12	84				6,94	30,48	1,45	5,03	34,17	1,63	7,55	51,26	2,44
4	3,31	142				6,86	30,12	1,43	4,97	33,77	1,61	7,46	50,66	2,41
5	1,83	166				7,66	33,64	1,60	5,56	37,72	1,80	8,33	56,58	2,69
6	2,22	105				5,62	24,69	1,18	4,08	27,68	1,32	6,12	41,53	1,98
7	1,61	115				10,22	44,86	2,14	7,41	50,30	2,40	11,11	75,45	3,59
8	2,95	113				9,31	40,90	1,95	6,75	45,86	2,18	10,13	68,79	3,28
9	1,63	83				4,93	21,66	1,03	3,58	24,29	1,16	5,37	36,43	1,73
10	6,87	123	3			9,59	42,13	2,01	2,32	15,75	1,57	3,48	23,62	2,36
11	3,21	78				9,32	40,93	1,95	2,25	15,30	1,53	3,38	22,95	2,29
12	2,67	143	6			7,19	31,55	1,50	5,21	35,38	1,68	7,82	53,07	2,53
18	2,91	172				9,55	41,93	2,00	6,93	47,02	2,24	10,39	70,53	3,36
19	1,98	122				7,05	30,98	1,48	5,12	34,73	1,65	7,67	52,10	2,48
20	3,99	174	3			10,11	44,37	2,11	2,44	16,58	1,66	3,66	24,88	2,49
21	4,43	118				9,92	43,56	2,07	2,40	16,28	1,63	3,60	24,42	2,44
22	4,32	151				11,63	51,05	2,43	2,81	19,08	1,91	4,22	28,62	2,86
23	1,23	119				9,30	40,84	1,94	2,25	15,26	1,53	3,37	22,90	2,29
24	2,41	81				13,25	58,18	2,77	3,20	21,74	2,17	4,80	32,62	3,26
25	2,89	132	6			7,45	32,71	1,56	5,40	36,68	1,75	8,10	55,01	2,62
26	5,13	167	3			8,80	38,66	1,84	2,13	14,45	1,44	3,19	21,67	2,17
27	2,12	79				13,89	61,01	2,91	3,36	22,80	2,28	5,04	34,20	1,63
28	2,73	132				14,84	65,17	3,10	3,59	24,36	2,44	5,38	36,54	3,65
2052														
1	3,24	135	6	3	1	12,07	53,01	2,52	8,75	59,43	2,83	13,13	89,15	4,25
2	1,79	117				15,48	67,99	3,24	11,23	76,24	3,63	16,84	114,36	5,45
3	1,12	84				8,79	38,61	1,84	6,38	43,30	2,06	9,57	64,95	3,09
4	3,31	142				8,69	38,16	1,82	6,30	42,79	2,04	9,45	64,18	3,06
5	1,83	166				9,71	42,62	2,03	7,04	47,79	2,28	10,56	71,68	3,41
6	2,22	105				7,12	31,28	1,49	5,17	35,07	1,67	7,75	52,61	2,51
7	1,61	115				12,94	56,83	2,71	9,39	63,72	3,03	14,08	95,59	4,55
8	2,95	113				11,80	51,82	2,47	8,56	58,10	2,77	12,84	87,15	4,15
9	1,63	83				6,25	27,44	1,31	4,53	30,77	1,47	6,80	46,16	2,20
10	6,87	123	3			12,16	53,37	2,54	2,94	19,95	1,99	4,41	29,92	2,99
11	3,21	78				11,81	51,86	2,47	2,85	19,38	1,94	4,28	29,07	2,91
12	2,67	143	6			9,10	39,98	1,90	6,60	44,83	2,13	9,90	67,24	3,20
18	2,91	172				12,10	53,13	2,53	8,77	59,57	2,84	13,16	89,36	4,26
19	1,98	122				8,94	39,24	1,87	6,48	44,00	2,10	9,72	66,01	3,14
20	3,99	174	3			12,80	56,22	2,68	3,09	21,01	2,10	4,64	31,52	3,15
21	4,43	118				12,57	55,19	2,63	3,04	20,63	2,06	4,56	30,94	3,09
22	4,32	151				14,73	64,68	3,08	3,56	24,18	2,42	5,34	36,26	3,63
23	1,23	119				11,78	51,74	2,46	2,85	19,34	1,93	4,27	29,01	2,90
24	2,41	81				16,79	73,71	3,51	4,06	27,55	2,75	6,09	41,32	4,13
25	2,89	132	6			9,44	41,44	1,97	6,84	46,47	2,21	10,27	69,70	3,32
26	5,13	167	3			11,15	48,98	2,33	2,70	18,31	1,83	4,04	27,46	2,75
27	2,12	79				17,60	77,29	3,68	4,26	28,89	1,38	6,38	43,33	2,06
28	2,73	132				18,80	82,57	3,93	4,55	30,86	3,09	6,82	46,29	4,63

2.3. B- RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES.

Los residuos recolectados en la fracción Reciclables irán creciendo en su cantidad en función de la implementación de las etapas del PGIRSU, comenzando, según lo proyectado, en más de un 6% de la totalidad de los residuos generados en la ciudad. En el segundo año de aplicación se estima que se recolectarán un 40% de los residuos reciclables generados en la ciudad, es decir más de un 12% del total para llegar al 2030 recolectando el 60% de este tipo de materiales, es decir casi el 19% de la totalidad de los residuos generados en La Rioja Capital. Al finalizar la plena implementación del plan la meta es llegar a recolectar el 80% de los reciclables generados en la ciudad, lo que representa poco más del 25% del total de residuos. Todos los materiales canalizados en este servicio de recolección serán destinados al Centro de Clasificación y Acondicionamiento de Materiales Reciclables (CCAMR).

El esquema logístico establecido para esta fracción consta de dos sistemas análogos a los del punto 3.3.A. El primero, en los cuadros contenerizados, serán recolectados, en contra turno a la logística de recolección de los contenedores negros (de 6 a 10 hs), siendo dos camiones los que recorren cada cuadro. A partir de año 2025 se propone establecer un sistema de recolección destinado exclusivamente a los comercios. Esta diferenciación, tiene como objetivo asegurar que el material proveniente de este tipo de generadores, que en su mayoría es de pre-consumo, llegue sin contaminación y ya preclasificado. Esta recolección comercial, se dará con unidades exclusivas para este sistema comandado por las cooperativas. En la tabla 9B, se pueden validar los tiempos de recolección que implicará cada cuadro, considerando como base logística el CCAMR. Este servicio tendrá una frecuencia semanal (días miércoles) hasta el 2030, pasando dicho año a una frecuencia 3 (lunes, miércoles y sábados). Esto se debe a las proyecciones de generación de este tipo de residuos en los respectivos cuadros y a la capacidad de las unidades logísticas.

En el resto de los 23 cuadros, esta fracción será recolectada, puerta a puerta, los días sábados a partir de las 8 AM, con el objetivo de poder facilitar la inspección ocular que debe realizar el recolector al momento de tomar la bolsa. De esta manera, se busca evitar que se recojan en este servicio, bolsas con residuos orgánicos que puedan contaminar el material de esta fracción. Este servicio, pasará a tener una frecuencia 3 a partir del año 2030. Al igual que en la contenerización, el aumento en la frecuencia de recolección se debe principalmente a la relación entre la capacidad del camión y el aumento en la cantidad de residuos que se deben recolectar, no solo por el avance en la implementación del plan GIRSU, sino también por el crecimiento demográfico de la ciudad. El esquema de recolección para materiales reciclables queda estipulado según como se ve en la *tabla 13*.

Tabla 13- Esquema de recolección de residuos reciclables periodo 2023 – 2030 y a partir del año 2030.

		Lun	Mar	Miér	Jue	Vie	Sáb	Dom
2023-2030	Contenerizados							
	No Contenerizados							
A partir de 2030	Contenerizados							
	No Contenerizados							

3.3. C- RECOLECCIÓN DE RESTOS DE PODA Y JARDINERÍA.

Para los restos de poda y jardinería, se propone un esquema de recolección semanal, en donde en la *tabla 14*, se puede ver los datos de residuos de esta fracción que deben ser recolectado en función de este esquema. El mismo, canaliza los restos de poda y jardinería producto del mantenimiento de los espacios verdes públicos como así también los propios del mantenimiento domiciliario. Los días asignados para este servicio, son los referenciados en la *tabla 15*. Divididos en 5 grupos, cubriendo los 5 días de lunes a viernes, dando como resultado, los datos de la *tabla 16,* en donde se observa los volúmenes y pesos recolectados por día de la semana para las diferentes etapas de implementación.

Tabla 14 - Residuos fracción verde (restos de poda y jardinería) a recolectar semanalmente por cuadro de recolección en el año 2025 y su respectiva proyección para los años 2025, 2030, 2040 y 2052.

# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	2023		2025		2030		2040		2052	
			R_V (t/d)	V_V (m^3)	R_V (t/d)	V_V (m^3)	R_V (t/d)	V_V (m^3)	R_V (t/d)	V_V (m^3)	R_V (t/d)	V_V (m^3)
1	3,24	135	3,07	30,39	3,14	31,08	3,32	32,88	3,72	36,81	4,26	42,20
2	1,79	117	3,94	38,98	4,03	39,86	4,26	42,17	4,77	47,22	5,47	54,13
3	1,12	84	2,27	22,48	2,32	23,00	2,46	24,33	2,75	27,24	3,15	31,22
4	3,31	142	2,21	21,88	2,26	22,37	2,39	23,67	2,68	26,50	3,07	30,38
5	1,83	166	2,10	20,77	2,15	21,24	2,27	22,48	2,54	25,17	2,91	28,85
6	2,22	105	2,09	20,65	2,23	22,08	2,36	23,36	2,64	26,16	3,03	29,98
7	1,61	115	3,29	32,58	3,37	33,32	3,56	35,25	3,99	39,47	4,57	45,24
8	2,95	113	3,00	29,70	3,07	30,38	3,25	32,14	3,63	35,99	4,17	41,25
9	1,63	83	1,98	19,61	2,03	20,06	2,14	21,22	2,40	23,76	2,75	27,24
10	6,87	123	1,03	10,20	1,05	10,43	1,11	11,04	1,25	12,36	1,43	14,16
11	3,21	78	1,00	9,91	1,00	9,91	1,08	10,72	1,21	12,01	1,39	13,76
12	2,67	143	2,31	22,92	2,37	23,44	2,50	24,80	2,80	27,76	3,21	31,82
13	2,54	124	3,53	34,92	3,61	35,71	3,82	37,78	4,27	42,30	4,90	48,49
14	1,46	121	3,40	33,67	3,48	34,44	3,68	36,43	4,12	40,79	4,72	46,76
15	1,23	88	3,58	35,43	3,66	36,23	3,87	38,33	4,33	42,92	4,97	49,20
16	1,22	98	2,42	23,98	2,43	24,03	2,57	25,43	2,88	28,47	3,30	32,63
17	1,38	75	2,87	28,40	2,90	28,72	3,07	30,38	3,44	34,02	3,94	38,99
18	2,91	172	3,34	33,09	2,96	29,33	3,13	31,03	3,51	34,75	4,02	39,83
19	1,98	122	2,27	22,50	2,32	23,01	2,46	24,34	2,75	27,26	3,16	31,24
20	3,99	174	1,08	10,74	1,11	10,99	1,17	11,62	1,31	13,01	1,51	14,92
21	4,43	118	1,07	10,55	1,09	10,79	1,15	11,41	1,29	12,78	1,48	14,64
22	4,32	151	1,28	12,64	1,28	12,64	1,35	13,37	1,51	14,97	1,73	17,16
23	1,23	119	1,21	12,00	1,26	12,52	1,34	13,24	1,50	14,83	1,72	16,99
24	2,41	81	1,19	11,73	1,21	12,00	1,28	12,70	1,44	14,22	1,65	16,29
25	2,89	132	2,40	23,79	2,46	24,33	2,60	25,74	2,91	28,82	3,34	33,03
26	5,13	167	0,95	9,36	0,97	9,57	1,02	10,13	1,15	11,34	1,31	13,00
27	2,12	79	1,19	11,75	1,38	13,70	1,46	14,50	1,64	16,23	1,88	18,60
28	2,73	132	1,20	11,92	1,23	12,19	1,30	12,89	1,46	14,44	1,67	16,55

Tabla 15 - Esquema semanal de recolección de residuos de Poda y Jardinería y el respectivo análisis de la capacidad logística.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
# cuadro	**1**	**3**	9	19	8
	2	**4**	14	20	10
	25	**5**	15	21	11
	26	**6**	16	22	12
	27	**7**	**17**	**23**	**18**
	28	**13**		**24**	

Tabla 16 - Cantidad, en peso y volumen, de restos de poda y jardinería a recolectar por día de la semana para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.

	2023			2025			2030			2040			2052		
	Residuos recolectados		Prom. por camión	Residuos recolectados		Prom. por camión	Residuos recolectados		Prom. por camión	Residuos recolectados		Prom. por camión	Residuos recolectados		Prom. por camión
	(t)	(m3)	(m3)	(t)	(m3)	(m3)	(t)	(m3)	(m3)	(t)	(m3)	(m3)	(t)	(m3)	(m3)
Lun	12,74	126,2	18,03	13,2	130,7	18,68	13,97	138,3	19,76	15,64	154,9	22,12	17,93	177,5	25,36
Ma.	15,48	153,3	21,9	15,93	157,7	22,53	16,85	166,9	23,84	18,87	186,8	26,69	21,63	214,2	30,59
Mi.	14,25	141,1	20,16	14,49	143,5	20,5	15,33	151,8	21,68	17,17	170	24,28	19,68	194,8	27,83
Jue	8,1	80,16	11,45	8,28	81,94	11,71	8,76	86,68	12,38	9,8	97,06	13,87	11,24	111,3	15,89
Vie	10,69	105,8	15,12	10,45	103,5	14,78	11,08	109,7	15,67	12,41	122,9	17,55	14,22	140,8	20,12

2.3. D- FLOTA VEHICULAR PARA LA RECOLECCIÓN.

Para el desarrollo de la recolección de los residuos según lo planteado anteriormente, para lo que es la zona central, se utilizarán 10 camiones compactadores de carga lateral, con una capacidad de 21 m^3, tal como el que se puede ver en la foto de la *figura 10*. De esta manera, cada cuadro de recolección del área central tendrá una unidad destinada. Esta unidad cuenta con un sistema de levantamiento y descarga de contenedores, el cual va a tener que ser operado por una persona. Por lo que el personal por camión va a ser de 1 chofer y 1 operario. Es decir, serán necesarias un total de 10 parejas (chofer-operario), a la cual se sumará una pareja de reserva, dando un total de 11 choferes y 11 operarios. Además, se tendrá dentro de la flota un camión más (es decir en total 11), para establecer un sistema de rotación semanal. Mientras 10 realizan las tareas de recolección, 1 permanecerá de reserva y sometido a tareas de mantenimiento preventivo o reparación. Este esquema de rotación se realizará con todas las flotas, de los diferentes esquemas.

Las unidades de esta flota de vehículos serán lavadas e higienizadas correspondientemente y serán los que se utilizarán para la recolección de los residuos

reciclables, los días sábados. Tal como se indicó anteriormente, este sistema en 2030 pasará a una frecuencia de 3 veces por semana, para lo que, a esa altura de la aplicación del plan, se sumarán 5 unidades más, que serán destinadas exclusivamente a residuos reciclables.

Para el abordaje del resto de las áreas, se utilizarán compactadores "cola de pato", como el de la foto de la *figura 11.* Como ya se planteó, fuera del área central, la ciudad de la Rioja quedó dividida en 23 macro rutas, de las cuales 14 contarán con una frecuencia 6 y 9 con una frecuencia semanal 2. Para las primeras, se utilizarán 14 unidades con una capacidad de 21 m^3, mientras que para las otras 9, serán 5 unidades de 16 m^3. Es decir, sumando las unidades de rotación, serán 15 camiones compactadores con capacidad para 21 m^3 y 6 de 16 m^3. Esta elección se da en base de las estimaciones de residuos a recolectar y de las respectivas proyecciones. Cabe recordar que el municipio cuenta con una flota de 11 unidades con capacidad de 21 m^3, las cuales serán reasignadas en función del esquema propuesto. Para las tareas de recolección en estas áreas se necesitarán por camión un trío de 1 chofer y dos corredores, es decir un total de 23 choferes y 46 corredores. Para la cobertura de ausentismos y reserva se calculan 2 tríos de chofer y corredores.

Con las unidades logísticas seleccionadas, y la distribución de los cuadros, se realizaron las verificaciones de las capacidades de los equipos elegidos. Esto se puede observar en los gráficos de las figuras 12, 13 y 14, e implica principalmente las capacidades volumétricas y los índices de compactación respectivos, teniendo en cuenta que este último, no sea superior a 3,5, que, según el fabricante, es el máximo índice de compactación soportado por la unidad.
Si bien, existe un debate genuino, sobre la recolección de residuos con equipos compactadores, en la fracción reciclables, por los datos de las tasas de generación y la cobertura territorial que hay que desarrollar, se llegó a la conclusión de que el esquema planteado es el más adecuado pensando no solo en la capacidad de canalizar todo el material en las fracciones planteadas, sino también en asegurar el correcto funcionamiento de la higiene urbana.

Para la recolección de restos de poda y jardinería, serán utilizadas unidades de caja abierta con hidro grúa tal como las que aparecen en la foto de la *figura 15*. Estas unidades cuentan con una capacidad de 24 m3. En función del esquema de recolección de esta fracción, serán necesarias 7 unidades. De las cuales en algunos cuadros serán necesarias dos unidades destinadas para poder recolectar la totalidad de los restos de poda y jardinería. El personal necesario para la operación de esta fracción se planifica en 1 chofer y 2 operarios por camión, es decir un total de 7 choferes y 14 operarios. Además, se suma la unidad de reserva con su respectivo personal.

A modo de resumen, se presenta el cuadro de la *tabla 17*, en donde se pueden observar las cantidades y modelos de las unidades de recolección para cada parte del plan GIRSU y los respectivos recursos humanos involucrados.

Figura 11 - Camión compactador de carga lateral destinado a la recolección del área central.

Figura 10 - Camión compactador "cola de pato" destinado a la recolección de puerta a puerta.

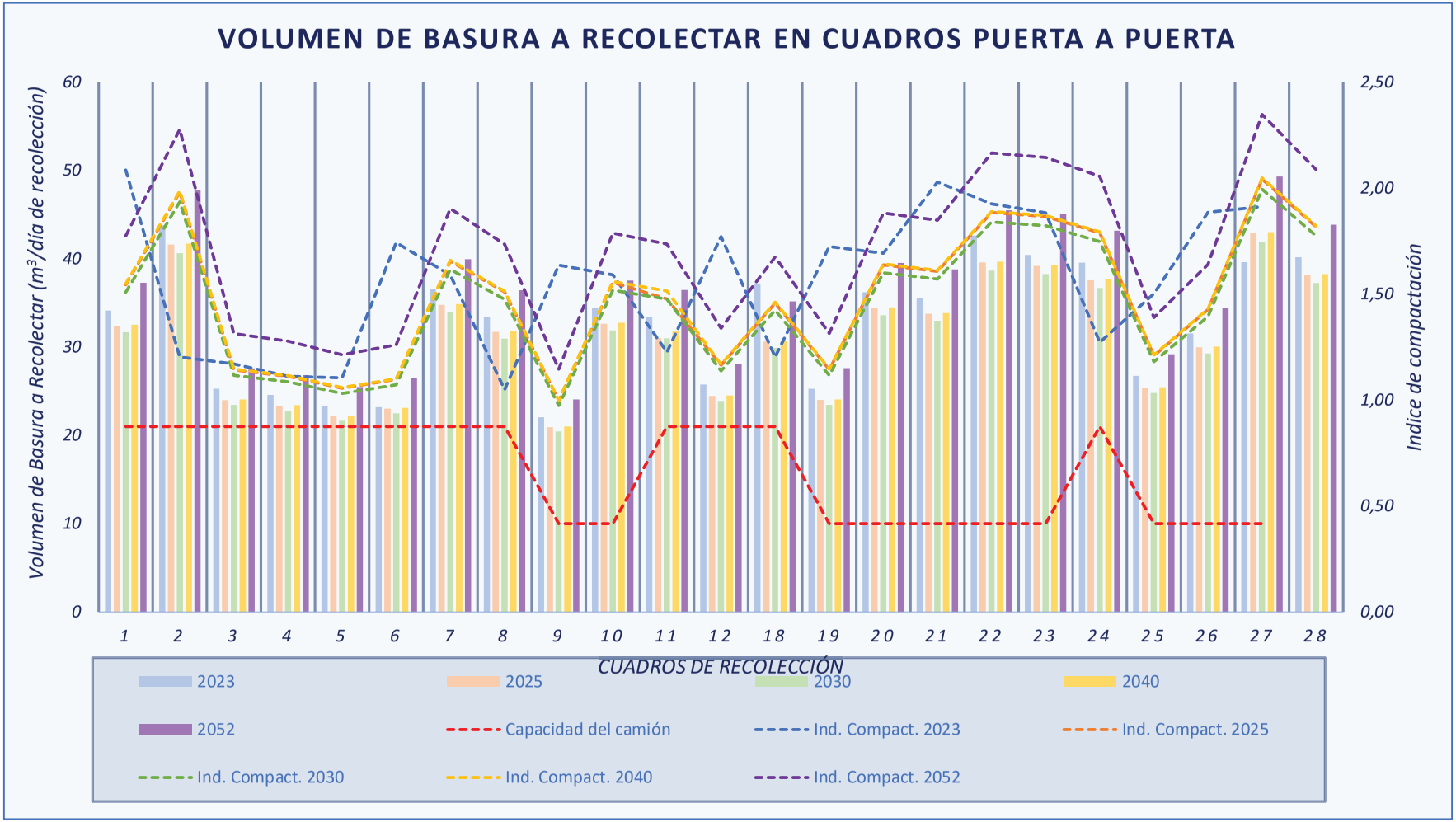


Figura 12 - Análisis de la capacidad volumétrica de la logística y los índices de compactación en la recolección de la Basura en los cuadros puerta a puerta, para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.

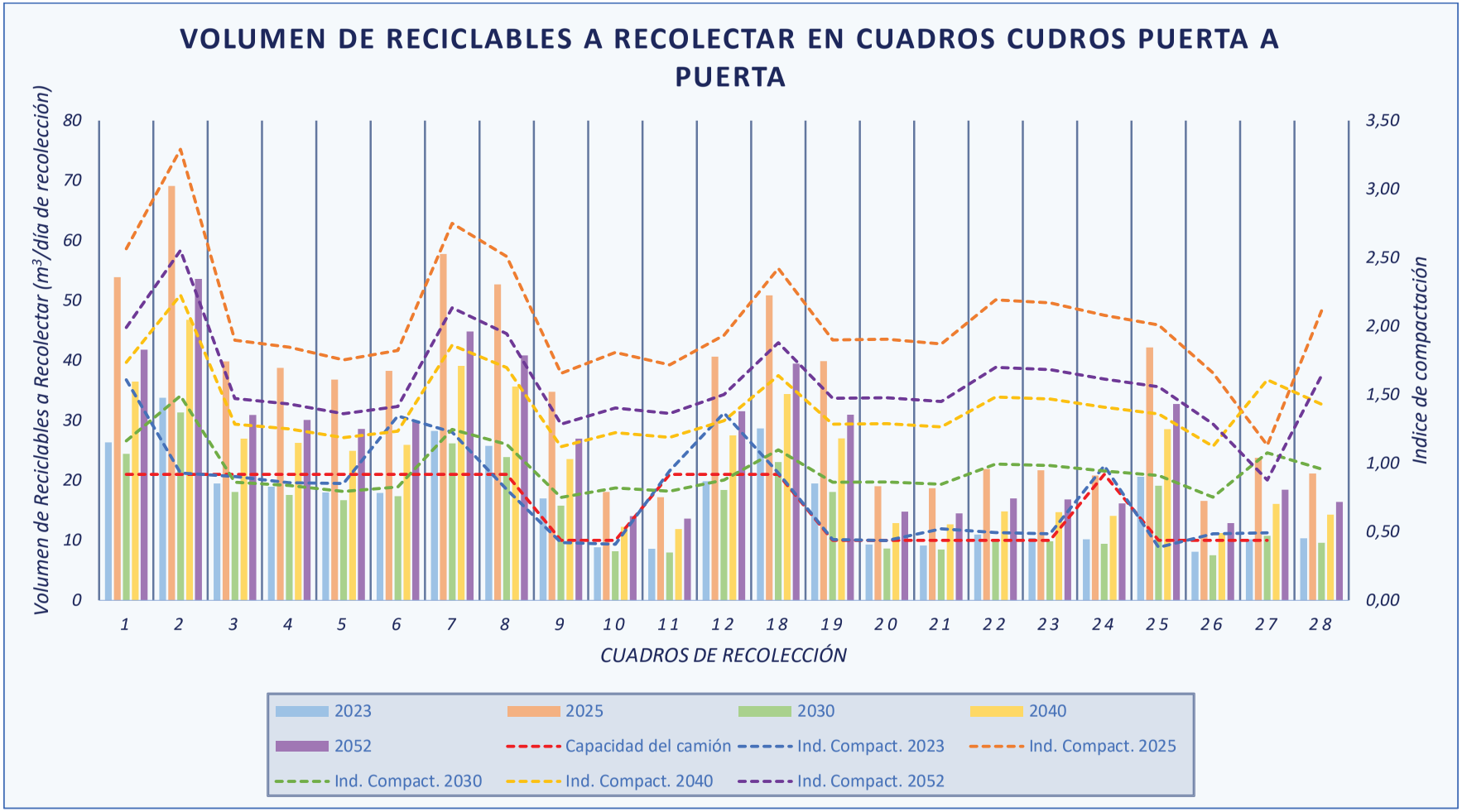


Figura 13 - Análisis de la capacidad volumétrica de la logística y los índices de compactación en la recolección de los residuos Reciclables, en los cuadros puerta a puerta para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 205

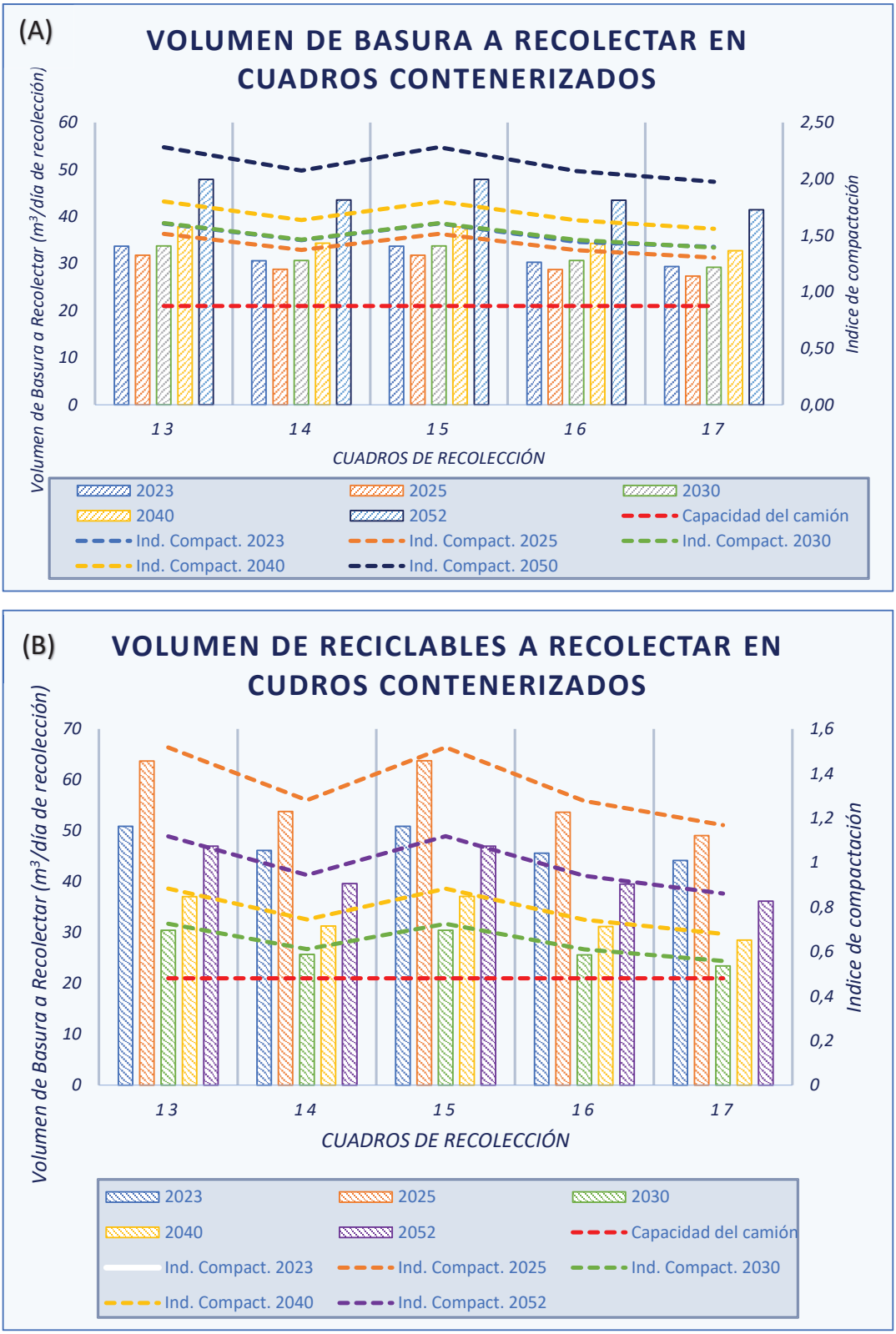


Figura 14 *–Análisis de la capacidad volumétrica de la logística y los índices de compactación en la recolección de Basura (A) y de los residuos Reciclables (B), en los cuadros contenerizados, para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.*

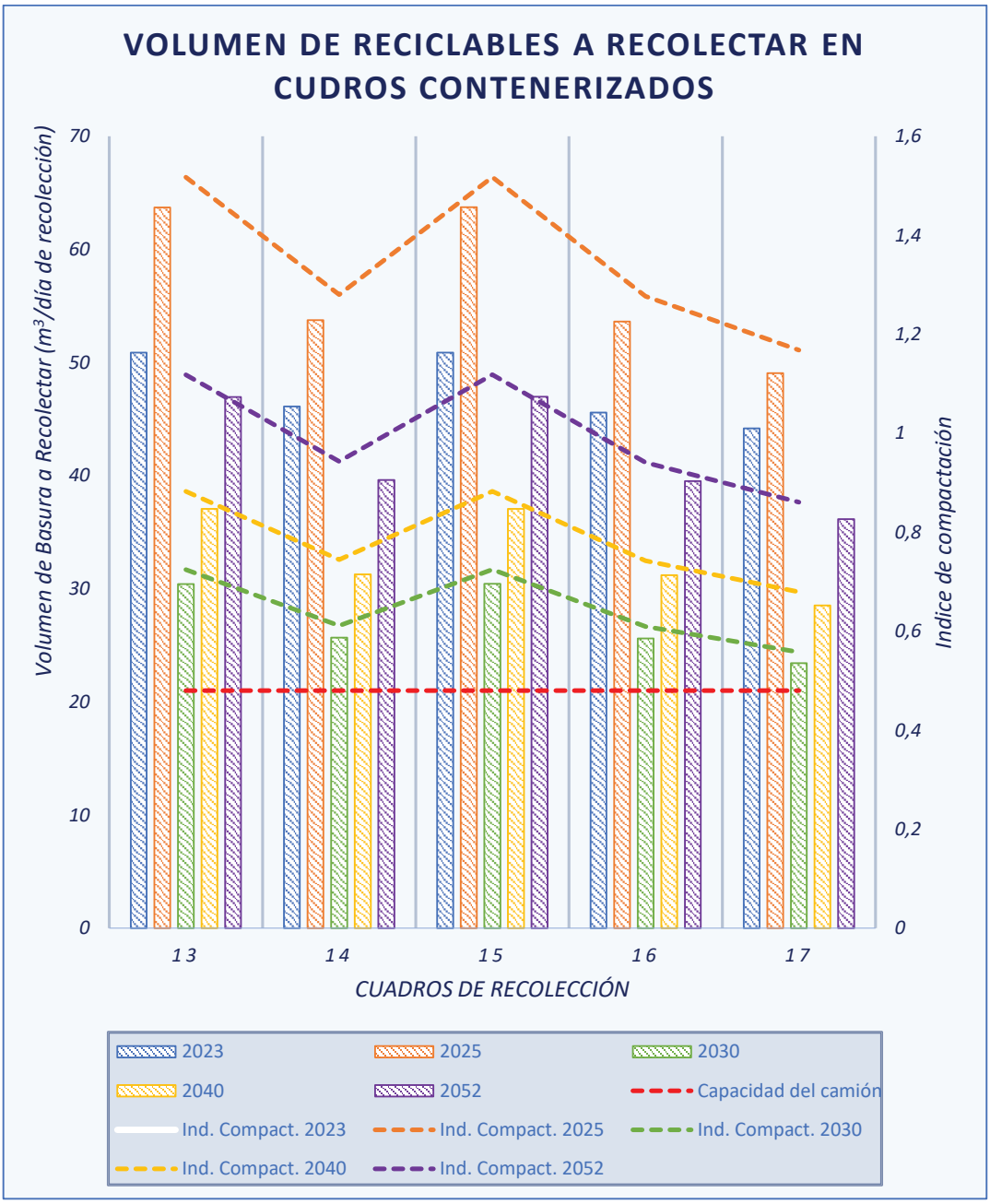

VOLUMEN DE RECICLABLES A RECOLECTAR EN CUDROS CONTENERIZADOS
Volumen de Basura a Recolectar (m³/día de recolección)
Indice de compactación
70
60
50
40
30
20
10
0
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
13
14
15
16
17
CUADROS DE RECOLECCIÓN
2023
2025
2030
2040
2052
Capacidad del camión
Ind. Compact. 2023
Ind. Compact. 2025
Ind. Compact. 2030
Ind. Compact. 2040
Ind. Compact. 2052

Figura 15 - *Foto la unidad logística seleccionada para la recolección verde de los residuos.*

Tabla 17 - Resumen de los recursos logísticos y humanos dedicados a todos los esquemas de recolección del Plan GIRSU.

		Contenerización				Puerta a Puerta				Fracción Verde			
		cantidad	*unidades*	*Marca*	*Modelo*	*cantidad*	*unidades*	*Marca*	*Modelo*	*cantidad*	*unidades*	*Marca*	*Modelo*
Contenedores		*2024*	*u*	Abati	Titanium 2400 l color verde	-	-	-	-	-	-	-	-
		2024	*u*	Abati	Titanium 2400 l color negro	-	-	-	-	-	-	-	-
Camiones		*11*	*u*	Iveco	Trakker 410T44	*21*	*u*	Iveco	Trakker 410T44	*7*	*u*	Iveco	Trakker 410T44
Compactadores		*11*	*u*	Econovo	AMS CL-1 21m^3	*15*	*u*	Econovo	ECO ANDRES 21 m^3	-	-	-	-
						6	*u*	Scorza	Ecocros 16 m^3	-	-	-	-
Bateas con Hidrogrúa		-	-	-	-	-	-	-	-	*7*	*u*	Econovo	Eco Cvos 24 m^3
Recursos humanos	Choferes	*11*	*pers.*	-	-	*23*	*pers.*	-	-	*8*	*pers.*	-	-
	Operarios / Corredores	*11*	*pers.*	-	-	*46*	*pers.*	-	-	*24*	*pers.*	-	-

CAPÍTULO 3 – TRATAMIENTO DE RESIDUOS RECICLABLES

En este plan, se propone el tratamiento para dos de las fracciones de residuos. Por un lado, se contempla un tratamiento de clasificación y acondicionamiento de materiales reciclables. El mismo consistirá en la recepción del material recolectado en los diferentes esquemas destinados a esta fracción y transportados al Centro de Clasificación y Acondicionamiento para Materiales Reciclables (CCAMR), ubicado en la salida de la Av. Coronel Felipe Varela de la Ruta Nacional 38, al NE de la ciudad, tal como se ve en la imagen satelital de la *figura 16.* El mismo se desarrollará en un predio de 3.23 ha, y estará compuesto por 2 plantas y cada una contará con 2 líneas de clasificación. La implantación de dichas plantas se dará en 2 fases. La primera con la puesta en marcha de la primera planta al inicio del plan GIRSU y la construcción de la NAVE A y la puesta en marcha de 1 línea de clasificación para luego en 2025 poner en funcionamiento la segunda línea de esta planta. Para 2030, se prevé finalizar la construcción de la NAVE B y puesta en marcha de la tercera y para 2040 la puesta en marcha de la última línea de clasificación. Cabe destacar que todas serán idénticas en sus características y equipamiento.

La locación propuesta, fue seleccionada en función de la accesibilidad que cuenta la zona

Figura 16 *- Localización del predio del CCAMR en la salida de la Av. Coronel Felipe Varela de la Rutan Nacional 38.*

y por estar en el límite del casco urbano de la Ciudad. Esto permitirá que las personas que desarrollen sus tareas en la planta no tengan que movilizarse hasta el predio de disposición final, ubicado sobre la misma ruta, pero a 19 km de la ciudad y al mismo tiempo que el CCAMR, no quede enredado dentro del entramado urbano de la ciudad.

Para el diseño del CCAMR, el primer punto a analizar es el flujo de material que el mismo debe recibir y tratar. Como ya se mencionó en el apartado 2.3.B, los residuos reciclables serán recolectados en dos esquemas logísticos, los jueves la recolección de los contenedores verdes y los sábados la recolección diferenciada puerta a puerta. Dichos esquemas, generan dos descargas de material en los respectivos días. Si bien, en cuestiones de la operatoria y el funcionamiento de la planta, esto implica descargas muy puntualizadas, a la hora de poder acoplar todas las instancias de la GIRSU, en el esquema logístico, fue la mejor opción detectada. Este esquema como se indicó respectivamente pasará a tener una frecuencia 3, a partir del año 2030, lo que dividirá la descarga del material en 5 días a la semana.

En función de lo referenciado, y tomando los porcentajes de implementación del Plan GIRSU propuesto, el flujo de material de ingreso a la planta será el que se puede validar en la *tabla 18*. En dicha tabla, se puede obtener el dato que para el primer año de implementación el flujo de ingreso de material a la planta será más de 35 toneladas los días miércoles y más de 60 los días sábados. De esta manera, casi el 36% de los residuos reciclables son descargados los días miércoles y más del 64% los días sábados, y esto se irá nivelando a medida que avance el plan GIRSU, hasta llegar al 2040, en donde los días de descarga serán lunes, martes, miércoles, jueves y sábados.

Tabla 18 - Flujo de ingreso de material al CCAMR, por día de descarga y por año.

Año		2023	2025	2030	2040	2052
Lunes	$m_{(t/d)}$	-	-	34,94	48,63	61,62
	$p_{(\%)}$	-	-	10,18%	8,98%	8,98%
Martes	$m_{(t/d)}$	-	-	94,72	153,84	194,90
	$p_{(\%)}$	-	-	27,59%	28,42%	28,42%
Miércoles	$m_{(t/d)}$	35,00	88,84	34,94	48,63	61,62
	$p_{(\%)}$	35,58%	40,21%	10,18%	8,98%	8,98%
Jueves	$m_{(t/d)}$	-	-	63,15	102,56	129,94
	$p_{(\%)}$	-	-	18,39%	18,95%	18,95%
Sábados	$m_{(t/d)}$	63,36	132,12	115,56	187,67	237,77
	$p_{(\%)}$	*64,42%*	*59,79%*	*33,66%*	*34,67%*	*34,67%*
Total	$m_{(t/sem)}$	**98,35**	**220,95**	**343,31**	**541,33**	**685,84**
	$m_{prom(t/d)}$	**16,39**	**36,83**	**57,22**	**90,22**	**114,31**

Por último, para determinar los procesos a llevar a cabo en la planta, es necesario definir cuáles son los materiales, no solo que serán clasificados, sino también cuáles son aquellos que necesitarán tareas de acondicionamiento e incluso algún tratamiento que genere agregado de valor u optimizaciones logísticas. Estos materiales, son los numerados en la *tabla 19*. La clasificación de dicha tabla se da en función de la definición que se utiliza en la "jerga" de las cooperativas de recuperadores de materiales reciclables. Esta caracterización responde a diferentes variables como ser el volumen recibido del material, el precio de reventa, la demanda del mercado y la complejidad de los procesos de clasificación y acondicionamiento. Esta categorización, genera dentro de las diferentes categorías, distintos niveles de selectividad y especificación, en donde, en determinados materiales, la clasificación es más selectiva, como ser el caso del papel blanco o de "primera"; y otros donde la clasificación es más general, como el Plástico Bazar, en donde se incluyen varios tipos de plásticos, pasando por el plástico Soplado en el cual se separan en esta categoría solo envases compuestos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD O HDPE).

La operación de las plantas, se propone en un esquema mixto entre el gobierno local y las cooperativas que funcionan actualmente en la ciudad, en donde el estado aporta los costos de operación como combustible, servicios, maquinaria y un salario mínimo para cada trabajador declarado en el funcionamiento del centro; y las cooperativas pone a disposición la mano de obra para llevar adelante la operación y el usufructo total de lo que se desprenda de la venta de material.

Tabla 19 - Nómina y clasificación de materiales reciclables que serán clasificados y acondicionados en el CCAMR de la Ciudad de La Rioja.

Categoría	Materiales	Descripción
Papel	Primera	*Papel blanco*
	Segunda	*Papel tipo revista, ilustración y otros que no sean papel blanco*
	Diario	*Papel de diario*
Cartón		*Todo tipo de cartón*
Plásticos	PET	*Envases de Polietireno Tereftaleno (PET)*
	Soplado	*Envases de Polietileno de Alta Densidad (HDPE o PEAD)*
	Bazar	*Plásticos varios como Policloruro de Vinilo (PVC), Polipropileno (PP), entre otros*
	Film	*Film transparente y de color*
	Nylon	*Todo tipo de nylon*

Metales	Aluminio	*Todo tipo de pieza o envase de aluminio*
	Chatarra	*Incluye todo metal ferroso o no ferrosos que no se aluminio*
Vidrio	Transparente	*Vidrio Transparente*
	Color	*Vidrio de color*
Tetrapak		*Envases multicapa tipo tetrapak*
Telgopor		*Poliestireno Expandido*
Caucho		*Todo tipo de caucho y gomas.*

3.1 PROCESOS

En la *figura 18*, se ilustra el diagrama de flujo del funcionamiento de cada planta. En el mismo, se pueden distinguir, que el punto de partida, es el registro y pesaje de los camiones que ingresan al predio, seguido por el proceso de descarga del material, el cual, tal como se podrá observar en el lay out de la planta, se dará en las zonas destinadas exclusivamente a esta tarea. Luego se dará comienzo a una serie de procesos de clasificación y acondicionamiento, para luego llegar a las etapas de salida de la planta. La salida del material se da, por un lado, a través de la Venta, para lo cual, se deberán llegar a los volúmenes mínimos requerido por los compradores (esto dependerá del material y del comprador), y por el otro lado la salida a través de la Disposición Final, la cual finalizará, con los materiales que no hayan sido posibles de recuperar, por sus condiciones o porque no tengan un circuito de comercialización, en el Relleno Sanitario.

Tal como se mencionó en el párrafo antecesor, en el funcionamiento de la planta tendremos procesos de clasificación y de acondicionamiento que serán descriptos a continuación:

- INGRESO AL PREDIO, REGISTRO Y EGRESO

  Los camiones, se presentan en la puerta del predio, se registra el ingreso con número de interno y ruta de recolección. Cada unidad pasa a la estación de pesaje en donde se pesa la unidad con el material. Luego se dirige a la descarga y una vez descargado el material, se dirige nuevamente a la zona de pesaje para registrar la tara.

  En el caso de los camiones que ingresen vacíos, ya sean unidades que proceden para el proceso de descarte a disposición final, o a buscar material para la venta, la tara se hará al momento del ingreso.

- DESCARGA

  Una vez registrado el ingreso del camión, el mismo se dirige a la zona posterior de la nave, en donde, la operación se realizará guiada por un operario de la planta.

- PRECLASIFICACIÓN

  La PRECLASIFICACIÓN, se da una vez que se dispone el material embolsado procedente de la separación en origen en la “Zona de Descarga” y las bolsas son trasladas y cargadas en la tolva de alimentación de la cinta de clasificación. Aquí, mediante una verificación ocular y una revisión manual superficial, se separan las bolsas que contienen residuos orgánicos, basura o residuos reciclables contaminados y se colocan directamente en contenedores que serán sumados al circuito de descarte. Este proceso se dará manualmente y con ayuda de maquinaria de apoyo como mini pala cargadora.

- CLASIFICACIÓN MANUAL

  Una vez hecha la PRECLASIFICACIÓN, las bolsas son depositadas en la tolva de carga de la cinta de clasificación, que, con la ayuda de una cinta transportadora se irán elevando hasta llegar al dispositivo rompe bolsas, el cual atravesarán, y una vez desgarradas las bolsas y con el contenido disperso, por medio de otra cinta transportadora se dirigirán a la zona de las estaciones de clasificación donde, en cada estación, se encontrará un operario, que retirará el material asignado. La cinta cuenta con 12 puestos de clasificación, cada uno con su conducto correspondiente de descarga en donde se dispone de un bolsón. De los 12 puestos, 2 son asignados a Plástico PET, 1 a Plástico Soplado y a Plástico Bazar, 2 a Papel Blanco, 1 a Papel de diario y segunda, 1 a vidrio transparente, 1 a vidrio color, 1 a film y nylon, 2 a Cartón, 1 a Telgopor, caucho y Tetrapak. Una vez que el material es descargado a través de los conductos correspondientes, en los respectivos bolsones, y una vez que estos se completan, un autoelevador retira los mismos y los lleva hacia la zona de acopio primario. En el caso de ser materiales que no serán prensados, los bolsones, serán depositados directamente en la zona de acopio a la espera de ser retirados por el comprador. Los residuos que no sean reciclables o aquellos reciclables, que por algún motivo no puedan ser recuperados, pasarán de largo en la zona de clasificación y se dirigirán directamente a la zona de rechazo donde caerán en una batea asignada exclusivamente a esto.

- ACOPIO PRIMARIO

  En este proceso, como primera medida, se recibirán los bolsones llenos con los materiales que van a pasar por el proceso de enfardado. Una vez en la zona los bolsones se ordenan por tipo de material y en el caso de ser necesario por color. Una vez que se llega al stock necesario para armar un fardo de material, los bolsones correspondientes, se envían a la zona de prensado enfardado. La cantidad de bolsones necesarios depende del tipo de material.

- PRENSADO Y ENFARDADO

  Una vez en la zona de prensas, dos operarios por equipo proceden a colocar material en la prensa vertical y enfardar el material, que con ayudad de un auto elevador retiran de la zona y es transportado a la zona de acopio.

- MOLIENDA

  El proceso de molienda no solo tiene como objetivo disminuir el volumen del material y así obtener ventajas logísticas, al igual que el prensado, sino también, a diferencia del anterior, generar un valor agregado, ya que algunos materiales molidos o escamados, tienen un mayor precio de mercado, como ser el vidrio o el plástico. Por ello, el vidrio tanto de color como transparente, el PET (color y

transparente) y el plástico soplado (HDPE Y PEAD), pasarán por este proceso, en donde llegarán desde la zona de clasificación directo a la molienda, y en el mismo bolsón se cargará el material molido hacia la zona de acopio. En el caso del vidrio, el producto de molienda será recolectado directamente en una batea dispuesta para tal fin en la zona próxima a uno de los portones de acceso a la nave, en donde será retirada directamente de este lugar por el camión correspondiente. Esto responde exclusivamente a medidas de seguridad relacionadas con la manipulación de este material.

- ACOPIO

  A la zona de acopio, llegarán los materiales en tres formas distintas. La primera en bolsones, provenientes de la zona de clasificación directamente. Los materiales que arriban de esta manera son materiales que, por la baja tasa de generación, se tardaría bastante tiempo en sumar la cantidad necesaria para armar fardos y luego comercializarlos, cosa que demandaría un espacio de acopio primario por demasiado tiempo. En segundo lugar, en la zona de acopio se dispondrán los fardos ordenados por material y color (esto último en el caso de ser necesario) a la espera de completar los requerimientos del comprador en relación a la cantidad. Esto depende del comprador y del tipo de material. Por último, a la zona de acopio se dirigirán los bolsones con plástico molido, también a la espera de acumular el stock requerido por el comprador.

- DISPOSICIÓN FINAL

  Todo lo que sea considerado como rechazo, saldrá por el extremo opuesto a la alimentación de la cinta de clasificación y será descargado en dos bateas las cuales serán conducidas al relleno sanitario de la ciudad y dispuesto en el mismo. A este circuito también se sumarán los residuos embolsados provenientes de la preclasificación, los cuales serán dirigidos en contendores hasta este lugar y descargados a mano y toda la basura generada por el propio funcionamiento del CCAMR.

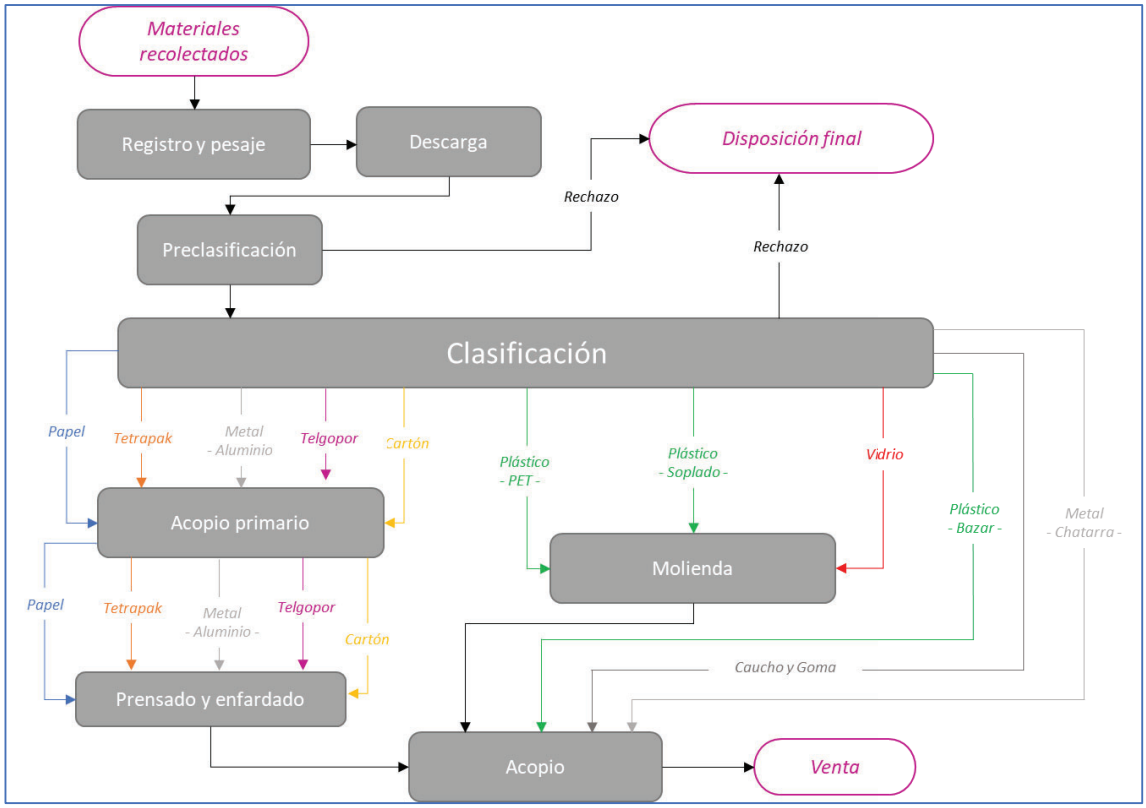


Figura 17 - Diagrama de flujo de funcionamiento del CCAMR.

3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Una vez establecido el flujo de material de ingreso a la planta y los procesos a desarrollar, para realizar el diseño definitivo de la misma, la distribución de espacios, tareas, etc., se definieron los parámetros clave. Entre estos parámetros se encuentran:

- ***Capacidad de clasificación**:* Este parámetro hace referencia a, cuál es el flujo de material que soporta el proceso de clasificación manual. Este indicador, es el más determinante, ya que condiciona al resto de los procesos y es fundamental a la hora de seleccionar el equipamiento. Además, este, debe responder a la tasa de generación y a la necesidad de tratamiento del material.

  Para la determinación de la *capacidad de clasificación*, se evalúa por un lado la capacidad operativa de la cinta de clasificación, que será un determinante en la velocidad de procesado. La maquinaria seleccionada, tiene una capacidad de tratamiento de entre **6 y 10 toneladas por hora** según lo informado por el fabricante. Tal como se ve en la *tabla 20*, considerando jornadas de trabajo de 10 horas separadas en dos grupos de 5 horas de trabajo y una semana de 6 jornadas

laborales, da una capacidad semanal de **360 toneladas**, considerando el límite inferior de capacidad de la cinta.

Tabla 20 - Capacidad de clasificación de la planta del CCAMR calculado en función de los datos del fabricante y de una jornada laboral de 10 horas y 6 jornadas semanales

Flujo de material - cinta de clasificación	(t/h)	6
Jornada laboral	(h)	10
Capacidad de clasificación	**(t/d)**	**60**
	(t/sem.)	**360**

Por otro lado, para establecer la productividad real de cada planta, hay que tener en cuenta la productividad del personal y la cantidad de operarios. Para ello se relevaron distintas experiencias (ver *tabla 21*) donde a partir de la productividad de la planta y de la cantidad de personas que componen la cooperativa, se estableció la tasa de recuperación. Los parámetros que se establecieron para el diseño de este PGIRSU, es que cada línea de clasificación estará compuesta por **85 integrantes** divididos en dos turnos de trabajo y con una productividad promedio de **194,70 kg. por día por operario**. Es decir, cada planta estará conformada por 170 personas, las cuales se van a ir incorporando en línea con la puesta en marcha de cada línea de clasificación, llegando a una dotación total en 2040 de **340 personas entre las dos plantas**. Cabe destacar que, en la cantidad de integrantes de cada planta, se encuentra personal administrativo, ordenanzas, clarckistas, operarios de prensado, entre otros, que desarrollan tareas necesarias, por fuera de la clasificación propiamente dicha. Esto arroja un flujo de tratamiento de material de **casi 16,55 toneladas por día**, duplicándose en 2025, triplicándose en 2030 y cuadruplicándose en 2040 con la puesta en funcionamiento de las cuatro plantas.

A partir de la capacidad de tratamiento y de flujo de ingreso de material, se validó la dinámica semanal de cada planta, verificando que pueda tratar el material ingresado y que su capacidad no quede superada, además de ratificar la necesidad de 2 líneas de clasificación en 2025, de 3 a 2030 y de 4 plantas a partir del 2040. Esta información se puede validar en los gráficos de la *figura 19*, en donde, por un lado, se representan (en columnas), el material que ingresa el respectivo día de la semana, y por el otro lado, la evolución de los materiales que quedan en planta al finalizar cada jornada laboral (en línea). De esta manera, si en esta última serie, se observa que queda en 0, significa que ese día de la semana en la planta no quedaron materiales para clasificar, todos los materiales descargados ya habrán pasado a los procesos de acondicionamiento.

Tabla 21 - Relevamiento de experiencias de cooperativas de clasificación y acondicionamiento de materiales reciclables.

	Productividad (t/d)	Dotación de Personal (pers)	Tasa de Recuperación (kg/d x pers)
Cooperativa El Ceibo	30	80	375,00
El Álamo	18,18	160	113,64
Relevamiento CEMPRE	-	32	95,45
			194,70

- Área de Descarga: este parámetro es determinante para diseñar el sector de la planta destinado a la descarga del material proveniente de la recolección diferenciada. Para ello, se consideró el volumen de residuos provenientes de cada ruta de recolección, que será descargado y con la ayuda de maquinaria complementada, los residuos quedan acomodados en pilas que asemejan pirámides de 1 metros de altura. En la *tabla 22*, se pueden ver las áreas de descarga requeridas por cada día de la semana en cada planta para las diferentes etapas del plan GIRSU. En el apartado final de este capítulo, se describe la memoria de cálculo utilizada para la estimación del área de descarga donde se tuvieron en cuenta principalmente, las descargas diarias y la dinámica de funcionamiento de la planta y un margen de seguridad de 1,5. Teniendo en cuenta que por distintos motivos la productividad de la planta se puede ver afectada momentáneamente.

- *Rechazo*: la cantidad de rechazo es necesaria para establecer los métodos y equipamiento a implementar para realizar la disposición final del material que no puede ser tratado. Este material, no solo hace referencia a residuos orgánicos que pueden llegar por errores en la recolección o materiales reciclables que por las condiciones que llega a la planta no puede ser recuperado, sino también material reciclable, que, por cuestiones de mercado, no tienen valor de reventa o no existen procesos de reciclado. En este caso se tomó un parámetro promedio de 41%, relevado por CEMPRE (2018). Con dicho índice, y teniendo en cuenta, que la productividad de recuperación de material de la planta es de 16,55 t/d, se calculó el rechazo máximo a disponer en un día. Tal como se valida en los datos de la *tabla 23*, la cantidad de rechazo máximo sería de 6,78 toneladas en una jornada de máxima producción.

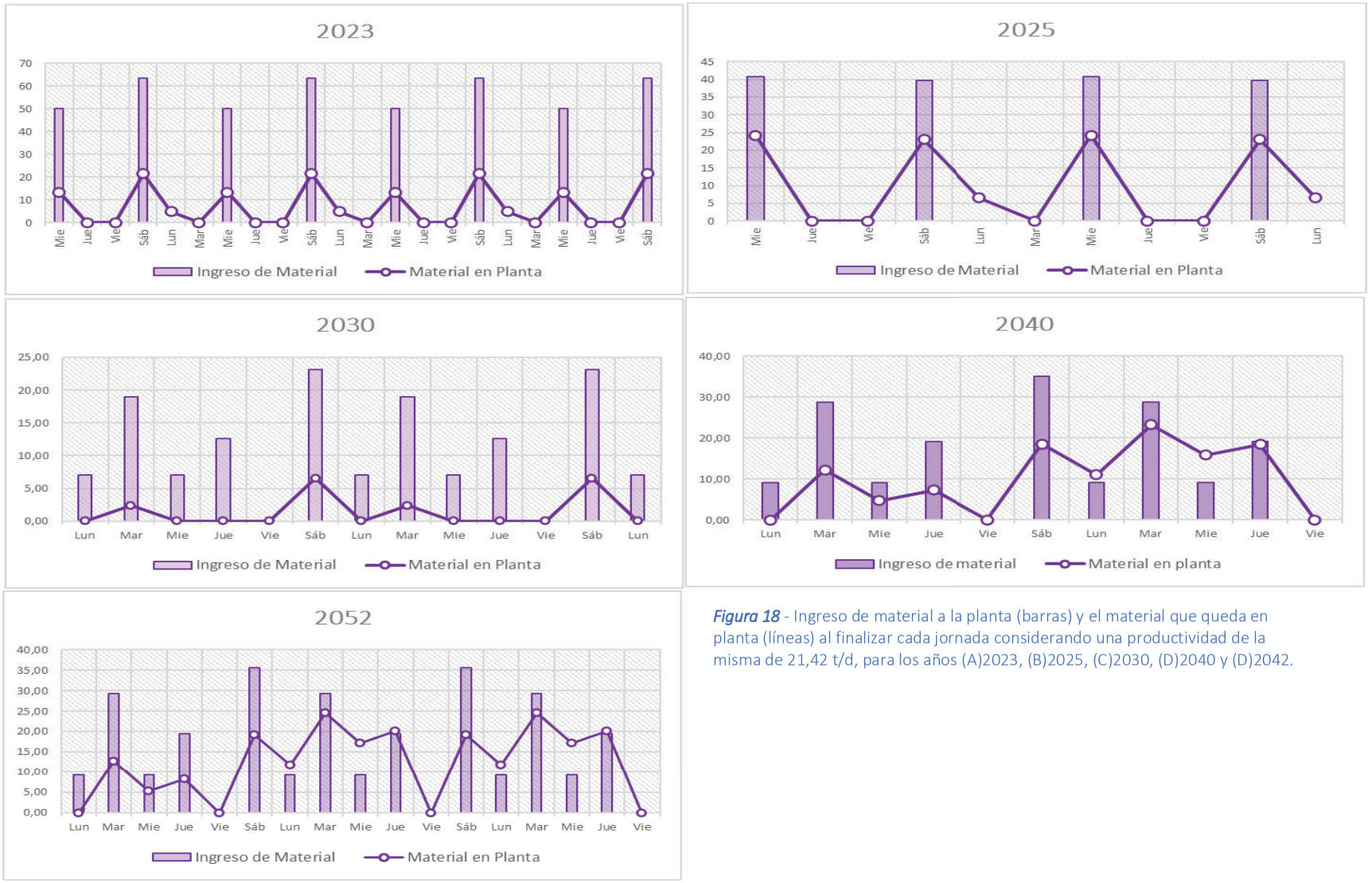


Figura 18 - Ingreso de material a la planta (barras) y el material que queda en planta (líneas) al finalizar cada jornada considerando una productividad de la misma de 21,42 t/d, para los años (A)2023, (B)2025, (C)2030, (D)2040 y (D)2042.

Tabla 22 - Cálculo del área de descarga, en función de las necesidades determinadas por el esquema logístico establecido por el plan GIRSU.

Año	2023	2025	2030	2040	2052
Área de descarga	655,76	739,64	200,49	710,63	748,38

Tabla 23 - Índice de rechazo adoptado para la operatoria del CCAMR de la ciudad de La Rioja, la cantidad máxima rechazo en toneladas, en una jornada de máxima productividad.

índice de rechazo		41%
Rechazo Máximo	(t/d)	6,78
	(m^3/d)	36,18

- Área de Acopio: este sector es relevante para el estacionamiento del material a la espera del retiro y la venta de los mismos. Algunos materiales, tienen que estar protegidos de lluvias, principalmente papel y cartón, por este motivo, es que se tiene en cuenta que esta área va a necesitar de un sector techado. Que como se valida en los cálculos de la *tabla 24*, tendrá un tamaño de 6 m de ancho por 18 m de largo, en donde los fardos del papel y cartón se apilarán en dos niveles, lo que implica un área de 144 m^2, para el acopio de 70 fardos de cartón y 70 de papel, cantidad acorde a un flete de traslado para la venta de estos materiales.

Tabla 24 - Cálculo del área de acopio, destinada al estacionamiento de fardos de papel y cartón.

Material		Papel	Cartón
Cantidad de Fardos		70	70
Tamaño de Fardo (m^2)		1,2 x 0,8 x 1,2	
Niveles de apilamiento		2	2
Área de acopio	largo (m) x ancho (m)	9 x 6	9 x 6
	alto (m)	1,6	1,6
	área (m2)	54	54

3.3. LA PLANTA

Cada nave estará emplazada en un predio de 170 x 95 m tal como se puede ver en la L*ámina 3.2*. El proyecto contempla dos espacios, por un lado, las naves que involucran el alojamiento de las plantas de tratamiento y por el otro un área de administración. Así mismo, un área de estacionamiento y circulación asfaltada.

Las naves contarán con una superficie total de 4.900 m^2, de las cuales 3.488 m^2 son cubiertos y 1.412 m^2 semicubiertos, tal como se puede ver en el plano de la *Lámina 4.3*. Dentro de estos últimos se distribuyen 212 m^2 en la parte anterior destinada a la colocación de bateas de rechazo, y 1.200 m^2 destinados a la zona de descarga en la parte posterior de la planta, zona que se complementa con una zona de descarga descubiertos de 480 m^2, distribuidas en dos sectores de 20 x 12 m. Cabe recordar, que cada nave alojará dos líneas de clasificación, con sus respectivos sectores de clasificación, acopio y acondicionamiento de materiales.

Dentro de la nave se asigna un área de aproximadamente unos 453 m^2 al emplazamiento a cada cinta de clasificación. Esta iniciará con la tolva de descarga por la parte posterior de la planta, en el sector semicubierto y se introducirá en la parte cerrada de la nave, para dar lugar a la zona del rompe bolsas, que se encontrará a 2,5 m de altura. A partir de allí se desarrollará la estructura elevada a la misma altura, donde manualmente se realizarán las tareas de clasificación de los distintos materiales.

Paralelo al sector de clasificación, se desarrolla el sector de acondicionamiento de materiales y circulación, que abarca una superficie aproximada de 1.368 m^2. En este espacio, se centrará la maquinaria destinada a las tareas de acondicionamiento como ser las prensas verticales y los molinos.

Cada nave contará con 4 puertas de acceso peatonal y 1 de vinculación con el área de vestuarios y administración. Estas serán las que actuarán también como salidas de emergencias. Por ello serán Puertas De Emergencia Doble Barral Antipánico de 1,60 X 2 m. Además, 4 portones de acceso vehicular de 5,30 m de alto por 4,00 metros de ancho, equipados con cortinas metálicas, 2 en la parte anterior y dos en la parte posterior.

Por otro lado, de manera anexa a la estructura de la nave, se desarrollará un módulo de 224 m^2, en donde se emplazarán las oficinas administrativas, cocina, comedor, los vestuarios y un salón de usos múltiples (SUM). El detalle de este espacio se puede ver en detalle en el plano de la *Lámina 4.4*.

En lo que respecta al pavimento en el predio, hay un total de 8.524 m^2, siendo 600 m^2 correspondientes al estacionamiento, 1.892 m^2 a las zonas de descarga (semicubiertas y descubiertas) y el resto las calles de circulación y accesos.

3.4. MAQUINARIA

Tal como se desprende a partir de la descripción de los procesos a desarrollar en el CCAMR, la maquinaria emplazada, responderá a las dos ramas principales de trabajo. Por un lado, estará la maquinaria relacionada a las tareas de clasificación y por el otro lado la maquinaria asociada a los circuitos de acondicionamiento. Además, una serie de equipamiento de apoyo, el cual es necesario para facilitar el vínculo entre procesos o los procesos de entrada y/o salida de material a la planta.

Cabe aclarar que el equipamiento mencionado, es por línea de clasificación. En el punto inicial, la primera planta se instalará con todo el equipamiento para la puesta en marcha de las dos líneas de clasificación, a partir de 2030 se equipará la tercera y en 2040 se incorpora el equipamiento correspondiente a la última línea de clasificación.

3.4. A – REGISTRO Y PESAJE

Para el registro y pesaje se va a instalar una báscula con una capacidad máxima de pesaje de 80 toneladas, que será utilizada tanto para el ingreso de material como para el registro del egreso de material vendido. La misma tendrá 20 m de largo por 3 de ancho. Además, se emplazará una cabina con el sistema informático para el registro de ingreso, egreso y pesajes. En este caso, se instalará una por planta, a diferencia del equipamiento que será descripto a continuación, que se detallarán las unidades operativas por línea de clasificación.

3.4. B – CLASIFICACIÓN

La clasificación del material, será conducida a través de una planta de clasificación de R.S.U. marca Deisa con una capacidad de procesamiento de entre 6 y 10 toneladas por hora de material. Esta planta está compuesta por 1 *Tolva de Alimentación* en donde los residuos se vuelcan luego de la preclasificación. A partir de aquí, los materiales son elevados por una cinta transportadora (*Cinta de Elevación*) hacia el *Rompebolsas*, para luego, con el material expuesto y ayudado por la *Cinta de Clasificación*, atravesar la zona de la separación manual. El material que no es seleccionado, termina en la *Cinta de Rechazo*, con destino final las bateas para rechazo.

TOLVA DE ALIMENTACIÓN: Tolva enterrada de 3,00 m de largo por 1,80 m de ancho, con una profundidad de 1,20 m, integrada y hermanada con la *Cinta de Elevación*.

CINTA DE ALIMENTACIÓN: Cinta transportadora DEISA CC10100.

Longitud: 10 m (inclinación 30°)

Ancho de Banda: 1 m.

Potencia de Motor: 4 CV, velocidad 4 a 12 m/min ajustable.

DESGARRADOR DE BOLSAS: Sistema de desgarro mediante cuchillas metálicas giratorias tipo estrella y mando de velocidad media.

CINTA DE CLASIFICACIÓN: Cinta transportadora DEISA CC12100.

Longitud: 30 m

Ancho de Banda: 1 m.

Potencia de Motor: 3 CV, velocidad 8 a 24 m/min ajustable por variador de frecuencia.

CINTA DE SALIDA DE RECHAZOS: Cinta transportadora DEISA CB04100.

Longitud: 6 m.

Ancho de Banda 1 m

Motor eléctrico trifásico normalizado IEC, marca WEG, con protección IP55, de 2 CV, velocidad de banda de 40 m/min.

Encausador de descarga construido en chapa de espesor 2 mm, con refuerzos de perfilería normalizada espesor 4,7 mm.

ESTRUCTURA ELEVADA PARA CINTA DE CLASIFICACIÓN:

Plataforma elevada diseñada de acuerdo a los reglamentos CIRSOC aplicables.

Dimensiones aproximadas: Longitud 30 m. Ancho 3,2 m. Altura: 2,5 m.

Estructura de soporte y plataforma construida con largueros en perfil laminado UPN100, diagonales en L38x4,7.

Piso de chapa semillada antideslizante espesor 3,2 mm.

El ancho mínimo neto de pasarela 600 mm.

Dos escaleras desarrolladas para acceso a la zona superior, con largueros en UPN 100 y escalones antideslizantes. Huella 0,26 m y contrahuella 0,20 m. Las escaleras y la

plataforma superior estarán provistas barandas reglamentarias de altura 1,05 m con pasamanos de tubo de 2", parantes en perfil L38x4,7 guardarodillas en perfil L32x3.2 y rodapiés en planchuela de altura 100 mm.

Todo el conjunto será fijado sobre el piso mediante brocas metálicas expansivas.

Doce conductos de descarga de material seleccionado, de 600 x 400 mm de sección.

TABLERO ELÉCTRICO E INSTALACIÓN ELÉCTRICA:

El tablero eléctrico estará ubicado en la cabecera de la cinta de clasificación, en gabinete normalizado, realizado en chapa doble de espesores 1,6, 2,0 y 2,5 mm, con bastidor de soporte. Pintado con pintura electrostática. Protección total contra contactos, ingreso de polvo o proyección de agua, IP44.

3.3. C – ACONDICIONAMIENTO

PRENSA VERTICAL

Para la confección de los fardos de material, la planta contará con 3 prensas DEISA-EV11, cuyas especificaciones técnicas están detalladas en la *tabla 25*.

Tabla 25 - *Especificaciones técnicas de la prensa vertical marca DEISA modelo EV 11*

MODELOS		DEISA EV11
Tamaño de la máquina	m	1,45 x 1,35 x 3,3
Tamaño del fardo	m	1,20 x 0,8 x 1,20
Peso del fardo (cartón - papel)*	kg	340 - 400
Peso del fardo (plástico) *	kg	260 - 400
Fuerza compactadora	kg	20000 - 30000
Potencia del Motor	hp	12,5
Tiempo de Compactación	seg	30 - 45
Peso de la máquina	kg	1750
Tipo de flejado		Manual

** Los pesos de fardos indicados son tipicos, y pueden variar en función del acondicionamiento del material previo y durante el enfardadc*

MOLINO

Para las tareas de molienda de plásticos, en la planta, se ubicarán 2 molinos DEISA-MP450, que maneja una capacidad de producción de entre 50 y 200 kg/hora. El mismo, cuenta con una boca de alimentación de 450x320 mm que es alimentada a través de una tolva de alimentación y cinta de carga, equipado con 5 cuchillas y un motor de 15 CV.

MOLINO DE VIDRIO

Para el proceso de la trituración de vidrio, se prevé la incorporación de 2 molino Abecom modelo TV140-34(ver especificaciones técnicas en la *tabla 26*). Si bien, la productividad está dada en botellas (de 750 cm3), realizando un cálculo en función con las jornadas laborales y al potencial flujo de ingreso del vidrio, con un solo triturador alcanzaría para canalizar la totalidad del material. En función de esquemas de mantenimiento, sobre exposición a largas jornadas de trabajo continuo, se propone la adquisición de 2 trituradores por línea de clasificación, que trabajen durante un menor tiempo cada uno.

Tabla 26 - Especificaciones técnicas del triturador de vidrio Abecom modelo TV140-34

Características		TV140-34
Cámara de Trituración	mm	400 x 300
Cantidad de ejes portacuchillas	unidad	1
Velocidad de rotación	Rpm	150
Capacidad de producción nominal	botella s/hora	2.000
Potencia del motor	HP	4

3.3. D – MAQUINARIA DE APOYO

BATEAS

Para la operatividad de la planta, se contará con 2 (dos) bateas para el rechazo, de 30 m^3 y 1 (una) de 20 m^3 para el vidrio molido. Las 3 bateas, aptas para equipo ROLL-OFF.

AUTOELEVADOR

Se contará con el apoyo logístico de 2 (dos) autoelevadores, equipados con un motor Diesel, y una capacidad de carga de 2,5 toneladas.

APILADOR

Para el traslado y manipulación de fardos, se contará también, con 2 (dos) apiladores eléctricos, con capacidad de carga de 1,50 Toneladas y torre 3.00 metros, equipada con uñas de 1,15 m de largo.

3.3. E – RESUMEN MAQUINARIA CCAMR

A modo de resumen, en la *tabla 27*, se nomina el equipo descripto anteriormente, para llevar adelante el funcionamiento de cada nave del CCAMR, incluyendo las cantidades necesarias por la línea de clasificación.

Tabla 27 - Nómina de equipamiento para el funcionamiento de cada planta del CCAMR.

	Equipo	Detalle	Cantidad
Registro y Pesaje	Báscula	Báscula de hormigón para camiones con capacidad de pesaje de 80 t. Dimensiones 20 m de largo x 3 m de ancho.	1
	Cabina de control	Cabina de control equipada con sistema informático de báscula y sistema de registro.	1
Clasificación	Cinta de clasificación	Cinta de clasificación DEISA, con tolva de alimentación, cinta de elevación, dispositivo rompe bolsas, cinta de clasificación y cinta de rechazo.	1
Acondicionamiento	Prensa Vertical	Prensa vertical DEISA-EV 11	3
	Molino de plásticos	Molino DEISA-MP450	2
	Triturador de Vidrio	Triturador ABECOM TV140-34	1
Equipamiento de Apoyo	Batea	Batea de 30 m3	2
		Batea de 20 m3	1
	Contenedor	Contenedor plástico de 1.100 L	5
	Autoelevador	Autoelevador Toyota 8FD25	2
	Apilador	Apilador eléctrico HELI CDD15J	2

CAPÍTULO 4 – TRATAMIENTO DE RESTOS DE PODA Y JARDINERÍA

La otra fracción de residuos a tratar en el PGIRSU propuesto en el presente trabajo, se refiere a la fracción verde de los residuos, es decir, los restos de poda y jardinería. Cabe mencionar que el objetivo del tratamiento de esta fracción y del proceso en sí, no es la de producción de compost, sino la de disminución de los residuos que se envían a relleno. Como acción consecuente, surge la producción de compost y chipeo, que eventualmente pueden utilizarse como productos en sí mismos o bien aprovecharse para las coberturas en el relleno sanitario o en el propio proceso.

El tratamiento de la fracción verde será realizado en el predio lindante al predio destinado al actual sitio de disposición final de residuos, tal como se puede ver referenciado en color verde en el *Plano 4.1* del anexo final. Dicho predio se desarrolla en una superficie de 2,3 ha, con acceso compartido en lo que respecta al registro de ingreso y pesaje de camiones. La distribución del centro, tal como se puede ver en los planos de la Lámina 4.2, contará con un sector de descarga de 2.000 m^2, un espacio de chipeo de 800 m2 (20 m x 40 m), un área de acondicionamiento de ramas de 1.200 m2 (30 m x 40 m) y un área total de compostaje de 6.912 m^2 distribuido en 48 camas de 3,6 m de ancho por 40 de largo por 1,6 m de alto (ver lámina 4.3), con un espacio entre camas de 2,80 m y 5 m entre una fila de camas y otra. Además, el centro, cuenta con una construcción de 16 m x 6,20 m que cumplirá la función de pañol, SUM y donde se alojarán los vestuarios.

Por ausencia en datos de la caracterización más precisa de la fracción verde de los residuos es difícil poder diferenciar cuánto de lo generado es poda y cuanto es jardinería, por lo cual se establecerán los parámetros de productividad de tratamiento en función del área de compostaje y de la maquinaria a instalar. No obstante, se tendrá en cuenta el material potencial a ingresar al predio. En la *tabla 28*, se puede validar el flujo de ingreso de residuos de poda y jardinería al CCC, por día de la semana y por año de aplicación del plan GIRSU. En este caso hay que tener en cuenta que el servicio de recolección es semanal, por lo cual, lo recolectado en cada cuadro es el equivalente al acumulado en 7 días. Por otro lado, este flujo se calcula en función de la generación, considerando que no hay fuga de este tipo de residuos del sistema, es decir que es la tasa máxima.

Tabla 28 - Flujo máximo de residuos que ingresará al CCC.

AÑO	2023	2025	2030	2040	2052
Poda y jardinería (t/d)	*11,20*	*11,55*	*12,09*	*13,06*	*13,44*

4.1.- Procesos del CCC

Las funciones del CCC, estarán divididas en 8 procesos, los cuales se ilustran en la *Figura 20* y se detallan a continuación:

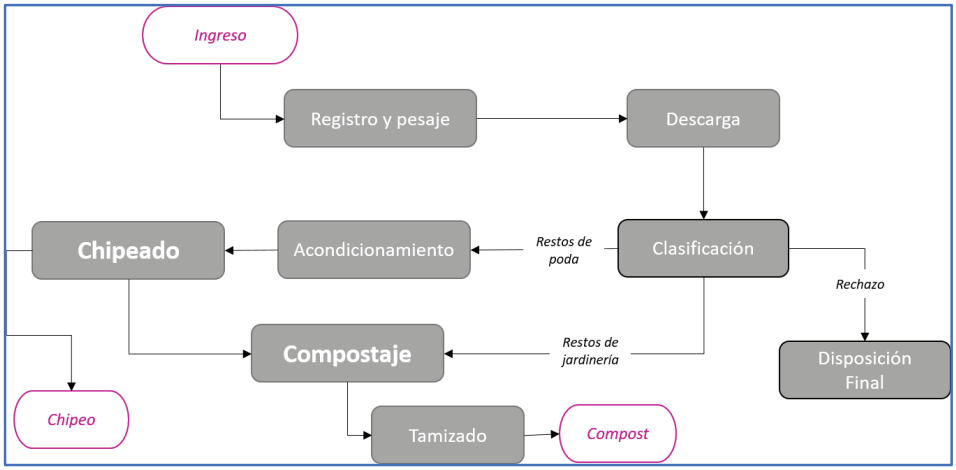


Figura 19 - Diagrama de flujos de los procesos del CCC.

Registro y pesaje: Tal como ya se mencionó el ingreso al predio del CCC, es compartido con el del Relleno Sanitario, por ende, este se da en la posta destinada a esto al ingreso al predio. Allí, se registrarán las unidades provenientes de la recolección de restos, se los pesa y se los dirige hacia el CCC.

Descarga: Una vez ingresados, la descarga, se realizará en los lugares indicados con la asistencia de un operario, en donde la misma se realizará siguiendo un orden, en función del material con el objetivo de optimizar luego los procesos de clasificación.

Clasificación: En este punto, se realiza la discriminación de los restos de jardinería, por un lado, que en el caso de llegar a estar embolsados se procede a sacarlos de las mismas; y por el otro los restos de poda se clasifican en función del tamaño y del estado (verdes o secos). Además, en el caso de llegar a esa instancia, residuos que no correspondan a las fracciones tratadas en este predio, son retiradas del circuito, para luego ser destinadas a la disposición final.

Disposición Final: en el caso de que ingresen otros tipos de residuos, que no sean de las fracciones a tratar en el CCC, serán destinadas al Relleno Sanitario.

Acondicionamiento: Este proceso consta de un pretratamiento que se realiza sobre los restos de poda previo al chipeado, como el trozado de troncos, el quitado de ramas, quitado de hojas, entre otros. Estas tareas se realizan con la ayuda de machetes, hachas, motosierras y otras herramientas de mano.

Chipeado: El proceso de chipeado se va a realizar con el apoyo de 4 chipeadoras, dos destinadas a ramas y troncos de hasta 30 cm de diámetro, y dos destinadas a troncos de mayor diámetro.

Compostaje: El proceso de compostaje se realizará en un sistema aerobio con volteo mecánico.

Tamizado y estacionamiento: Una vez que el compost esté listo, se realizará un tamizado con el fin de eliminar elementos gruesos y otros materiales (metales, piedras, vidrios, entre otros) y quedará estacionado, a la espera de ser utilizado.

En lo que respecta al personal necesario, se propone una planta formada por: 1 coordinador general, 1 personal administrativo y 12 operarios. Los operarios trabajarán en duplas a fin de del esquema operativo, que estará organizado en periodos de Chipeo de no más de 15 minutos con descansos de al menos 30 minutos entre tanda y tanda. Esto se da principalmente para evitar el desgaste excesivo de la maquinaria y sus componentes, y para evitar la exposición de los operarios a los impactos acústicos que las chipeadoras generan, que, según los fabricantes, es de aproximadamente 125 dB. Debido a estos niveles, será obligatorio el uso de protectores auditivos de copa, durante todo el tiempo que las máquinas estén en funcionamiento, además de los Elementos de Protección Personal (EPP) pertinentes. Esta actividad será llevada a cabo por dos personas por chipeadora, las cuales también serán sometidas a un esquema de rotación para que ningún operario esté expuesto a esta tarea de manera continua. Una vez terminada la tanda de Chipeo y, mientras no se esté destinado a tareas, el personal, se abocará a tareas de selección de ramas, acondicionamiento, producción de leña y tareas relacionadas al compostaje.

4.2.- CHIPEADO

Para las tareas de chipeo, el CCC, estará equipado por 2 chipeadoras DEISA 1200 (ver *figura 21*), con una capacidad productiva de entre 6 y 10 toneladas de por hora, destinada a troncos de hasta 30 cm de diámetro y ramas; y 2 chipeadoras Bandit 19XP con capacidad de tratar troncos de hasta 45,7 cm de diámetro y una producción de 10 a 15 toneladas por hora (ver *figura 22*). Si tomamos los límites inferiores de cada modelo, el CCC suma una productividad de chipeo de 32 toneladas por hora, es decir, puede soportar cómodamente el flujo de ingreso de la fracción verde. No obstante, el hecho de que haya dos unidades de cada modelo, radica en poder establecer esquemas de rotación que permitan el correcto mantenimiento y menor desgaste de la maquinaria.

Figura 20 - Chipeadora DEISA-1200.

Figura 21 - Chipeadora Bandit-19XP.

También, para las tareas complementarias, se contará las siguientes herramientas:

- 5 Motosierras
- 12 escobilla barre hoja con mango
- 4 palas de Punta
- 4 azadas
- 4 palas Ancha
- 4 Hachas
- 4 rastrillos
- 4 tridentes
- 4 horquillas de cuatro dientes
- 4 tijeras de poda extensible
- 4 machetes
- 4 serruchos
- 4 carretillas

4.3.- COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas. Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. Es posible interpretar el compostaje como la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost (FAO, 2013).

Como ya se ha mencionado correspondientemente, en lo que respecta a este trabajo, serán sometidos al proceso de compostaje los residuos de poda (troncos, ramas y poda de mayor tamaño de tipo leñoso) y residuos de jardinería, que incluye una gran variedad de residuos de origen vegetal como pasto, hojas, restos de plantas y arbustos, producto del mantenimiento de espacios verdes públicos y privados.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable (FAO, 2013).

Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

- Fase Mesófila: El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor (FAO, 2013).

- Fase Termófila: Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. En especial, a partir de los 60 ºC aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores (FAO, 2013).

- Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista (FAO, 2013).

- Fase de Maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (FAO, 2013).

El transcurso por estas fases, depende de, por un lado, de las condiciones climatológicas del lugar y por otro lado, de las propiedades y características de los residuos sometidos al proceso de compostaje. Esto es determinante para diseñar el método de compostaje y para establecer los parámetros de seguimiento. Como se desprende de la

caracterización de las fases, la temperatura es un parámetro principal, pero, además, son muy relevantes la humedad, la relación carbono-nitrógeno, la oxigenación y el método elegido.

4.3.1.- EL MÉTODO

Para el caso que aborda este PFI, se optó por el método de compostaje en pila a cielo abierto, con volteo mecánico. El tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo (FAO, 2013). El proceso se dará con volteo mecánico a partir de la utilización de una volteadora de compost autopropulsada DEISA RCA360 (ver *figura 23*). Por ello las dimensiones de las camas, tal como lo especifica el fabricante de la máquina, serán de 3 m de ancho 1,6 m de alto y 40 m de largo. De esta manera, se aseguran las condiciones de aerobiosis de la pila.

Para poder establecer la productividad del espacio, como primer parámetro debe considerarse el tiempo de producción del compost. En función de la bibliografía consultada, diversos autores coinciden en que en promedio un compost, producido a partir de la fracción verde de los residuos, madura a los 6 meses (180 días) iniciado el proceso. Teniendo en cuenta este parámetro, y la distribución del CCC, la capacidad de compostaje, tal como se puede validar en la *tabla 29*, es de 3,04 toneladas por día.

Figura 22 - Volteadora de compost autopropulsada DEISA RCA360.

Tabla 29 - Dimensiones de las pilas de compostaje y productividad del CCC.

Dimensiones de las pilas						
Ancho (m)		Largo	Alto	Área base	Volumen	N° de pilas
base inf	base sup	(m)	(m)	(m^2)	(m^3)	
3,6	*1,75*	*40*	*1,6*	*144*	*171,20*	*48*
			Total	*6.912,00*	*8.217,60*	
Tiempo promedio de compostaje (d)					*180*	
PE (ton/m^3)					*0,101*	
Capacidad de Compostaje (t/d)					***3,043***	

4.3.2- RELACIÓN C:N

La relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos siendo el nitrógeno un elemento necesario para la síntesis proteica (Cortez Heredia , 2020). La relación C/N del material de origen debe ser la correcta, para poder obtener un buen compostaje, del cual se pueda aprovechar y retener la mayor cantidad de C y del N. Normalmente los microorganismos usan 30 partes de C por cada una de N; por ello se estima que el rango óptimo de C/N para un buen compostaje oscila entre 25-35 (Jhorar et al., 1991).

Un material que presente una C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno. Los residuos de origen vegetal presentan por lo general una relación C/N elevada (Cortez Heredia , 2020).

A partir de la información obtenida del “MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA AGRICULTURA URBANA” (PNUD, 2002) y tal como se puede validar en la *tabla 30*, los residuos a abordar en el CCC (restos de poda y jardinería), se encuentran por encima del rango recomendable de entrada, por lo cual los tiempos de degradación serán mayores a los de un compostaje balanceado. Por otro lado, si observamos como varía la relación C:N de la hierba (restos de jardinería), incrementa de manera

considerable al secarse. De ahí, la importancia de clasificarlos y evaluar la condición de los mismos a la hora de ingresar a la planta y al proceso de compostaje.

Tabla 30 - Relación C:N de los residuos a compostar en el CCC. Fuente: Composición propia a partir de datos extraídos de PUD (2002)

Residuo	Relación C:N
Restos de poda	*44:1*
Hierba recién cortada	*43:1*
Hierba seca	*81:1*
Residuos Urbanos frescos	*61:1*
Aserrín	*638:1*

4.3.3 – Humedad

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, estos usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material (FAO, 2013) . Si se dan niveles con un contenido en humedad superior al 70%, el agua se va a acumular más rápido de lo que se va a eliminar a través de la aireación o evaporación, y se va a impedir el flujo de oxígeno, dando como resultado unas condiciones anaerobias (Cortez Heredia , 2020).

En el trabajo de Cortez Heredia (2020), en donde se conformó una muestra de 600 kg, el 58,3% se compuso de restos vegetales verdes y el 41,7% de restos de poda y vegetales secos, en la pila de compostaje, se registró un valor inicial de humedad de 57%, el cual es un valor aceptable. Con el paso de las semanas, el porcentaje de humedad en la pila fue aumentando, esto debido a la progresiva descomposición de la materia orgánica de vegetales. Posteriormente, en la etapa Termófila se registró un porcentaje de humedad del 50%, valor que se encuentra dentro de los rangos establecidos. Después de la séptima semana, la pila de compostaje fue perdiendo humedad, esto debido a que, en la fase termófila, se registran los rangos de temperatura más altos de todo el proceso, lo que ocasiona pérdida de agua por evaporación. En la etapa de maduración del proceso de compostaje, se tuvo como porcentaje de humedad un promedio de 26%; este valor está por debajo del rango establecido. El autor remarca, que no hubo ninguna sistematización

del riego, y que según lo mencionado en la discusión del trabajo "…no se utilizó mucho ya que permanecía siempre húmeda por los mismos residuos vegetales fresco…".

Si bien en la mayoría de los trabajos y experiencias encontradas, no se sistematiza el caudal de riego, sino que el mismo se controla indirectamente a través de las mediciones de humedad del compost. A escala de un proyecto de aplicación real (no experimental), es de utilidad poder tener en cuenta un sistema de riego, el cual tenga parámetros de caudal de riego un poco más determinados. En esta línea, y para poder establecer un parámetro de base, se cita el trabajo Hernandez Perez (2013). En el mismo, se obtuvieron durante todo el proceso de compostaje una humedad entre el 45 y 55%, con características bastante estables en las diferentes etapas. Es decir que se mantuvieron óptimas las condiciones de humedad, a diferencia de la experiencia citada en el primer párrafo de este apartado. Estas condiciones, se lograron a partir de la implementación de un sistema de riego por aspersión de 4 días por semana, en los cuales se aplicaba un caudal de 0,25 y 0,30 litros de agua por hora por cada m^2 de superficie expuesta de compost durante 3 horas. Este caudal, varía en función de la época del año y las precipitaciones.

Tomando a Hernandez Perez (2013) como referencia, y considerando que las precipitaciones del lugar de estudio son similares a la de este PFI, y las dimensiones de la altura de las son similares, se propone establecer un caudal de riego de 0,30 litros de agua por hora por cada m^2 de superficie de compost, esto implica un total de **196,07 litros de agua por día de riego por pila**.

4.3.4.- PH

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4,5 a 8,5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro (FAO, 2013).

En el caso de la fracción de residuos abordada en este PFI, en el trabajo de Cortez Heredia (2020), relevó que a partir de la semana 5, producto de la etapa Termófila, el ph asciende hasta llegar a valores de 9, bajando a 8 en el comienzo de la etapa Mesófila II pero estabilizándose en 9 en la etapa de maduración, por encima de los valores considerados como óptimos. Por otro lado, Humani Heredia (2019), el cual también utiliza residuos producto del mantenimiento de áreas verdes, obtiene un pH final del compost de 8,12, similar al pH del trabajo anteriormente mencionado. Un tercer trabajo relevado, Cabrera Córdova (2016), a los residuos de poda y jardinería, los mezcla con un compost orgánico

en relaciones 2:1 y 3:1, obteniendo como resultado un compost de un pH final de entre 7,1 y 7,2 para todas las pruebas. Las características de este inóculo, se puede validar en la *tabla 31*. Cabe destacar que este inóculo es un abono producido y comercializado por la Universidad Nacional de La Molina (Perú), el cual podría ser producido localmente. Por lo tanto, optando por una relación 3:1, se deberán aplicar a cada pila de compostaje con 57 m^3 de abono orgánico en la fase de maduración para estabilizar el ph en los rangos óptimos mencionados.

Tabla 31- Informe de análisis de materia orgánica completa y extractos húmicos del compost de inóculo. **Fuente:** Cabrera Córdova (2016)

Variable	Valor
pH	6.92
C.E es (dS/m)	8.90
M.O (%)	31.55
N (%)	1.57
P_2O_5 (%)	1.20
K_2O (%)	1.10
CaO (%)	7.18
MgO (%)	1.51
Hd (%)	46.76
Na (%)	0.39
Ácidos húmicos (%)	5.96
Ácidos fúlvicos (%)	2.63
Huminas (%)	14.68

4.3.5.- Sistema de riego

Según lo planteado en el punto 4.3.3, para mantener la humedad acorde al proceso de compostaje, es necesario que se le **apliquen a cada pila 196.07 litros de agua 4 veces por semana**. Por otro lado, teniendo en cuenta que, según los datos obtenidos por Bocanegra, Martinez & Massone (2002), el **rendimiento de riego en la zona es de un 65%**, por lo cual se deberán **aplicar a cada pila 301.64 litros de agua por jornada de riego**. Considerando el aporte de las precipitaciones de la zona, surgen los resultados ilustrados en la *tabla 32*, en donde se obtiene en la fila de diferencia, el agua el caudal de agua a aportar de manera artificial a cada pila en los diferentes meses del año.

Tabla 32 - Caudales diario de riego por mes en función de considerar el agua aportada por las precipitaciones.

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Precipitaciones	(mm)	90	60	55	35	10	3	5	3	5	10	30	75
	(l/d m^2)	2,90	2,14	1,77	1,17	0,32	0,10	0,16	0,097	0,17	0,32	1,00	2,42
	(l/pila d)	632,47	466,82	386,51	254,16	70,27	21,79	35,14	21,08	36,31	70,27	217,85	527,06
Dif.	(l/pila d)	330,83	165,18	84,87	**-47,48**	**-231,37**	**-279,86**	**-266,50**	**-280,56**	**-265,33**	**-231,37**	**-83,79**	225,42

Para el proceso de riego, se destinarán 4 horas de la jornada, por lo que el **tiempo de riego deberá ser de 5 minutos por cama de compostaje**. Si consideramos la necesidad máxima de riego que se da en el mes de agosto, se tendrá que disponer de un **flujo de agua de 3.366,69 l/h.** La aplicación del riego la realizarán los operarios del CCC, de manera manual, con el apoyo de mangueras que se conectarán en los puntos de conexión (ver *Lámina 4.4*) y gatillos aspersores. La elección de este método se da en función de que, si bien el factor de humedad es un parámetro importante, no es tan estricto como para ameritar un sistema de riego automático, con la inversión que esto implicaría. La aplicación del agua será medida en función del tiempo de riego por pila teniendo en cuenta el sistema de bombeo adoptado. En el contexto de las diferentes precipitaciones a lo largo del año y teniendo en cuenta el tiempo máximo de riego y el caudal, se obtuvieron los tiempos de riego por pila para los diferentes meses del año, tiempos que se reflejan en la *tabla 33*. Teniendo en cuenta el método de aplicación, es que los tiempos fueron redondeados a tiempos medibles, tal como lo refleja la última fila de la tabla mencionada.

***Tabla 33** - Tiempo de riego por pila calculado y tiempo de riego a aplicar en función de las necesidades de humedad y las precipitaciones.*

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Tiempo de riego	(min / pila)	-	-	-	0,85	4,12	4,99	4,75	5,00	4,73	4,12	1,49	-
	(hh:mm:ss)	-	-	-	00:00:51	00:04:07	00:04:59	00:04:45	00:05:00	00:04:44	00:04:07	00:01:29	-
Tiempo de riego aplicado	(hh:mm:ss)	-	-	-	00:00:50	00:04:10	00:05:00	00:04:45	00:05:00	00:04:45	00:04:10	00:01:30	-

En la lámina 4.5, se puede observar el detalle de la instalación del Sistema de Riego. El mismo, estará dividido en dos circuitos, que repartirán el agua entre las dos columnas de composteras. Los circuitos estarán compuestos por cañería de PEAD de Diámetro Nominal 50, para la conexión entre el tanque y la bomba y de 25 mm para la cañería de circulación. Estos últimos, alimentarán las 12 bocas de riego distribuidas a lo largo de la zona de compostaje, en donde se conectarán las mangueras de riego, que servirán para regar, desde su cercanía, 4 camas de compostaje cada una.

Los dos circuitos serán alimentados por un tanque de 10.000 litros y el agua será impulsada por una bomba centrífuga marca MEP modelo CPM-130A-AT. La bomba presurizará el agua no solo para que la misma llegue hasta el final de los circuitos, sino también para que a se pueda conectar una manguera de hasta 55 m de largo – lo que permitiría llegar desde la punta de la boca de riego hasta el extremo opuesto de las composteras asignadas a esa boca y tener una presión de salida de 1,7 bares para el caso que se desee conectar un aspersor. En el apartado 4.4.B, cerrando el presente capítulo, se detalla la memoria de cálculos que válida la elección de los diferentes componentes del sistema.

4.3.6.- LIXIVIADOS

En el proceso de compostaje siempre hay producción de agua, en esto radica uno de los problemas que presenta la técnica de compostaje como tratamiento de residuos orgánicos. A la cantidad de agua generada en el proceso de degradación hay que añadirle, además, la procedente de la lluvia que percola a través del residuo constituyendo también el LIXIVIADO. Si bien, las características del lixiviado en cuanto a cantidad y composición dependen del tipo de residuo, de la precipitación media y de la evapotranspiración existentes en el emplazamiento, presenta una alta carga orgánica en suspensión y disuelta que hace que sea, hasta ahora, un contaminante peligroso que debe tratarse, dado que se corre el riesgo de contaminar las aguas superficiales y subterráneas (Romero Batallán, 2010).

En función del trabajo SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DEL "ÁREA DE TRANSFORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS VEGETALES Y ENERGÍAS RENOVABLES" DEL JARDÍN BOTÁNICO JOSÉ CELESTINO MUTIS (Moreno Reyes et al.), se obtiene, que, a partir del tratamiento de compostaje de residuos vegetales, se generan **0,29 litros de lixiviados diarios por metro cúbico** de material compostado. Tomando esta tasa de producción como referencia, y aplicada a las camas de compostaje del CCC, **cada pila produce 2,07 litros por hora de lixiviados**, lo que da un total para las 48 pilas, de **99.30 litros de lixiviados por hora.**

En los meses de diciembre, enero y febrero, se da un excedente de agua producto de las precipitaciones, por lo que, para validar la capacidad de las líneas de conducción, se va a considerar, además del lixiviado generado por el propio proceso de compostaje, el excedente de precipitaciones. En este caso se tomará el mes de mayor excedente, es decir enero. El caudal aportado es en promedio de 330 litros diarios por pila, por lo tanto, **el sistema de colectores secundario de lixiviados deberá soportar un caudal de 16,89 l/h cada pila y de 810,61 l/h, deberá soportar el colector principal.**

Este sistema consiste en una "Balsa" de lixiviados, formadas por capas de filtración que comienzan con una capa de tierra de 20 cm de espesor por debajo del nivel del suelo. La misma tiene el objetivo de generar un soporte para los residuos a tratar y proteger las capas inferiores. Por debajo de la misma, se desenvuelve, con un espesor de 10 cm, una capa de arena, la cual se pone en contacto con una capa inferior de grava. El detalle del esquema de la Balsa de Lixiviado se puede observar en la *lámina 4.5*.

Una vez que los lixiviados drenan hasta el fondo de las "balsas", serán canalizados por tuberías de drenaje de 65 mm de Diámetro Nominal (DN). Luego, los mismos, escurren por la pendiente a lo largo del ancho de la cama de compostaje hasta llegar a los extremos de desagotes. A partir de allí, los lixiviados son conducidos por una cañería de DN de 65

mm hasta una tubería troncal, la cual recibe los lixiviados de todas las camas. Esta última, tiene un DN de 110 mm, y conduce la totalidad de los lixiviados hacia la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario, donde será tratados conjuntamente con los lixiviados producidos en este último. El escurrimiento del troncal, se diseñó siguiendo los parámetros de redes fluviales y cloacales, adoptando una pendiente de 3 ‰. Las "balsas" están aisladas del resto del suelo por geomembrana de 1,5 mm de espesor. La misma sobresale del ancho de la cama de compostaje 50 cm por lado, con el fin de poder capturar posibles fugas laterales de lixiviados.

El drenaje de los lixiviados debe garantizar una pendiente mínima de 2% (Ávila Ruiz & Moyano Hernandez, 2019), y según lo planteado en el "MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR" (FAO, 2013), debe tener una inclinación máxima de 4%. En función de esto, se verificó el perfil topográfico de la zona y desnivel natural del terreno, validando, que el terreno no presenta un desnivel significativo. Por ende, la base del sistema de canalización de lixiviados, tendrá una inclinación de 3%. El esquema del circuito de los lixiviados se detalla en la *lámina 4.6*.

4.3.7 – RESUMEN MAQUINARIA CCC

A modo de resumen, en la *tabla 34*, se nomina el equipo descripto anteriormente, para llevar adelante el funcionamiento del CCC, incluyendo las cantidades necesarias.

Tabla 34 - Nómina de equipamiento para el funcionamiento del CCC.

		ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
CHIPEO		Chipeadora	DEISA 1200	u	2
		Chipeadora	Bandit 19XP	u	2
		Motosierra	Motosierra a nafta Stihl 35.2cc MS 210 2.2cv	u	5
		Azada	1,30m 18	u	4
		Pala Ancha	Pala Ancha Cabo Madera 71 Cm	u	4
		Pala de punta	Pala Punta Cabo Corto Fibra De Vidrio Con Mango	u	4
		Hacha	Hacha Grande Mango Cabo Madera 90cm	u	4
		Machete	Machete De Acero 50 Cm de largo	u	4
		Rastrillo	Rastrillo 18 Dientes Curvo De Acero	u	4
		Horquilla	Horquilla Forjada 4 Dientes Con Mango 71cm	u	4
		Serrucho	Serrucho P/ Poda 12 Triple Filo	u	4
		Tijera de podar	Tijera de poda extensible	u	4
		Escoba Barre hojas	Barre hojas metálico con mango de madera	u	12
		Carretilla	Carretilla Cuartilla Reforzada De 85 Lts	u	4
COMPOSTAJE		Volteadora de compost	DEISA RCA360	u	1
		Zaranda	Zaranda electrica de 100 x 65 cm	u	3
	Sistema de recolección de lixiviados	Arena	Sustrato de Arena Grava de Río	m^3	691,2
		Sustrato Inerte	Granza	m^3	3402,93796
		Geomembrana	geomembara de 0,5 mm espesor 6 m ancho de rollo	m	1992
		Drenaje	Tubo de drenaje de DN 65 mm	m	1924,8
		Cañería	DN 65 mm	m	121,33
		Cañería	DN 110 mm	m	200
		Acople	Puntera hembra DN 65mm	u	48
		Acople	Ramal 45° con reducción 110 mm - 63 mm	u	48
		Codo	Codo 90°	u	1
	Sistema de riego	Tanque	Tanque vertical 10.000 L Rotopast Tricapa	u	1
		Bomba Centrífuga	Bomba marca MEP modelo CPM-130A-AT	u	2
		Caño 25 mm	Caño de PEAD marca Tigre DN 25MM	m	506
		Valvula de compuerta	Válvula de compuerta PVC 25 mm	u	14
		Codo de radio corto	Codo 90° Electrofusión P/SDR11	u	17
		Acople T	Tee Electrofusión P/SDR11 DN 25	u	11
		Manguera de riego	Manguera mallada de 1"	m	100
		Aspersor	Aspersor espiga giratorio 1"	u	2

CAPÍTULO 5 – DISPOSICIÓN FINAL

El método de disposición final de la ciudad será bajo la modalidad de Relleno Sanitario (RS). El RS es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Jaramillo, 2002). Esta forma de disposición final ha demostrado ser el método más económico y aceptable para la disposición de desechos sólidos (Tchobanoglous et al., 1982).

Aquí concluirán los residuos provenientes del esquema de recolección de Basura y todos aquellos materiales que en el CCAMR sean considerados como rechazo. Cabe mencionar que esta categoría será compuesta tanto por residuos orgánicos que terminen en dicho centro por errores de recolección o de separación en origen, como también por materiales que pueden ser reciclables, pero que actualmente no son clasificados por no conocerse los métodos de recuperación, no contar con la tecnología para tal fin o la rentabilidad del proceso de recuperación sea baja o desfavorable. El caso más común de este tipo de materiales, son los plásticos de un solo uso o envoltorios de alimentos compuestos por más de un material o el Telgopor. El predio destinado para emplazar el relleno sanitario será el que actualmente es utilizado para la disposición final (ver *figura 24*). La puesta en marcha del Relleno Sanitario se desarrollará en dos frentes, el primero incluye la construcción de la infraestructura y la disposición de los residuos generados actualmente y en el futuro con un periodo de 30 años. Y el segundo aborda el reordenamiento de los residuos que están dispuestos en el actual vertedero y la recuperación de esas tierras. Esta reubicación de los residuos ya presente en el predio permitirá darle saneamiento y un respectivo tratamiento al suelo para emplazar una segunda etapa del relleno sanitario y volver a utilizar este suelo.

Figura 23 - Localización del predio del CCyC y el actual predio de disposición final y futura localización del relleno sanitario sobre Rutan Nacional 38.

Tal como lo describe Röwen (2002), en comparación con un botadero, la construcción de un relleno sanitario tiene las siguientes ventajas:

- Mejor protección del medio ambiente (drenaje y tratamiento de las aguas lixiviadas, drenaje de gas por chimeneas, cubierta de los desechos)
- Mejor seguridad para los trabajadores (taludes definidos, compactación de la basura, menos peligro de caída del cuerpo de basura, menos contaminación en el lugar de trabajo)
- Ventajas económicas para el municipio: Con un manejo adecuado del relleno sanitario se puede utilizar al máximo el terreno. La compactación de la basura y la construcción planificada, extienden la vida útil del relleno y permiten un uso más prolongado del terreno.
- Menos molestia y contaminación para los ciudadanos: El manejo adecuado comienza con la selección del terreno para el relleno, que no debe ser cerca de sitios habitados.

Dentro de los métodos de RS, se distinguen los manuales, los mecanizados y los parcialmente mecanizados, siendo la principal diferencia entre los tres modelos, la manera de compactación de los residuos en el propio relleno. Para el caso abordado en este PFI, que aborda una población de más de 200 mil habitantes, se optó por un RS mecanizado, como lo recomienda la diferente bibliografía consultada.

El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático (Jaramillo, 2002). Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario:

- Método de área: En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial (Jaramillo, 2002).

- Método de trinchera o zanja: Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Los residuos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada (Jaramillo, 2002).

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados (Jaramillo, 2002). En la *figura 24*, se puede ver un esquema ilustrativo de un relleno sanitario donde se combinan ambos métodos.

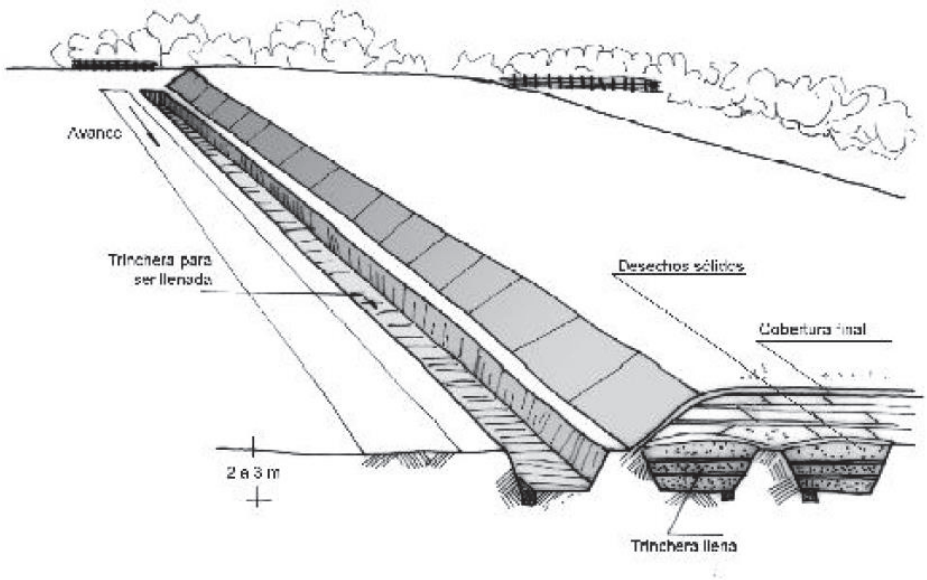


Figura 24 - Esquema ilustrativo de un relleno sanitario en donde se combinan el método de área y el método de trinchera. Fte: *Jaramillo, 2002*

Antes de seguir avanzando con el diseño y la evaluación de la locación del RS, se calculó el flujo de ingreso anual y el promedio diario de residuos. Los residuos que se destinan a disposición final están compuestos por:

- Los residuos considerados como basura (orgánicos y otros) recolectados en el correspondiente servicio.
- Los residuos reciclables no recolectados en el servicio de recolección de materiales reciclables.
- El rechazo proveniente del CCAMR de la ciudad.

En los datos que se reflejan en la *tabla 35*, se puede validar el flujo de ingreso de residuos al RS, en peso y volumen, para el periodo de vida útil de 30 años del relleno.

Tabla 35 - Flujo de ingreso de residuos anuales y promedio diario, en peso, volumen y área, para cada año en el periodo 2023 – 2052.

AÑO	Ingreso a RS		Volumen de Residuos	
	Total (t)	Diario (t/d)	Anual (m^3)	Diario (m^3)
2023	62.780,31	172,00	89.050,09	243,97
2024	64.168,94	175,81	91.019,78	249,37
2025	62.909,17	172,35	89.232,86	244,47
2026	64.301,52	176,17	91.207,83	249,88
2027	65.725,13	180,07	93.227,14	255,42
2028	67.180,70	184,06	95.291,78	261,07
2029	68.668,96	188,13	97.402,78	266,86
2030	66.776,41	182,95	94.718,31	259,50
2031	68.128,28	186,65	96.635,85	264,76
2032	69.507,95	190,43	98.592,84	270,12
2033	70.916,01	194,29	100.590,09	275,59
2034	72.353,04	198,23	102.628,43	281,17
2035	73.819,65	202,25	104.708,72	286,87
2036	75.316,44	206,35	106.831,83	292,69
2037	76.844,04	210,53	108.998,65	298,63
2038	78.403,10	214,80	111.210,07	304,69
2039	79.994,25	219,16	113.467,02	310,87
2040	77.987,05	213,66	96.280,30	263,78
2041	79.570,68	218,00	98.235,40	269,14
2042	81.186,93	222,43	100.230,77	274,60
2043	82.836,48	226,95	102.267,25	280,18
2044	84.520,01	231,56	104.345,69	285,88
2045	86.238,23	236,27	106.466,95	291,69
2046	87.991,87	241,07	108.631,93	297,62
2047	89.781,64	245,98	110.841,54	303,68
2048	91.608,32	250,98	113.096,69	309,85
2049	93.472,64	256,09	115.398,33	316,16
2050	95.375,41	261,30	117.747,42	322,60
2051	97.317,42	266,62	120.144,96	329,16
2052	99.299,47	272,05	122.591,94	335,87

5.1.- EL PREDIO

La selección del lugar para el RS tiene tres componentes determinantes, según lo planteado por Röven (2002):

- *Factores económicos,* entre los que se destacan la distancia del área de procedencia de los desechos, la distancia a otras plantas de tratamiento, la propiedad del terreno, las dimensiones, la posibilidad de expansión y, algo fundamental, los caminos de acceso.
- *Factores ambientales,* como la protección de las aguas superficiales (existencia de fuentes superficiales o sub-superficiales, nacimientos de agua), valor ecológico del terreno en cuestión, la proximidad a áreas habitadas, las barreras naturales (taludes, bosques), la morfología del terreno (posibilidad de evacuar las aguas lixiviadas con pendiente natural),la existencia de áreas protegidas, el nivel de las capas freáticas (se prefiere una profundidad mayor a 3 m durante todo el año) y las condiciones climatológicas (viento predominante, precipitación)
- *Factores técnicos,* como la pendiente del terreno (se prefiere la construcción en terreno plano o ligeramente inclinado; entre 3 - 12 %), las condiciones sísmicas, la presencia de fallas geológicas, la estructura y composición del suelo (se prefieren suelos con alto porcentaje de arcilla para asegurar baja permeabilidad), la existencia de material apropiado para la cobertura y el volumen de basura a disponer

Además del cuerpo de basura, se necesita una cierta área para la infraestructura del relleno sanitario, como el tratamiento de las aguas lixiviadas, Vías de acceso y vías internas, balanza y caseta de registro, el cerramiento o cerco vivo que separa el relleno de sus alrededores, bodega para el almacenaje de las herramientas y materiales de uso, instalaciones sanitarias para los obreros, entre otros. El porcentaje del área ocupada por estas instalaciones disminuye proporcionalmente con el tamaño del relleno sanitario. En los rellenos pequeños, se puede calcular el área requerida para infraestructura entre 20 y 40 % del área del cuerpo de basura. En los rellenos medianos, este porcentaje baja hasta entre 10 – 20 %, y en los rellenos grandes se puede estimar el área necesaria para la infraestructura con menos del 10 % del área del cuerpo de basura (Röven, 2002). Teniendo en cuenta esto y la necesidad de superficie planteada en función de los residuos a disponer, el predio requiere un área de 153 ha.

Por lo anteriormente mencionado, es que se decide poner en valor el predio municipal utilizado actualmente para la disposición final. Tal como se puede observar en la lámina de implantación (*lámina 5.1*), el predio actual de 683 m x 1.470 m, pasará a ser de 1.080 m x 1.470 m, sumando una superficie de 158 hectáreas, teniendo en cuenta que en este predio también se encuentra el CCC.

5.2.- EL MÉTODO

El RS, propuesto para la ciudad de La Rioja en este PFI, se basa en un esquema combinado entre el método de área, en donde, tal como se puede observar en la *lámina 5.2*, cada módulo estará compuesto por 18 trincheras distribuidas en dos niveles, un nivel por debajo de la línea del suelo original, formado por 2 columnas de 5 trincheras cada una; y el segundo nivel ubicado por encima del nivel del suelo original, formado por 2 columnas de 4 filas de celdas cada una.

Los módulos, consisten, en una unidad de diseño circundada perimetralmente por un terraplén de cerramiento y circulación, por donde transitan los vehículos recolectores antes y después de la descarga de los residuos. Desde el punto de vista constructivo, el módulo conforma un recinto estanco que impide la migración de líquidos lixiviados hacia el exterior del mismo o se filtren hacia el acuífero. Debe evitar además el ingreso de agua del exterior (Burquin, 2018).

5.3.- DISEÑO DE TRINCHERAS Y CELDAS

Tanto las celdas como las trincheras tienen el objetivo de alojar los residuos generados en un periodo de 30 días, y por lo tanto tendrán las mismas dimensiones y forma. Ambas tendrán una forma de pirámide truncada, con una base mayor de 30 x 153 m, una altura de 3 m y una base menor de 27 x 150 m, con un ángulo de inclinación de las paredes de 45°. La diferencia, es que las trincheras, se construirán por debajo de la cota 0 de la superficie actual, mientras que las celdas se construirán por encima de la línea de superficie. Por lo tanto, acudiendo a las dimensiones acusadas, **cada trinchera/celda, tendrá un volumen de 12.951,55 m^3**. En la *lámina 5.2*, se puede ver el detalle constructivo, tanto de las trincheras, como de las celdas y los módulos.

Por otro lado, establecida la cantidad de residuos que serán dispuestas anualmente en el RS y teniendo en cuenta que la densidad de los residuos compactados en el relleno mecanizado es de entre 600 y 810 kg/m^3, se calculó el volumen de residuos a ubicar en el relleno sanitario. Para ello se consideró que la densidad de los residuos a disponer en los primeros años del plan es de un promedio de las densidades mencionadas (705 kg/m^3), teniendo en cuenta que la composición de los mismos, aún va a contener más de la mitad de los reciclables generados en la ciudad en los primeros años y un poco más de la mitad hasta 2040. Luego a partir de este año se consideró una densidad de 810 kg/m^3, debido a que la mayoría de la fracción de residuos reciclables estará por fuera del esquema de RS. Para todos los casos, se tomó un factor de seguridad del 30%, valor que se aplicará en esta instancia, para luego ser considerado en el resto de los parámetros de diseño. Además, se debe considerar un 20% de volumen de material de cobertura luego de cada capa de residuos dispuesta. De esta manera, el volumen calculado para el diseño del relleno sanitario será de un 50% más al volumen de los residuos a disponer. Teniendo

en cuenta estos parámetros y el volumen de las trincheras, para disponer correctamente los residuos destinados a disposición final para el periodo 2023-2052 de la ciudad capital, serán necesarias **360 celdas/trincheras**, es decir **20 módulos**. Lo que implica una superficie de casi 121 hectáreas, solamente para la disposición de los residuos.

Tal como ya se mencionó, en el predio del RS de la ciudad de La Rioja, no solamente se dispondrán de manera segura los residuos generados en el periodo que aborda el presente PFI, sino que también se realizará una reorganización de los residuos alojados actualmente, ya que los mismos se disponen a cielo abierto y sin ningún tipo de orden. Debido a la falta de medidas de seguridad, es muy complicado realizar un relevamiento de campo a nivel del suelo en ese sitio, y solo se cuenta con documentos fotográficos y audiovisuales de una investigación periodística e imágenes satelitales. Por ello, como primera medida, y con la ayuda de las imágenes satelitales y del programa Google Earth Pro, se identificaron los diferentes focos de residuos dispuestos en el lugar. A partir de este relevamiento, se detectaron 21 focos de residuos, que se los puede identificar en la imagen de *la figura 25*, sombreados en azul. Con la ayuda del programa mencionado, se obtuvo el área y las diferencias de altura de los montículos, datos presentes en la *tabla 36.* Con estos datos, se pudo calcular el volumen necesario para la reorganización de los residuos dispuestos y con ello, identificar que solo será necesario un módulo para el reordenamiento de los residuos alojados en el predio. Esto incrementará la superficie asignada a la disposición de los residuos en 6 ha, **sumando un total de 127 ha**.

Figura 25 - *Imagen satelital (2023) del predio disposición final de residuos de la ciudad de La Rioja con los focos de residuos sombreados en color azul.*

Tabla 36 - Focos de residuos identificados en el predio de disposición final de residuos, la superficie de cada uno (en m^2), la altura promedio (m) y el volumen (m^3), la cantidad de trincheras y módulos implicados en la reorganización.

#	A m^2	H m	Vprom m^3
1	38.851	3,10	120.438,10
2	1.144	0,50	572,00
3	1.342	0,59	791,78
4	419	0,59	247,21
5	871	0,90	783,90
6	17.929	1,54	27.610,66
7	3.940	1,08	4.255,20
8	2.759	0,61	1.682,99
9	2.845	0,60	1.707,00
10	654	0,38	248,52
11	2.125	0,50	1.062,50
12	144	0,50	72,00
13	334	0,50	167,00
14	1.591	1,42	2.259,22
15	894	0,29	259,26
16	5.918	3,38	20.002,84
17	4.037	2,01	8.114,37
18	1.933	0,70	1.353,10
19	2.354	1,16	2.730,64
20	271	0,50	135,50
21	230	0,50	115,00
Volumen total		(m^3)	194.608,79
Factor de seguridad			20%
Volumen total de diselo		(m^3)	233.530,55
Cantidad de trincheras			18,03
Cantidad de módulos			1,00

5.4.- AISLAMIENTO DEL SUELO

Una de las principales características de los rellenos sanitarios es el aislamiento de la base del propio sitio de disposición y el suelo del lugar. Por ello, el fondo y taludes deben ser impermeabilizados a fin de evitar la migración de líquidos y gases hacia el exterior del módulo, previniendo de esta manera la contaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas (Röven, 2002). Este aislamiento se desarrolla a partir de un sistema de revestimiento compuesto de múltiples capas de arcilla o geosintéticos (principalmente geomembranas), para evitar el movimiento de cualquier líquido entre el vertedero y sitio circundante. La selección del material del revestimiento debe basarse en el tipo de residuo y método de operación del relleno. Los revestimientos geosintéticos pueden limitar las fugas de manera más eficiente, pero son susceptibles a dañarse durante la instalación. Las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) se recomiendan debido a su resistencia a la mayoría de los productos químicos (Meegoda et al., 2016). En general, se utilizan geomembranas de 1,5 a 2,0 mm de espesor para revestir los vertederos (Bagchi 2004), las cuales pueden ser combinadas en una o más capas.

Para una mejor protección de las aguas subterráneas, es muy importante que se construya una capa mineral impermeable al fondo del relleno sanitario, a fin de impedir la filtración de las aguas lixiviadas hacia las capas freáticas (Röven, 2002), esto actúa de backup, ante alguna posible filtración o falla puntual de la capa sintética, teóricamente se recomienda una capa de arcilla de 15 a 30 cm de espesor como mínimo (Meegoda et al., 2016). En este PFI, se optará por implementar la técnica utilizada en la construcción de los módulos de la CEAMSE (Coordinación Ecológica Área Metropolitana), en la cual se instala una barrera inferior impermeable materializada, a falta de suelo natural, por una membrana bentónica (GCL), que cumple con una constante de impermeabilización de $1x10^{-7}$, asegurando iguales condiciones que un metro de suelo arcilloso (CEAMSE, 2018). Por encima de esta capa, se colocará un revestimiento de una capa plástica de HDPE de 2 mm de espesor en toda la geometría de cada módulo.

Teniendo en cuenta las presentaciones de comercialización de GLC (rollos de 5,1 m de ancho por 40 m de largo) y el de rollos de membrana de HDPE (rollos de 8 m de ancho por 50 m de largo), se necesitarán **por módulo 362 y 180 rollos respectivamente** de cada material. Hay que tener en cuenta que, en las uniones, se utilizarán doble soldaduras, lo que superpone las láminas en 15 cm (ver *figura 26*) y además es recomendable realizar una configuración escalonada, a la hora de la colocación, tal como se ve en la *figura 27*, es por ello que el número de rollos incluye un 10% de factor de seguridad.

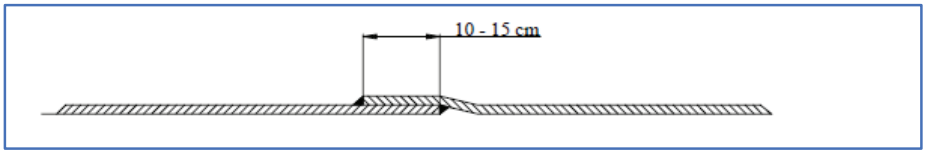


Figura 26 - *Juntura de laminillas con doble soldadura. FTE:* Röven (2002)

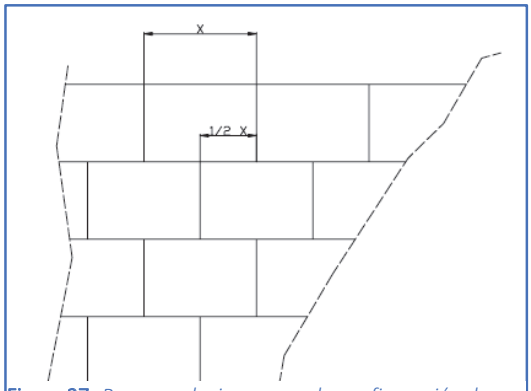


Figura 27- *Recomendaciones para la configuración de instalación de laminillas. FTE:* Röven (2002)

5.5.- GENERACIÓN DE LIXIVIADOS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN

Para el desarrollo del sistema de recolección de lixiviados, el primer paso es estimar el caudal de líquido a recolectar. Esto incluye el agua que aportan los residuos en su propia composición y el agua que incide a partir de las condiciones ambientales como las precipitaciones. Para ello, se realizó el balance hídrico del relleno, siguiendo lo planteado por Fenn, Hanley, & De Gearce (1975). En la *figura 28,* se puede ver un esquema del balance hídrico en un relleno sanitario.

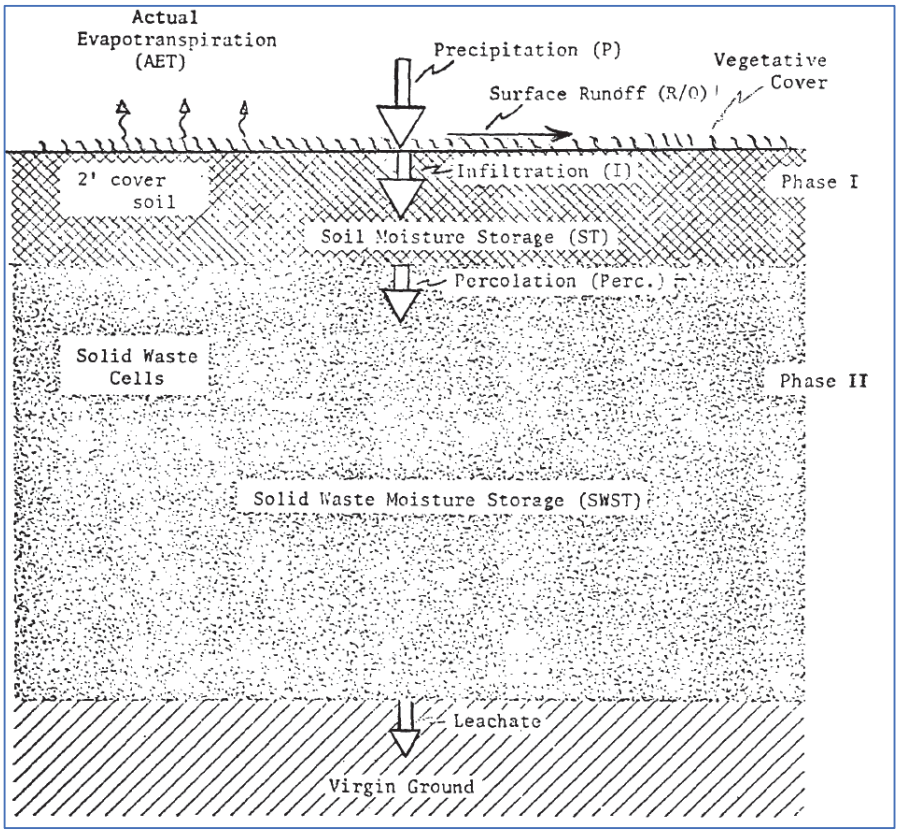


Figura 28 - *Esquema representativo del balance hídrico de un relleno sanitario. Fte: Fenn, Hanley, & De Gearce (1975).*

El mencionado balance hídrico, se determina a partir de las siguientes ecuaciones:

- PERC: cantidad de lixiviados percolados ≤ 0 las precipitaciones no producen lixiviados
  > 0 las precipitaciones generan lixiviados

$$PERC = I - PET$$

- I(mm): cantidad de agua que se infiltra a través de la unidad de cobertura del vertedero en
los residuos sólidos compactados.

$$I = P - RO$$

- P(mm): precipitación por unidad de superficie.
- RO (mm): escorrentía por unidad de superficie.

$$RO = C_{RO} * P$$

Siendo C_{RO} el coeficiente de escorrentía, que, para las características del suelo del RS, se adopta un valor de 0,75.

- PET (mm): cantidad de agua perdida por evapotranspiración por unidad de área.

Los índices de evapotranspiración de La Rioja, fueron extraídos del "Atlas Agroclimático de la República Argentina" (Murphy, 2008)

En la *tabla 37,* se reflejan los resultados del cálculo del balance hídrico. En la última columna, se puede verificar que en ningún mes del año la percolación toma valores positivos, esto significa que no hay influencia de las precipitaciones locales en la generación de lixiviados. Esto es consecuente también con las condiciones ambientales locales.

Tabla 37 - Resultados del cálculo del balance hídrico en el RS de La Rioja, aplicando el modelo de Fenn, Hanley, & De Gearce (1975).

Mes	P (mm)	RO (mm)	I (mm)	PET (mm)	PERC (mm)
Enero	90	6,75	83,25	160	-76,75
Febreo	60	4,5	55,5	130	-74,5
Marzo	55	4,125	50,875	110	-59,125
Abril	35	2,625	32,375	80	-47,625
Mayo	10	0,75	9,25	60	-50,75
Junio	3	0,225	2,775	30	-27,225
Julio	5	0,375	4,625	50	-45,375
Agosto	3	0,225	2,775	80	-77,225
Septiembre	5	0,375	4,625	110	-105,375
Octubre	10	0,75	9,25	140	-130,75
Noviembre	30	2,25	27,75	170	-142,25
Diciembre	75	5,625	69,375	160	-90,625

Uno de los modelos más utilizados para el cálculo de generación de lixiviados en RS, es el propuesto por Tchobanoglous (1994), este modelo es desarrollado en regiones en donde existe una influencia de la humedad ambiente y las precipitaciones en la generación de los lixiviados. Teniendo en cuenta que no sucede esto en La Rioja, se tomó como

referencia el trabajo de Von Buchwald de Janon & Martínez Neira (2018), en donde se desarrolla el método de Tchobanoglus sin incidencia de lluvias, y analizando diferentes composiciones de residuos y humedad de la materia orgánica. Se toma como referencia los resultados obtenidos a partir de una composición del 61% de materia orgánica (similar al caso de este PFI) y 42% de huumedad. Cabe aclarar que las conclusiones de este trabajo, manifiestan que los resultados obtenidos experimentalmente, son consecuentes con los de Tchobanoglous (1994). Estos resultados determinan que **se generan 214,16 Kg de lixiviados por tonelada de residuos** con un pico de 125,39, es decir una generación de **210 litros por tonelada de residuos**. La mayor producción se da en los primeros cinco días (Von Buchwald de Janon & Martínez Neira, 2018), a partir de ello se construyó la curva de generación de lixiviado, a partir de una distribución normal. Resultados que se presentan en la *tabla 38* y se grafican en la *figura 29.* Esto incluye lo generado por la descomposición propia de los residuos, como también lo consumido en la producción de los gases.

Tabla 38 - *Lixiviados infiltrados en kg por día por tonelada de residuos.*

Días	Lixiviados generados ($kg/ton_{Residuos}$)
0	0,00
1	31,10
2	152,29
3	31,10
4	0,26
5	0,00

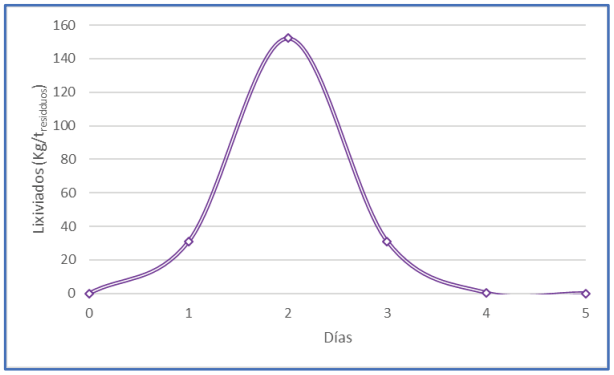


Figura 29 - Distribución temporal de los lixiviados infiltrados en kg por tonelada de residuos.

Teniendo en cuenta lo planteado, se procedió a calcular el caudal de lixiviados para los diferentes años del periodo de vida del RS. Estos datos se reflejan en la *tabla 39.*

A partir de lo establecido anteriormente se calculó el caudal máximo que debe soportar el sistema de desagote de lixiviados, en función de las dinámicas de superposición. Esto se calculó para el año 2052, año en el que se va a producir la mayor cantidad de lixiviados, de 58,60 m^3/d. Esto se puede observar en el gráfico de la *figura 30.*

Tabla 39 - Lixiviados infiltrados en m^3 por día y el caudal de diseño adoptado con un margen de seguridad del 20%.

AÑO	$M_{residuos}$ t/d	Lix_{max} m^3/d	Coeficiente de seguridad	$Q_{diseño}$ m^3/d
2023	172,00	36,95	20%	44,34
2024	175,81	37,76		45,32
2025	172,35	37,02		44,43
2026	176,17	37,84		45,41
2027	180,07	38,68		46,42
2028	184,06	39,54		47,44
2029	188,13	40,41		48,49
2030	182,95	39,30		47,16
2031	186,65	40,09		48,11
2032	190,43	40,91		49,09
2033	194,29	41,73		50,08
2034	198,23	42,58		51,10
2035	202,25	43,44		52,13
2036	206,35	44,32		53,19
2037	210,53	45,22		54,27
2038	214,80	46,14		55,37
2039	219,16	47,08		56,49
2040	213,66	45,90		55,07
2041	218,00	46,83		56,19
2042	222,43	47,78		57,33
2043	226,95	48,75		58,50
2044	231,56	49,74		59,69
2045	236,27	50,75		60,90
2046	241,07	51,78		62,14
2047	245,98	52,84		63,40
2048	250,98	53,91		64,69
2049	256,09	55,01		66,01
2050	261,30	56,13		67,35
2051	266,62	57,27		68,73
2052	272,05	58,44		70,13

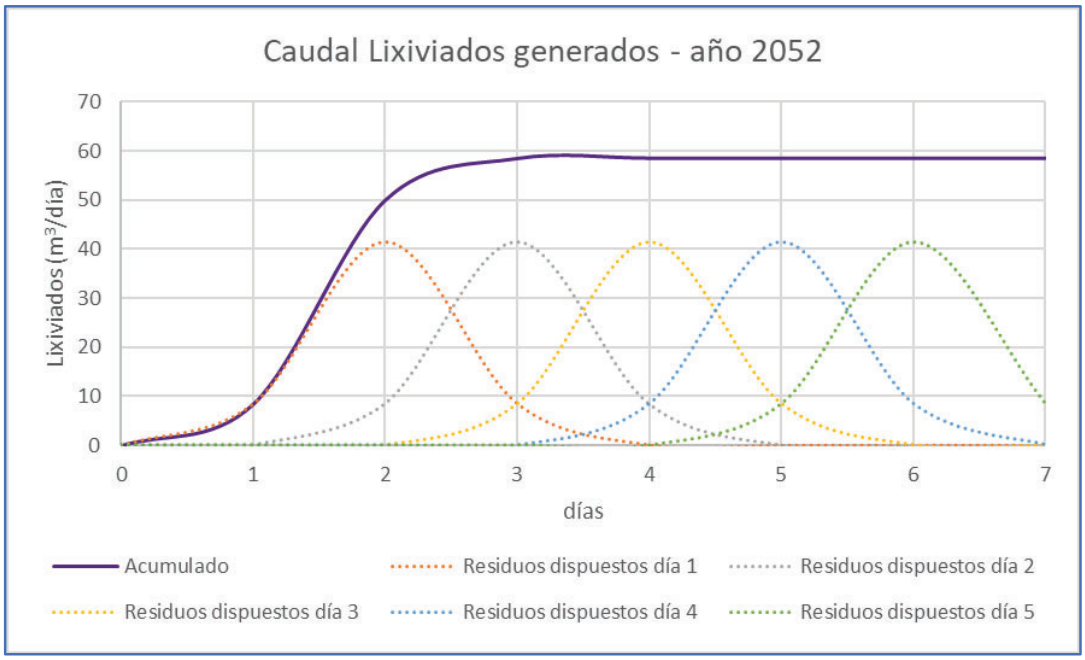


Figura 30 - *Dinámica temporal de superposición de la infiltración de lixiviados en una trinchera en el año 2052.*

Para el sistema de recolección de lixiviados, se utilizará el drenaje de PVC de 110 mm de diámetro, con la configuración de espina de pescado dentro de la celda, conformada por un colector primario y colectores secundarios de 10 m de largo y separados cada 10 metros. El cual se valida su funcionabilidad utilizando el programa HCANALES V3.0 (ver *figura 31*, tanto para el caudal mínimo (correspondiente al año 2023), como para el caudal máximo (correspondiente al año 2052). A partir de esta validación también se verificaron la velocidad de drenaje por gravedad para los dos regímenes, cuyos límites son 0,15 y 0,30 m/s. Por último, se verificó la capacidad de carga del colector:

Y: Tirante normal

D: diámetro del colector

C: capacidad de carga utilizada

$$C = \frac{Y}{D} * 100\% = \frac{0{,}0256\ m}{0{,}1100\ m} * 100\% = 23{,}27\%$$

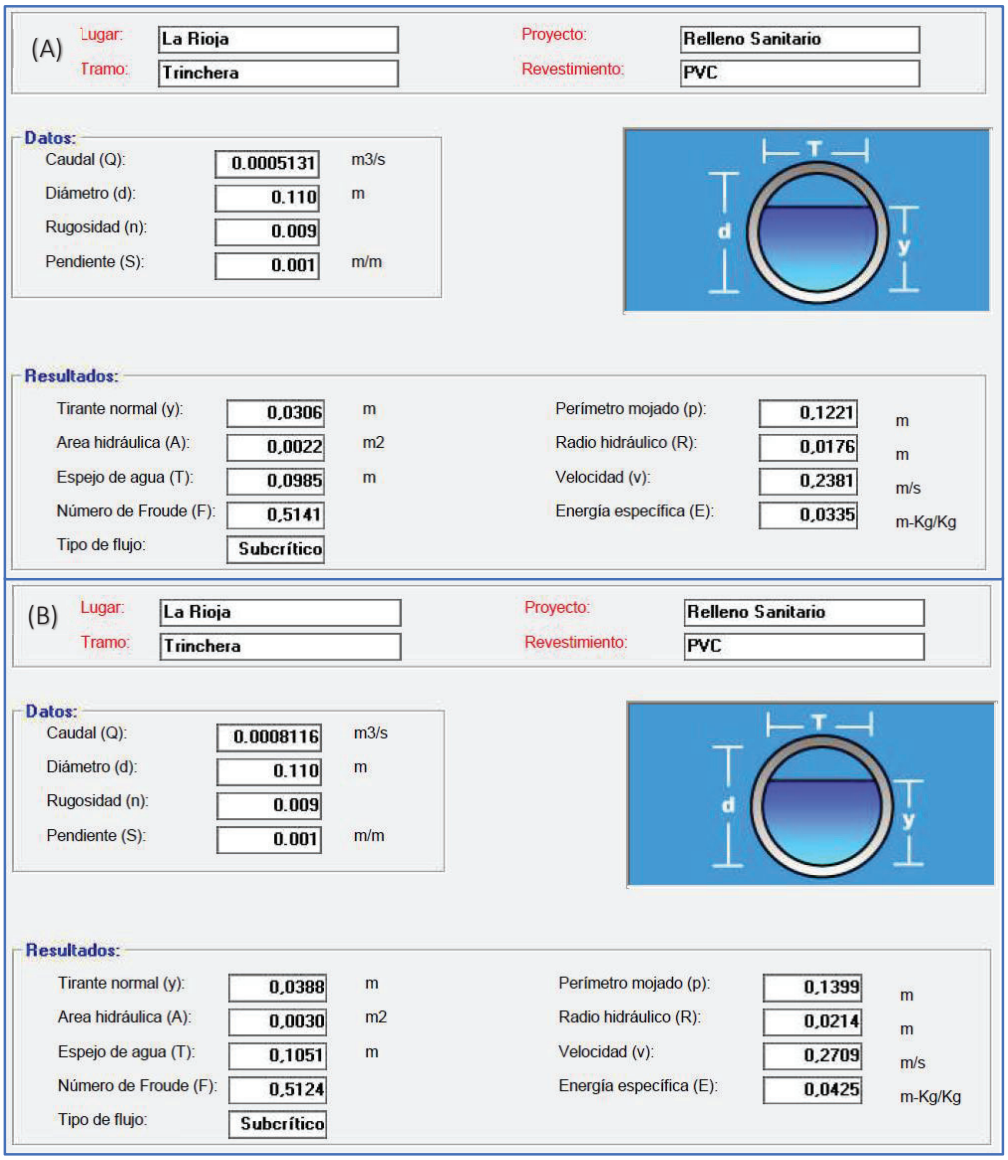


Figura 31 - Validación del comportamiento de los lixiviados en el drenaje de 110 mm de diámetro con una pendiente de 1‰ de conducción para el caudal diario del año (A).-2023 (B).- 2052

5.6.-MATERIAL DE COBERTURA

El material de cobertura lo podemos clasificar en dos corrientes, la primera el material de cobertura que irá cubriendo el llenado parcial de la trinchera, y la cobertura superior la cual sellará una vez que la misma se llene y se encontrará por debajo de la cobertura vegetal.

Primero se calculó el material para la cubierta superior de las trincheras en función de una pirámide truncada de las dimensiones de base anteriormente mencionadas y de espesor 30 cm, con un ángulo de laterales de 45°. En función de estos parámetros y de las medidas de las trincheras, se llegó a que, de cada trinchera, se necesitará un total de

1.354 m³. Análogamente, pero considerando que la cobertura superficial iría sobre la base menor, se calculó el material necesario, para la **cobertura superficial de las celdas**, arrojando un resultado de **1.238 m³**. Luego, teniendo en cuenta que el total de material de cobertura por trinchera es el 20%, se calculó la **cobertura parcial**, siendo este de **1.237 m³.** En el apartado 5 del ANEXO I, se puede validar los cálculos referentes al material de cobertura.

5.7.- EMISIÓN DE GASES

El gas de vertedero (LFG, por sus siglas en inglés) se crea a partir de la descomposición de materia orgánica en los vertederos de desechos sólidos municipales. Este gas consiste de aproximadamente un 50% de CH_4, aproximadamente un 50% de CO_2, y una pequeña cantidad de compuestos orgánicos diferentes al metano (NMOC) (Global Methane Initiative, 2011). Para el cálculo de las emisiones de gases del relleno, se utilizó el modelo propuesto por la Environment Protection Agency (EPA), el cual se desarrolla en el programa LandGEM (Landfill Gas Emission Model). En la *figura 32*, se presenta el gráfico de la evolución de la emisión total de los gases con un pico de $2{,}18x10^{+7}$ m^3 en el año 2053 y $2{,}73x10^{+4}$ t.

En una situación ideal, los gases generados por la descomposición de los residuos simplemente se difunden por la superficie y se dispersan en la atmósfera. Desafortunadamente, hay un número de circunstancias, que fuerzan a los gases a migrar en dirección lateral más que en vertical (Pitchel, 2005). Por ello es importante poder generar canales para que la totalidad de los gases puedan ser evacuados. Esto, toma una relevancia sustancial, debido a que, como se mencionó anteriormente el principal gas emitido es el metano. El metano se acumula en estructuras cercanas a las celdas y puede resultar inflamable y explosivo (Röven, 2002). Para ello se instalará, un sistema de venteo pasivo, que consta de 4 chimeneas de evacuación de gases por celda/trinchera. Es decir, **una chimenea cada 3.238 m³** aproximadamente, respondiendo así, a lo planteado por Vesilind, Worrell, & Reinhart (2002). En la *figura 33*, se puede observar un esquema ilustrativo de las chimeneas. Cabe mencionar, que en la configuración del módulo una misma chimenea comienza en una trinchera y antes de quedar al aire libre, atraviesa una celda, tal como se puede ver en los distintos planos de la lámina 5.2.

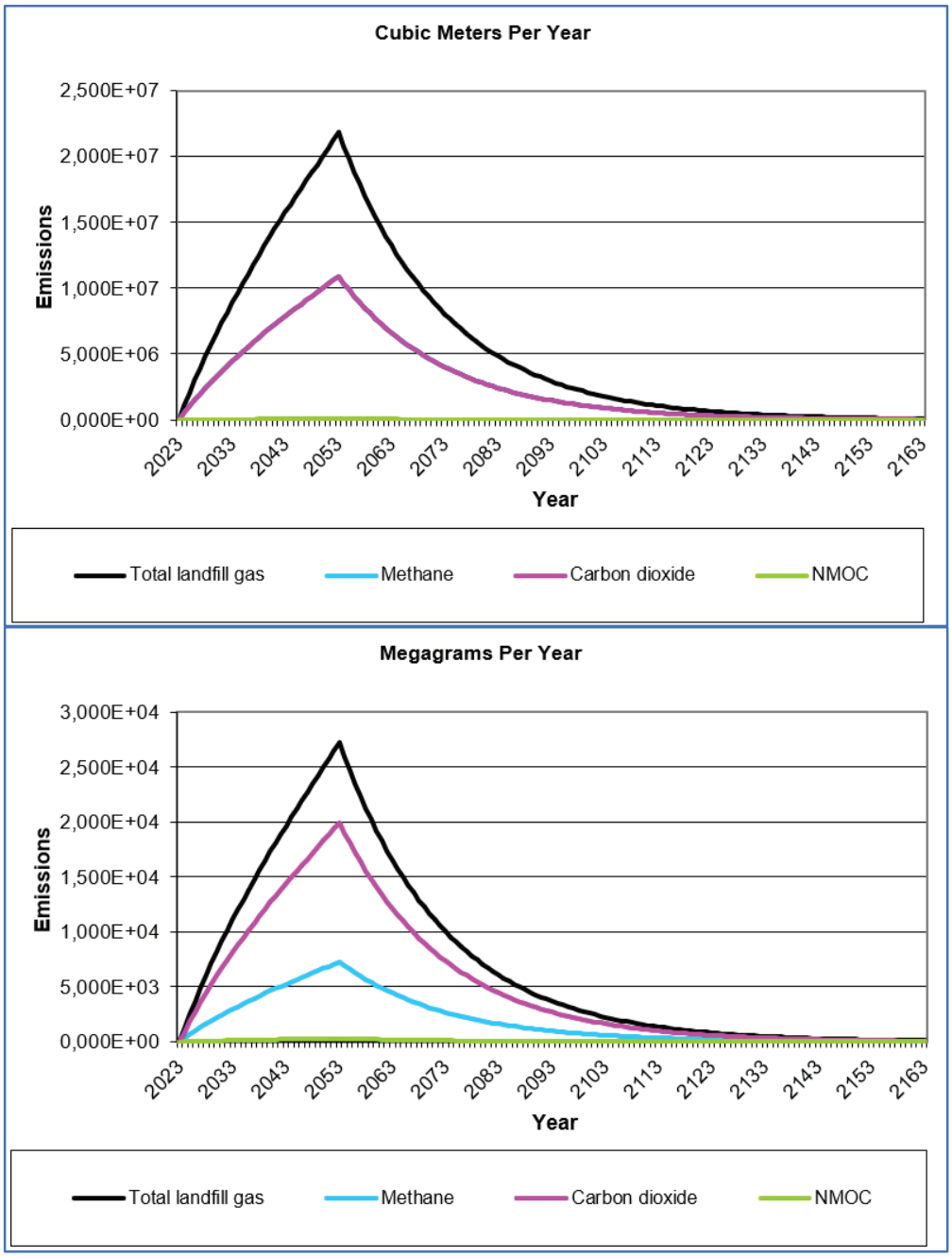


Figura 32 - *Emisión de gases totales, metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos no metano (NMOC) por el RS desde su puesta en marcha en el años 2023 hasta el año 2163 en (A) m³/año y (B) t/año*

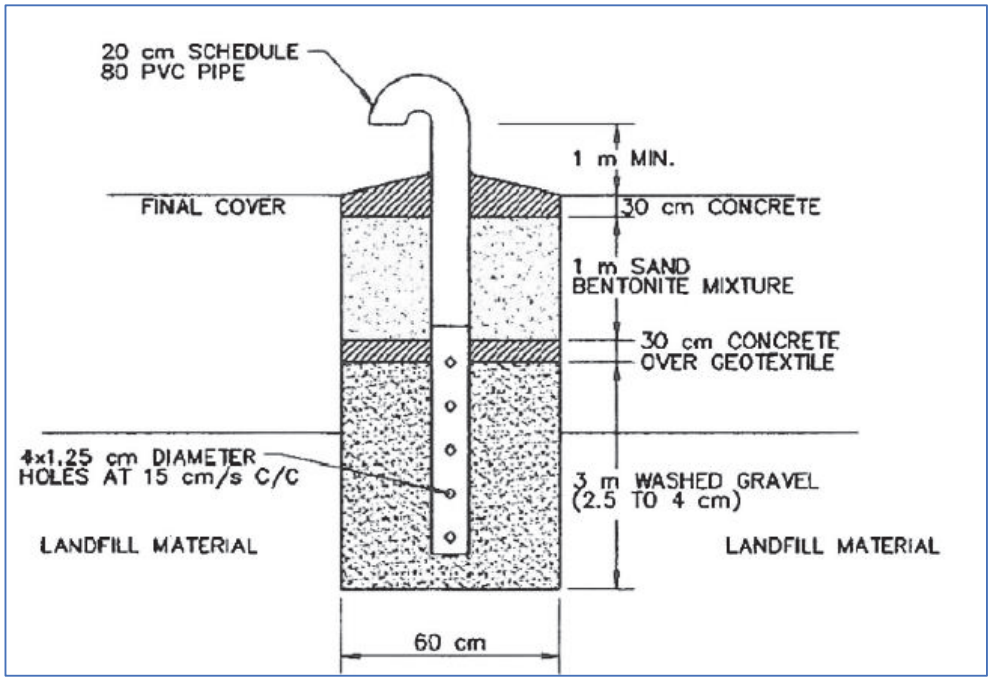


Figura 33 - Esquema de una chimenea del sistema pasivo de venteo de un relleno sanitario. FTE: *Meegoda, Hettiarachchi, & Hettiaratchi, 2016*

CAPÍTULO 6 – SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Antes de comenzar con el desarrollo de este capítulo, cabe aclarar, que por una cuestión de alcance del PFI, y la longitud de lo que implicaría el diseño, la validación, el diseño constructivo, selección de equipos y análisis económicos del sistema de tratamiento de lixiviados, solo se realizó una caracterización de los efluentes generados y una propuesta de un posible método de tratamiento, en función de las plantas implementadas en CEAMSE, y de bibliografía relevada al respecto.

El sistema de tratamiento de lixiviados, debe considerar, que, en el mismo predio, se ubica el CCC y el RS, con los respectivos efluentes cloacales generados en los sanitarios de la planta de personal. La composición fisicoquímica de cada corriente se determinó en base a la distinta bibliografía consultada. Los parámetros de los efluentes del CCC, fueron obtenidos a partir del trabajo de Moreno Reyes, Agudelo Manrique, & Vega Clavijo, en donde los residuos tratados y las condiciones climáticas son de características similares al proyecto abordado en este PFI. En lo que respecta a los lixiviados generados por el RS, fueron caracterizados según lo establecido por Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen (1982) para un relleno joven típico. En la *tabla 40*, se pueden verificar los valores adoptados.

El diagrama de flujo del sistema de tratamiento de lixiviados propuesto, se ve ilustrado en la *figura 34.* Al no contar con cuerpos o cursos de agua activos cercanos, el mismo se diseñó considerando el vuelco final por absorción del suelo. Para ello se tuvieron en cuenta los parámetros de vuelco para esta condición, según el Decreto Reglamentario N°773/93 de la Ley N°4741. En la *tabla 41,* se pueden ver los parámetros de vuelco establecidos para la mencionada resolución.

A partir de los parámetros característicos, considerando la normativa mencionada y de los caudales generados de cada corriente, se seleccionaron los parámetros de diseño y se caracterizó el efluente resultante, cuyos valores se pueden ver reflejados en la *tabla 42.* Tal como se presentó en capítulos anteriores, al final de este, se encuentra la memoria de cálculo referente a las distintas instancias del diseño del sistema de tratamiento de lixiviados (Apartado 7.8).

Tabla 40 - Parámetros característicos de las distintas corrientes de lixiviados generados en el predio del CCC y RS de la Ciudad de La Rioja.

Parámetro	Unidad	Lixiviados de RS Joven Típico	Efluentes Cloacales	Lixiviados del CCC
pH	uPH	6,5	-	7,6
Conductividad	uS/cm		-	0,795
Temperatura	°C	-	-	20
DBO5	mg/l	10.000	220	23,6
DQO	mg/l	18.000	400	58.666,66
Biodegradabilidad (DBO5/DQO)		0,56	0,55	0,00040227
SST	mg/l	500	200	1122
COT		8000	-	15,6
NTK	mg/l	2.000	40	-
N-NH4	mg/l	1600	-	2,5
Norg	mg/l	400	-	-
Nitratos	mg/l	25	-	30
Fósforo	mg/l	100	10	<10
Potasio	mg/l	300	-	24,8
Zinc	mg/l	-	-	<0,013
Cadmio	mg/l	-	-	<0,018
Manganeso	mg/l	-	-	<0,0230
Calcio	mg/l	1.000	-	-
Magnesio	mg/l	250	-	-
Alcalinidad	mgCaCO3/l	8.000	-	-
Relación C:N:P	-	10:30:1	-	-
SSEE	mg/l	200	<100	-

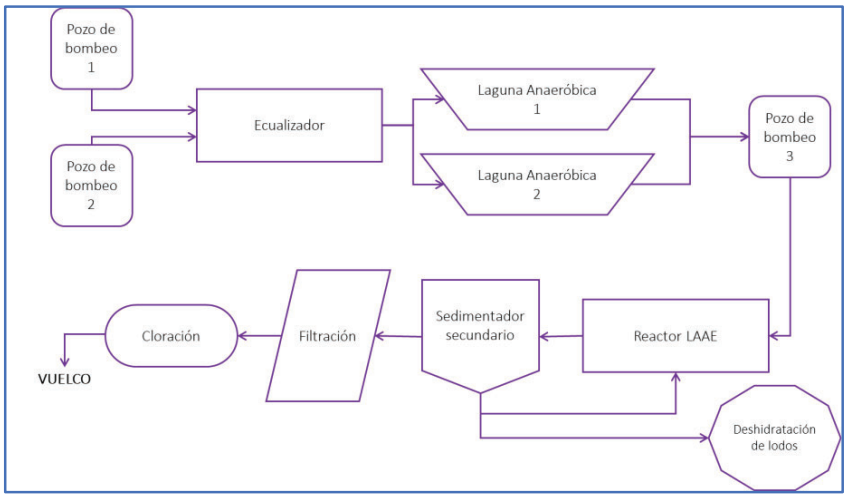


Figura 34 - *Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de lixiviados del CCC y del RS de la Ciudad de La Rioja.*

Tal como se ve en el esquema de la *figura 40,* las distintas corrientes de efluentes se unifican en la etapa de ecualización. Teniendo en cuenta, que el lixiviado proviene de infiltraciones de los fluidos producto de la descomposición de los residuos, los cuales atraviesan distintos estratos de suelo, antes de llegar a la cañería de conducción, al igual que otras plantas de tratamiento de rellenos sanitarios, como CEAMSE Norte III y CEAMSE Mar del Plata, no se considera un sistema de pretratamiento previo a la ecualización.

En lo que respecta a los caudales por corriente, se puede observar la variación interanual en la *tabla 43*, arrojando como resultado que en total se generan en promedio 78,81 m^3/d, siendo el caudal mínimo de 75,58 m^3/d y el máximo de 91,46 m^3/d.

Tabla 41- *Parámetros admitidos en la ley N°4741, Decreto Reglamentario N°773/93 para el vuelco en terreno absorbente.*

Parámetro	Unidad	A terreno absorbente
pH	upH	5,5 - 10
Temperatura	°C	<40
Sólidos sedimentables en 10'	ml/l	-
Sólidos sedimentables en 2h	ml/l	<1
Sustancias solubles en frío en éter etílico	mg/l	<100
Sulfuros Totales	mg/l	<5
Cromo Trivalente	mg/l	<0,05
Cromo Hexavalente	mg/l	<0,05
Plomo	mg/l	<0,05
Mercurio Total	mg/l	<0,05
Arsénico	mg/l	<0,01
Cianuro	mg/l	<0,1
Cadmio	mg/l	<0,05
D.B.O. 5 días	mg/l	<200
Oxígeno. Consumido. Sobre muestra bruta a determinar cuando no pueda realizarse la D.B.O.	mg/l	<80
Sustancias. Fenólicas	mg/l	<0,20
Sustancias. reactivas a la ortotolidin	mg/l	<0,5
Demanda de cloro	mg/l	-

Tabla 42 - *Parámetros de diseño del efluente resultante de todas las corrientes generadas en el predio del CCC y RS.*

Parámetro	Unidad	Valor
pH	uPH	6,58
DBO5	mg/l	8967,50
DQO	mg/l	17921,50
Biodegradabilidad (DBO5/DQO)	-	0,50
SST	mg/l	530,94
NTK	mg/l	1793,21
N-NH4	mg/l	1433,56
P total	mg/l	90,63
Alcalinidad	mgCaCO3/l	7166,97
SSEE	mg/l	117,23

Tabla 43 - Variación interanual de los caudales generados en el predio del CCC y del RS por corrientes.

Mes	CCC (m^3/día)	RS (m^3/día)	Caudal Cloacal (m^3/día)	Total (m^3/día)	Total (m^3/h)
Enero	18,26	70,32	2,88	**91,46**	**3,81**
Febrero	10,31	70,32	2,88	**83,51**	**3,48**
Marzo	6,46	70,32	2,88	**79,66**	**3,32**
Abril	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Mayo	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Junio	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Julio	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Agosto	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Septiembre	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Octubre	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Noviembre	2,38	70,32	2,88	**75,58**	**3,15**
Diciembre	13,20	70,32	2,88	**86,40**	**3,60**

6.1.- CASETA DE BOMBEO

La Caseta de bombeo se diseñó a partir de los parámetros de la tabla 44. La misma tendrá una altura de 1 m y un diámetro de 2,20 m, lo cual genera un volumen 3,80 m^3. Esta etapa está equipada con una bomba sumergible, la cuál será la responsable de impulsar el efluente hasta la etapa de ecualización.

Tabla 44 - Parámetros de diseño de la caseta de bombeo y dimensiones de la misma.

Parámetro	Simbolo	Unidad	Valor
Caudal de entrada máximo	Q_{max}	m^3/d	91,463
Tiempo de retención	TRH	d	0,04
Volumen	V	m^3	3,81
Altura	h	m	1,00
Díametro	D_{CB}	m	2,20

6.2.- ECUALIZADOR

La ecualización, será a partir de una laguna de 1.836,80 m^3, cuyas especificaciones se observan en la *tabla 45.* Esta laguna, se dimensionó a partir de poder acopiar los efluentes generados en 20 días, criterio utilizado en el relleno sanitario de la CEAMSE en General Pueyrredón. Para asegurar una homogenización del líquido, se instalarán 20 mezcladores de 3,20 kw de potencia.

Tabla 45 - *Especificaciones de la laguna de Ecualización.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Largo pelo de agua	L_{pa}	m	45,00
Ancho pelo de agua	S_{pa}	m	22,50
Área de pelo de agua	A_{pa}	m^2	1.012,50
Largo inferior	L_i	m	39,80
Ancho inferior	S_i	m	19,90
Área inferior	A_i	m^2	792,17
Largo superior	L_s	m	51,06
Ancho superior	S_s	m	25,53
Área superior	A_s	m^2	1.303,67
Mezcladores	n		20
Volumen de mezcla	V_{mez}	m^3	91,46
Potencia específica	Pe	W/m^3	35,00
Potencia mezclador	P	kw	3,20

6.3.- LAGUNAS ANAERÓBICAS

El tratamiento secundario se propone realizarlo en dos etapas, una anaeróbica y otra aerobia. En la primera instancia el efluente ecualizado decanta en un tratamiento de lagunas anaeróbicas, compuesto por dos lagunas en paralelo con fines de hacer más

operativo y dinámico el sistema. Estas lagunas anaerobias permiten la biodegradación de la materia orgánica mediante la intervención de microorganismos anaerobios estrictos y facultativos, permitiendo además la atenuación de la carga orgánica y la homogeneización del flujo afluente. Las eficiencias de remoción de las lagunas anaeróbicas suelen oscilar entre un 40-60% (Cortés Martinez et al., 2017)

Para el diseño de dichas lagunas, se utilizó el método Carga Orgánica Volumétrica (COV), con una temperatura mínima promedio de 14°C, lo cual arrojó un valor de 136,5 g_{DBO5}/m^3d, con porcentajes de DBO removido de 48,67%. De esta manera al ingreso del sistema de lagunas el lixiviado tiene una DBO de 8.967,50 mg/l y a la salida 4.603,32 mg/l. Para lograr esta remoción **las lagunas tienen un volumen de 2.628,70 m^3 cada una** (un total de 5.257,40 m^3) cuyas dimensiones son las que figuran en la *tabla 46.* A nivel constructivo, las lagunas, estarán semienterrada a 3 m de profundidad, rodeada de un talud de 1,5 m de altura lo que completará la geometría de cada laguna. Ambas, estarán aisladas del suelo local con el mismo sistema y material que estarán aislados los módulos del RS.

En función a estas dimensiones, se calculó el tiempo de retención hidráulico (TRH) que dio un valor de 66,71 días. Si bien, el límite de la TRH, según la bibliografía consultada es de 50 días, el sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de General Pueyrredón, las lagunas anaeróbicas operan con un TRH de 152 días (TECSAN IASA, 2018), por lo cual sería aceptable adoptar el dimensionamiento propuesto.

Tabla 46 - *Dimensiones de las lagunas anaeróbicas.*

Parámetro		unidad	valor
Profundidad		m	4,0
Revancha		m	0,5
Profundidad total		m	4,5
Espejo de agua	Largo	m	39,5
	Ancho	m	19,5
Inferior	Largo	m	35,5
	Ancho	m	15,5
Superior	Largo	m	40,0
	Ancho	m	20,0

6.4.- TRATAMIENTO AERÓBICO

El tratamiento aeróbico propuesto es un sistema de Lodos Activados con Aireación Extendida (LAAE) y un sedimentador secundario. Los SLAAE satisfacen la necesidad de un tratamiento de alta eficiencia para efluentes de bajos caudales de origen tanto domésticos como industriales de alta carga orgánica. Estas plantas suelen estar diseñadas sin tanques de sedimentación primaria y emplean un tiempo de aireación prolongado, con el fin de digerir o destruir aeróbicamente la mayor parte de los lodos biológicos producidos. Por lo tanto, con este tipo de planta no se suelen instalar digestores de lodos biológicos. Las plantas de LAAE se diseñan normalmente sobre la base de cargas de DBO de no más de 0,30-0,65 kg_{DBO}/m^3d. Con estas cargas, las eficiencias características de remoción de DBO varían de 80 a 95% (McCarty & Brodersen, 1962). Este sistema, está formado por un reactor con una parte anóxica, a donde ingresa el efluente y luego decanta en la parte aireada del reactor.

6.4. A.- SISTEMA DE LODOS ACTIVOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA

A partir de los cálculos realizados, los cuales se pueden ver en detalle en el apartado 7.8, **el reactor resulta de un volumen de 400 m^3**, y según las dimensiones que se pueden validar en la *tabla 47.* De dicho reactor el 17% (los primeros 2,34 m), corresponden a la parte del reactor anóxico y el resto a la parte aeróbica del proceso. El reactor de LAAE, estará equipado por 5 aireadores superficiales de 25 HP (20 kW).

Tabla 47 - Dimensiones del reactor de LAAE.

Parámetros	Unidad	Valor
Volumen útil	m^3	400,00
Altura	m	4
Revancha	m	0,5
Área	m^2	100,00
Largo	m	14,14
Ancho	m	7,07

6.4. B.- SEDIMENTACIÓN

El tratamiento secundario encuentra su desenlace en un sedimentador circular de un **volumen total de 19,19 m^3** (considerando parte útil, revancha y tolva) distribuidos en un radio de 1,25 m y una altura de 4,25 m, en donde se realizará la separación de la biomasa sólida del efluente tratado. La zona de entrada estará conformada por un difusor compuesto por 17 orificios de 2 cm de diámetro. Mientras que la salida del efluente se

da por 4 vertederos del tipo triangular de 5,80 cm de ancho separados en el perímetro 1,97 m

6.5.- FILTRACIÓN

Luego del tratamiento secundario, el efluente será sometido a un proceso de filtración. Este proceso estará compuesto por dos etapas, la primera de ultrafiltración y la segunda por una nanofiltración. Este proceso se llevará a cabo en una planta de similares características que las del relleno sanitario del Municipio de General Pueyrredón. Dicha planta tiene una **capacidad de tratar un caudal de 100 m^3 diarios** y está compuesta por 5 etapas, tal como se puede observar en el diagrama de flujo de la *figura 35.* Además, cuenta con un módulo de recuperación de concentrados, formado por una cámara de mezcla rápida, un sedimentador de placas paralelas y un espesador de barros. En la misma figura se puede validar el balance de masa de todo el proceso. Este proceso, se alojará en un galpón de 100 m^2 (10 m de ancho por 10 m de largo), ubicado a continuación del sistema de tratamiento secundario.

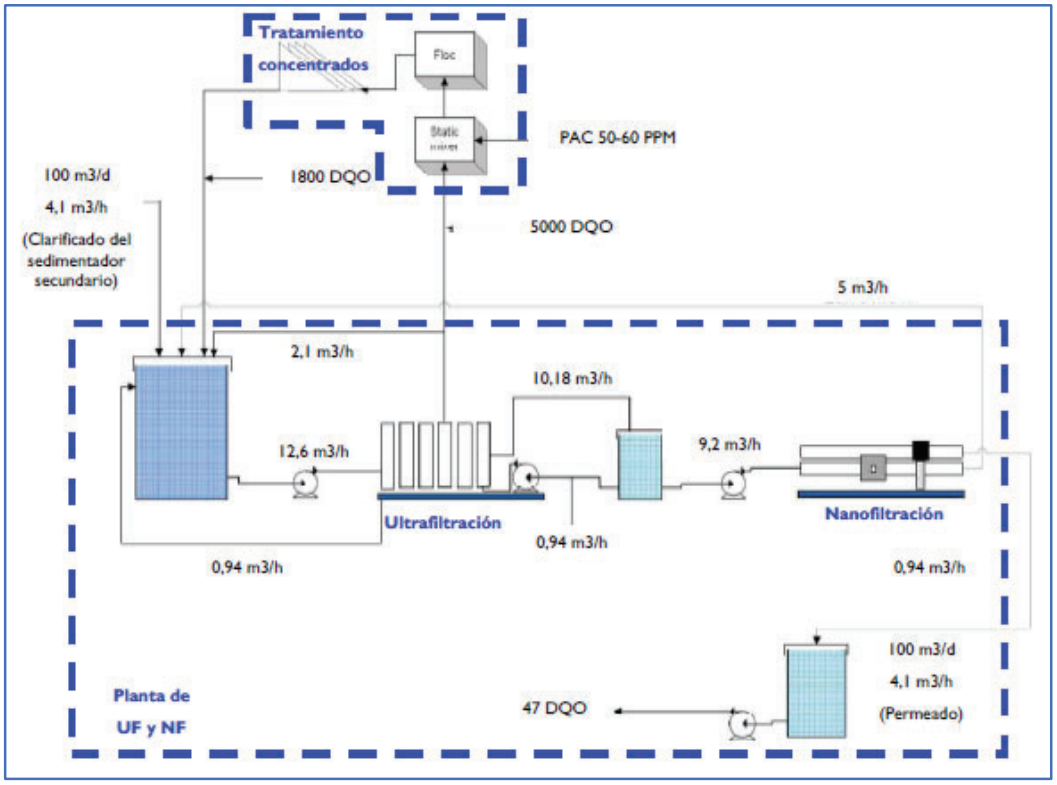


Figura 35 - Diagrama de flujo y balance de masa de los procesos de ultrafiltración, nanofiltración y recuperación de concentrados. Fte: *(TECSAN IASA, 2018)*

Cabe aclarar que, tanto los barros que, eventualmente se generen en la laguna anaeróbica, como los originados en la etapa de sedimentación secundaria y tratamiento del concentrado serán tratados, acondicionados y se dispondrán adecuadamente, cumpliendo con la legislación vigente, etapa de tratamiento que excede al alcance de este PFI. El líquido procedente del acondicionamiento de barros (deshidratación) se incorporará al sistema de tratamiento mediante una entrada al tanque de alimentación de la ultrafiltración. A continuación, se describen algunos de los equipos y especificaciones técnicas de todo el proceso de filtración y tratamiento de concentrados:

Ultrafiltración

- Tanque de Alimentación cilíndrico vertical de 10.000 litros de capacidad
- Filtro Primario: Filtro de malla de 70 mesh para retener partículas
- Bomba de Alimentación: Bomba centrífuga horizontal para un caudal de 33 m^3/h a 20 m.ca.
- Módulos de Ultra Filtración (caudal de ulturafiltrado 10 m^3/h).
- Bomba de Limpieza: Bomba centrífuga para un caudal de 33 m^3/h a 20 m.ca.
- Tanque de Lavado de Ultra Filtración cilíndrico vertical de 2.000 litros de capacidad
- Tanque de Permeado (concentrado) de Ultra Filtración cilíndrico vertical, de 10.000 litros de capacidad.

Nanofiltración

- Bomba de Alimentación: Bomba centrífuga horizontal para un caudal de 10,00 m^3/h a 40 m.ca.
- Bomba de Recirculación: Bomba centrífuga horizontal para un caudal de 10 m^3/h a 20 m.ca.
- Módulos de Nano Filtración con membranas para producción de 4 m^3/h de nanofiltrado.
- Tubería del Sistema: Todas las tuberías serán de polipropileno Tipo 3 (Copolímero propileno-etileno) unidas por termofusión
- Estructura: La Planta estará integrada en un skid construido en acero carbono revestido.

Tratamiento de concentrados

- Cámara de mezcla rápida metálica, con válvula de vaciado construida en chapa de acero al carbono SAE 1010/1020, con agitación mecánica vertical, con flujo lateral.
- Sedimentador de placas paralelas inclinadas a 60º, construida en acero al carbono SAE 1010 con recubrimientos base de zinc y finales de un mínimo de 200 micrones de pintura epóxi interna y externa y filtros de malla
- Espesador de barros constituido por un tanque de floculación de volumen total con una retención a caudal medio de 15 minutos, de forma vertical construidos en Chapa de ¼ “ de hierro negro con pasarela superior construida en perfilería

de hierro negro con barandas de caño ASTM SA53 grado B y piso de metal desplegado antideslizante.

6.6.- CLORACIÓN

Para el tratamiento terciario, se optó por una cámara laberíntica de cloración, la cual fue diseñada con tiempo de contacto de 30 minutos y con 1 m de altura del tirante de agua. Según los cálculos que se describirán en el apartado 7 del A, la cámara tiene un ancho de 0,55 m y un largo 3,45 m dividido en 10 tabiques, con un ancho de canal de 0,30 m lo que suma un largo total de canal de 5,47 m. En la *tabla 48*, se puede ver un resumen de los datos constructivos y parámetros de diseño de la cámara de cloración.

Para la desinfección se utilizará hipoclorito de sodio, en una dosis de 2 mg/l, lo que da un total de 1,97 litros por hora, teniendo una concentración de 80 gramos de cloro activo por litro de solución. De todas maneras, siempre que sea factible, es conveniente realizar ensayos de laboratorio para determinar las dosis óptimas de cloro (Metclaf et al., 1996), una vez puesto en marcha la planta.

Tabla 48 - Parámetros de diseño y dimensiones de la cámara de cloración.

Variable		Unidad	Valor
Tiempo de contacto	t_c	min	30,00
Caudal	Q	m3/d	78,81
Altura de tirante de agua	h	m	1,00
Revancha	r	m	0,25
Altrua total de la camara	H	m	1,25
Volumen de la cámara	Vcc	m^3	1,64
Superficie de la cámara	Scc	m^2	1,64
Ancho del canal	A_{canal}	m	0,30
Largo del canal de contacto	Lc	m	5,47
Cantidad de tabiques	n	u	10,00
Ancho de tabiques	at	m	0,05
Ancho de cámara	**Acc**	**m**	**0,55**
Largo de la cámara	**Xcc**	**m**	**3,45**

6.7.- LAGUNA DE VUELCO

Debido al contexto geográfico y climático, no hay en la cercanía del predio del RS, cuerpos o cursos de agua continuos, por lo que se propone como método de vuelco, el método por laguna, en donde el lixiviado tratado, se evapore o infiltre. En función de este método,

y tal como se podrá validar en la memoria de cálculo del ANEXO I, se realizó el diseño de dicho esquema de vuelco teniendo en cuenta los parámetros climáticos, geográficos y edafológicos del lugar, apoyado, también en bibliografía y trabajos experimentales. Además, se realizaron consideraciones operativas y constructivas, por las cuales se concluyó que la mejor opción para el vertido del lixiviado tratado es la construcción de dos lagunas en paralelo, comunicadas por 4 compuertas, cuyas medidas se manifiestan en la *tabla 49.* Esta compartimentación, genera una dinámica versátil en la operación del esquema de vuelco ante posibles tareas de mantenimiento, o variaciones en las condiciones climáticas y geográficas del lugar como en las precipitaciones, o los índices de evaporación.

Tabla 49 - *Dimensiones constructivas de las lagunas de vuelco.*

Parámetro	Unidad	Valor		
		Laguna 1	Laguna 2	Total
Largo	m	140	110	250
Ancho	m	70	55	125
Superficie	m^2	9.800,00	6.050,00	15.850,00
Profundidad	m	1	1	-
Volumen	m^3	9.800,00	6.050,00	15.850,00
Revancha	m	0,3	0,3	-
Altura total	m	1,3	1,3	-

En *la figura 36,* se puede validar la dinámica del balance hídrico de las lagunas de vuelco en función de la generación de lixiviados por mes y de la capacidad del sistema de vuelco, en función de la puesta en funcionamiento de las lagunas. Como se puede observar en el mencionado gráfico, durante el primer año de funcionamiento del predio, es suficiente con una laguna, pero a partir del segundo año, esta se verá excedida en su capacidad y será necesario poner en marcha la segunda, considerando las condiciones climáticas de las diferentes etapas del año. El esquema, se plantea de dicha manera, debido a las fluctuaciones de las condiciones climáticas, de tal manera de poder utilizar de manera dinámica las distintas configuraciones posibles. Como ya se mencionó, el balance hídrico se estimó teniendo en cuenta las precipitaciones, la evaporación y la infiltración, que inicialmente puede ser muy alta, es probable que disminuya con el tiempo debido al taponamiento del suelo (fondo de lagunas) (Silva Burga, 2004).

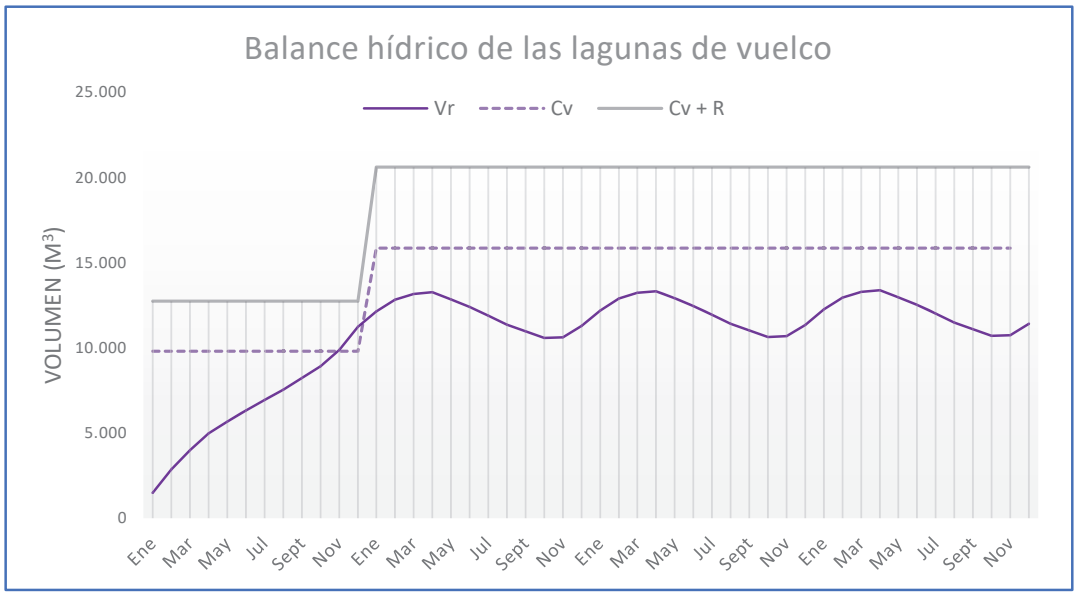


Figura 36 - Balance hídrico del sistema de vuelco planteado en dos lagunas de 9.80 m^3 y 6.050 m^3 respectivamente. Vr: es el volumen resultante del balance hídrico en m^3. Cv: es la capacidad volumétrica, en m^3, del sistema de lagunas en las diferentes etapas. Cv + R: es la capacidad volumétrica, en m^3, del sistema de vuelco teniendo en cuenta la altura de revancha de las lagunas.

CAPÍTULO 7 – ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realiza el análisis económico de las distintas dimensiones del PFI. Por un lado, lo que respecta a la inversión del proyecto y por el otro, se analizarán los costos operativos. En función de esto, hay que recordar que el plan GIRSU, se implementará en diferentes etapas, tanto en lo que refiere a la construcción de plantas de tratamiento de residuos reciclables, como en la frecuencia de recolección de las diferentes fracciones.

Es importante tener en cuenta, que este análisis se realiza en modo de referencia con el objetivo principal de poder establecer el plan financiero de puesta en marcha, y una estrategia que incluya a distintos actores, fuentes de financiamiento, incluso evaluar la tercerización o concesión de servicios o espacios.

Por cuestiones de la poca estabilidad económica de nuestro país, y la variabilidad de monedas que manejan los diferentes proveedores y formas de pago, con el fin de unificar los criterios, en el presente análisis, se utilizó el dólar estadounidense (USD) como moneda de referencia y el tipo de cambio del Banco Nación (BN) del día de consulta del presupuesto, para los costos en pesos. De esta manera, también permite proyectar en función de las distintas etapas de implementación del plan GIRSU.

7.1 - INVERSIÓN

Por cuestiones de ordenamiento y de estrategias de inversión y/o financiamiento, esta instancia del análisis económico, se diferenció en Maquinaria y Herramientas para la puesta en marcha de los distintos espacios por un lado y en Obra civil e Infraestructura por el otro.

7.1.A – Sistema de recolección de residuos

Dentro de la evaluación de este PFI, no se considera el equipamiento o unidades logísticas con las que cuenta actualmente el municipio, debido a que no se pudo acceder a conocer la antigüedad ni el estado de la flota actual. En la *tabla 50*, se puede observar el detalle de equipamiento y costos para la puesta en marcha del sistema de recolección que responde al plan GIRSU propuesto.

Además, teniendo en cuenta la reposición completa de contenedores cada 10 años y la renovación de la flota vehicular en un 50% a 10 años y el otro a 20 años, se presentó la

proyección de costos de inversión en 2033 y 2043, la cual se puede ver reflejada en el gráfico de la *figura 37*.

Tabla 50 – *Presupuesto estimado para la puesta en marcha del sistema de recolección propuesto.*

Detalle	Marca	Modelo	Proveedor	Costo unitario	Cantidad	Un.	Costo total
Contenedor verde de 2.400 l	CIMONE	CIMONE 2400 L	Econovo	USD 2.200,00	2024	u	USD 4.452.800,00
Contenedor verde de 2.400 l	CIMONE	CIMONE 2400 L	Econovo	USD 2.200,00	2024	u	USD 4.452.800,00
Camión Chasis 6x4	Iveco	HI-WAY 490S44	Navicam	USD 146.000,00	39	u	USD 5.694.000,00
Compactador de carga latreral 21 m3	AMS	CL - 21M3	Econovo	USD 261.800,00	12	u	USD 3.141.600,00
Compactador de carga trasera 21 m3	Econovo	ECO ANDRES 21	Econovo	USD 43.800,00	4	u	USD 175.200,00
Compactador de carga lateral apra	Econovo	Ecoclos 16	Econovo	USD 34.200,00	6	u	USD 205.200,00
Autocargador roll off a cable	Econovo	Ecorof 20	Econovo	USD 36.000,00	1	u	USD 36.000,00
Batea con Grua 24 m3	Econovo	Ecocro 24	Econovo	USD 11.800,00	7	u	USD 82.600,00
						Total	**USD 18.240.200,00**

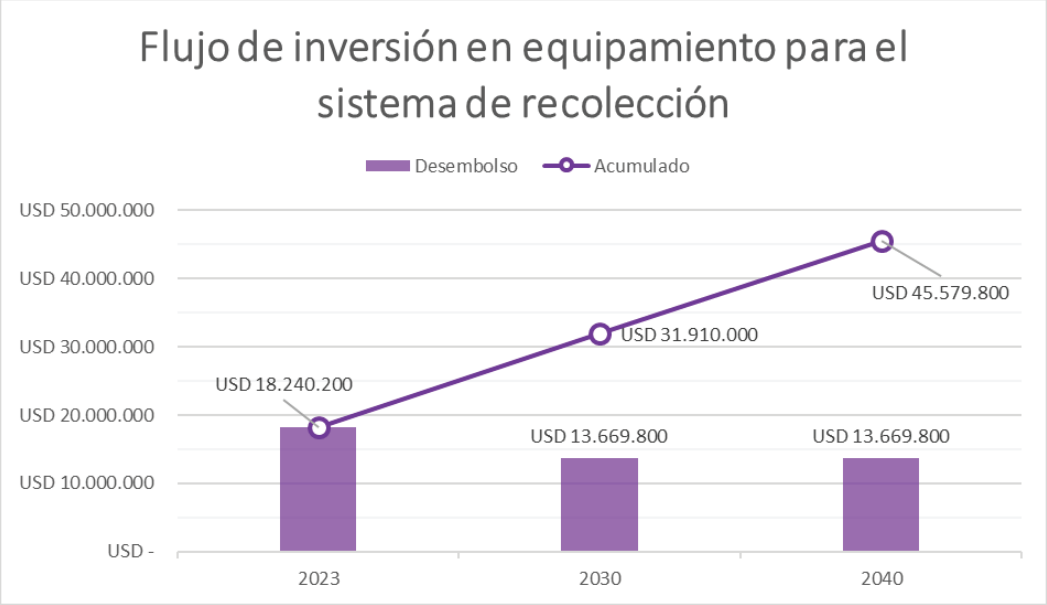


Figura 37 – Inversión en equipamiento para la implementación del sistema de recolección, desembolsos de reposición de quipos y unidades e inversión acumulada.

7.1.B – Centro de Clasificación y Acondicionamiento de Materiales Reciclables

En lo que respecta a la maquinaria y equipamiento para la implantación y puesta en marcha del CCAMR, se detallan los equipos en la *tabla 51,* al igual que los costos. Estos, arrojan la inversión necesaria para poner en marcha las dos primeras líneas de clasificación. Además, en la *figura 38*, se pueden validar la inversión y desembolsos para

poner en marcha la tercera línea de clasificación en 2030 y la cuarta en 2040, tal como lo plantea el plan GIRSU.

Por otro lado, en la *tabla 52*, se detallan los cómputos para el desarrollo del pliego de licitación para la obra civil y los respectivos costos. El costo total de referencia para el pliego es de ***USD 5.730.543*** *por nave, es decir que el acumulado de inversión a 2040 por la obra civil es de* ***USD 11.461.086***

Tabla 51– *Presupuesto estimado para la puesta en marcha del CCAMR.*

Detalle	Marca	Modelo	Proveedor	Costo unitario	Cantidad	Un.	Subtotal
Báscula de hormigon para camiones	LaTorre	Full 12 metros hasta 50 t	Básculas LaTorre	USD 29.957,00	1	u	USD 29.957,00
Impreso térmico + repetidor DRE 100	Latorre	LE-100 1	Básculas LaTorre	USD 3.700,00	1	u	USD 3.700,00
Cabina de control	Latorre		Básculas LaTorre	USD 2.207,73	1	u	USD 2.207,73
Cinta de clasificación DEISA	DEISA		DEISA	USD 103.302,73	2	u	USD 206.605,47
Prensa vertical	DEISA	EV-11	DEISA	USD 22.980,00	6	u	USD 137.880,00
Molino triturador	ABECOM	TE250-50/15	AbyPer	USD 69.600,00	4	u	USD 278.400,00
Triturador de vidrio	ABECOM	TV140-34	AbyPer	USD 25.300,00	4	u	USD 101.200,00
Caja Roll off 30 m3	Econovo	Ecocro 30	Econovo	USD 12.700,00	4	u	USD 50.800,00
Caja Roll off 24 m3	Econovo	Ecocro 24	Econovo	USD 11.800,00	2	u	USD 23.600,00
Contenedor plástico de 1.100 L	Econovo	ECOCP1100	Econovo	USD 436,00	10	u	USD 4.360,00
Autoelevador 2.500 kg de capacidad	CT POWER	FD25	TOYOTAMATERIALHANDLING	USD 28.091,00	4	u	USD 112.364,00
Apilador eléctrico	Heli	CQDM15-810	Interlogistic	USD 14.399,00	4	u	USD 57.596,00
						Total	**USD 1.008.670,19**

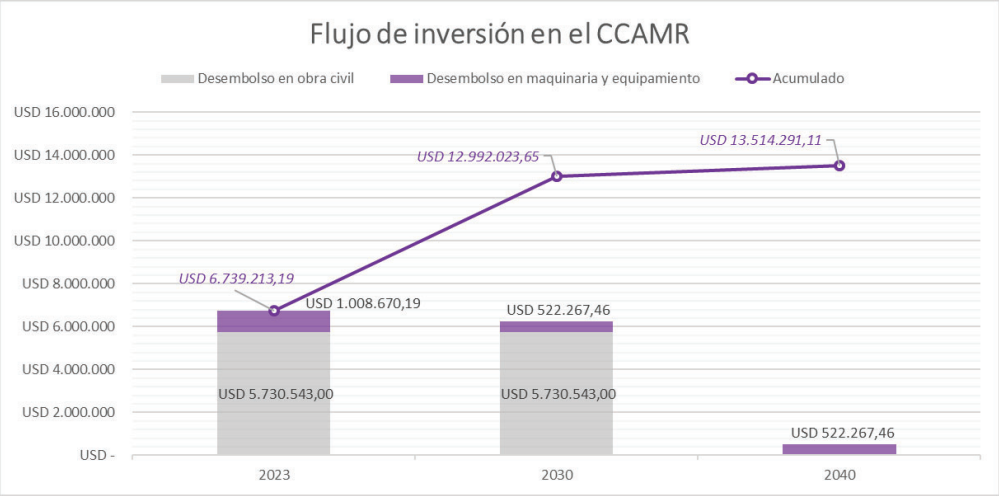


Figura 38 - *Inversión en equipamiento para la implementación de las naves del CCAMR, desembolsos de reposición de quipos y unidades e inversión acumulada.*

***Tabla 52**-Cómputos para el desarrollo del pliego de licitación de cada nave del CCAMR.*

	ITEM	UNI. DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL	SUBTOTAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES					$ 1.200.756,10	USD 11.101,67
a	Limpieza y nivelación de terreno	m2	4900	$ 242,60	USD 2,24	$ 1.188.740,00	USD 10.990,57
b	Obrador. deposito y Sanitarios	gl	1	$ 12.016,10	USD 111,10	$ 12.016,10	USD 111,10
2	PROCEDIMIENTOS Y CUMPLIMIENTOS					$ 26.828.768,10	USD 248.047,04
a	Replanteo	m2	4900	$ 5.180,10	USD 47,89	$ 25.382.490,00	USD 234.675,39
b	Cartel de Obra	m2	3	$ 11.343,50	USD 104,88	$ 34.030,50	USD 314,63
c	Cerco de obra	ml	533	$ 2.430,00	USD 22,47	$ 1.295.190,00	USD 11.974,76
d	Luz y fuerza motriz	mes	12	$ 9.754,80	USD 90,19	$ 117.057,60	USD 1.082,26
3	FUNDACIONES					$ 20.462.538,13	USD 189.187,67
a	Movimiento de tierra a mano y maquina	m3	774	$ 684,20	USD 6,33	$ 529.354,74	USD 4.894,18
b	Platea de de fundador de hormigon s/ calculo	m3	774	$ 25.178,20	USD 232,79	$ 19.479.975,79	USD 180.103,33
c	Calculo de platea de fundacion por calculista	ld	1	$ 453.207,60	USD 4.190,16	$ 453.207,60	USD 4.190,16
4	ESTRUCTURAS					$ 22.552.876,14	USD 208.514,02
a	estructura metalica (columnas vigas)	kg	41349	$ 540,20	USD 4,99	$ 22.336.796,14	USD 206.516,24
b	Dinteles metalicos para porton	kq	400	$ 540,20	USD 4,99	$ 216.080,00	USD 1.997,78
5	CERRAMIENTOS					$ 46.543.410,79	USD 430.320,00
a	Mampostería de bloques de hormigon 0,20m	m2	1418	$ 2.755,90	USD 25,48	$ 3.909.026,58	USD 36.141,15
b	Tabique simple espesor total 9.5cm. Estructura de chapa galvanizada, con montantes cada 48cm. Solera inferior y superior de 70mm. Placa normal 15mm en paredes de VESTUARIOS	m2	645	$ 52.050,00	USD 481,23	$ 33.558.552,63	USD 310.267,68
c	Chapa en vertical con estructura se sosten	m2	1719	$ 5.278,80	USD 48,81	$ 9.075.831,58	USD 83.911,16
6	CARPETAS Y CONTRAPISOS					$ 2.837.667,37	USD 26.235,83
a	Contrapiso sobre platea Interior	m2	1118	$ 913,80	USD 8,45	$ 1.021.211,58	USD 9.441,68
b	Carpeta de Cemento alisado interior	m2	1118	$ 723,60	USD 6,69	$ 808.654,74	USD 7.476,47
c	Capa aisladora horizontal sobre platea	m2	1118	$ 901,80	USD 8,34	$ 1.007.801,05	USD 9.317,69
7	REVESTIMIENTOS Y PISOS					$ 450.481,20	USD 4.164,95
a	Pisos Cerámicos en vestuarios	m2	67	$ 2.548,20	USD 23,56	$ 170.729,40	USD 1.578,49
b	Revestimiento Cerámicos en vestuarios	m2	201	$ 1.391,80	USD 12,87	$ 279.751,80	USD 2.586,46
8	CUBIERTAS Y CIELORRASOS					$ 96.212,00	USD 889,53
a	Cielo raso suspendido junta tomada con placas anti humedad en Vestuarios	m2	67	$ 1.436,00	USD 13,28	$ 96.212,00	USD 889,53
9	CARPINTERIAS					$ 1.424.964,70	USD 13.174,60
a	Carpinterias interiores puerta placa	unidad	4	$ 22.503,50	USD 208,06	$ 90.014,00	USD 832,23
b	Carpinterias exteriores - puerta antipanico metalica	unidad	7	$ 63.575,70	USD 587,79	$ 445.029,90	USD 4.114,55
c	Carpinterias exteriores - Porton levadizo enrrollable	unidad	4	$ 195.000,00	USD 1.802,88	$ 780.000,00	USD 7.211,54
d	Carpinterias interiores - ventana de aluminio de 1,10 x 1.00	unidad	8	$ 13.740,10	USD 127,03	$ 109.920,80	USD 1.016,28
10	PINTURAS					$ 43.550,00	USD 402,64
a	Cielorrasos de placa de yeso en vestuarios	m2	67	$ 650,00	USD 6,01	$ 43.550,00	USD 402,64
11	INSTALACION SANITARIA					$ 538.129,70	USD 4.975,31
a	Agua fria y caliente/cloaca/TR	gl	1	$ 426.334,10	USD 3.941,70	$ 426.334,10	USD 3.941,70
5	Artefactos Sanitarios	unidad	12	$ 4.526,90	USD 41,85	$ 54.322,80	USD 502,24
c	Griferías y canillas de servicio	unidad	12	$ 4.789,40	USD 44,28	$ 57.472,80	USD 531,37
12	DESAGÜES PLUVIALES					$ 145.160,00	USD 1.342,09
a	Cañericamara sizingueria y acc.pluviaies	gl	1	$ 145.160,00	USD 1.342,09	$ 145.160,00	USD 1.342,09
13	INSTALACION CONTRA INCENDIOS					$ 371.991.500,00	USD 3.439.270,53
a	instalación contra incendios	bocas	50	$ 7.439.830,00	USD 68.785,41	$ 371.991.500,00	USD 3.439.270,53
14	INSTALACION ELECTRICA					$ 51.672.736,40	USD 477.743,49
a	Pilar de medidor, tablero comp. Puesta a tierra para suministro TRIFASICO	unidad	1	$ 59.601,40	USD 551,05	$ 59.601,40	USD 551,05
b	Instalación electrica completa (cañerías,cableados, tomas y bocas)	gl	1	$ 51.019.750,00	USD 471.706,27	$ 51.019.750,00	USD 471.706,27
c	Provision y Colocación de artefactos electricos	unidad	50	$ 11.867,70	USD 109,72	$ 593.385,00	USD 5.486,18
15	OBRAS COMPLEMENTARIAS					$ 73.026.780,00	USD 675.173,63
a	Pavimento de hormigon armado con cerdos de 11°A° de 7 x 15 cm. excavacion, relleno y compactacion de tierra	m2	8524	$ 8.500,00	USD 78,59	$ 72.454.000,00	USD 669.877,96
b	Vereda exterior de hormigos cepillado con contrapiso	m2	20	$ 1.639,00	USD 15,15	$ 32.780,00	USD 303,07
c	Colocacion de reflector led 240w - 20,000 lm - tipo R20 (Alumbrado publico)	unidad	12	$ 45.000,00	USD 416,05	$ 540.000,00	USD 4.992,60
						TOTAL	***USD 5.730.543,00***

7.1.C – Centro de Chipo y Compostaje

Para el caso del CCC, se planteó el desembolso de inversión para adquisición de maquinaria y herramientas para puesta en marcha, teniendo en cuenta que la obra civil se aprovechará la existente y compartida con el RS, lo mismo que la báscula y sistema de ingreso. En la *tabla 53*, se puede ver el detalle de los equipos, herramientas y materiales para la instalación y puesta en marcha, con sus respectivos costos.

Tabla 53 - *Presupuesto estimado para la puesta en marcha del CCC*

Detalle	Marca	Modelo	Proveedor	Costo unitario		Cantidad	Un.	Subtotal	
Chipeadora para ramas	DEISA	DEISA 1200	DEISA	USD	70.940,00	2	u	USD	141.880,00
Chipeadora para troncos	Bandit	Bandit 19XP	Econovo	USD	165.000,00	2	u		
Motosierra a nafta	Stihl	35.2cc MS 210 2.2cv	Los Arces	USD	656,65	2		USD	1.313,30
Azada Acero Carbono	Tramontina	Con Cabo 1,30m 18	Zona Mayorista importadora	USD	46,88	2		USD	93,75
Pala Ancha	Gherardi	Cabo Madera 71 Cm	Maquitools	USD	53,21	5		USD	266,03
Pala Punta	CAT	Cabo Corto Fibra De Vidrio Con Mango	TodoMaq	USD	70,81	4		USD	283,22
Hacha Grande Mango Cabo Madera 90cm Tipo Tumba	Bremen	7649	Toolvana	USD	58,82	4	u	USD	235,29
Machete De Acero	Truper	50 Cm de largo	Ferretería Fernoluz	USD	12,74	4	u	USD	50,98
Rastrillo	TF	18 Dientes Curvo	Tienda Black	USD	20,28	4	u	USD	81,13
Horquilla	Truper	Forjada 4 Dientes	Ferretería Martín	USD	62,31	4	u	USD	249,24
Serrucho P/ Poda 12 Triple Filo	Hamilton	Spo12	DHBtools	USD	16,59	4	u	USD	66,34
Tijera de poda extensible	Crossmaster	9937880	BUL-MAK	USD	49,20	4	u	USD	196,80
Barre hojas	Truper	EMP-22	Luján Agrícola	USD	20,65	12	u	USD	247,84
Carretilla		Reforzada 95 l	Norberto fassi	USD	100,00	4	u	USD	400,00
Removedor de compost de avance hidráilico	DEISA	DEISA RCA360	DEISA	USD	187.000,00	1	u	USD	187.000,00
Zaranda eéctrica	DEISA	ZT270	DEISA	USD	12.850,00	3	u	USD	38.550,00
Sustrato de Arena	-	-	Materiales 2448	USD	25,33	691,2	m3	USD	17.505,31
Granza	-	-	Materiales 2448	USD	34,18	3402,94	m3	USD	116.300,78
Geomembrana	Grupo AP	Polytex 1500 micrones	Agroredes	USD	5.666,08	19,92	Rollos	USD	112.868,38
Tubos para drenaje	Drena	DN 100 - 5 ranuras	Saladillo SA	USD	7,00	1924,8	m	USD	13.466,68
Cañería	AWADUCT	DN 65 mm	Saladillo SA	USD	14,22	31	Tiras	USD	440,89
Cañería	AWADUCT	DN 110 mm	Saladillo SA	USD	36,05	34	Tiras	USD	1.225,59
Acople Puntera hembra DN 65mm	DRENOFLEX		Saladillo SA	USD	1,64	48	u	USD	78,88
Acople Ramal 45° con reducción 110	AWADUCT		Saladillo SA	USD	5,75	48	u	USD	276,07
Codo 90° - DN 110 mm	AWADUCT		Saladillo SA	USD	1,74	1	u	USD	1,74
Tanque vertical	Rotoplast	Tricapa 10.000 l	Lopez Gas	USD	1.942,92	1	u	USD	1.942,92
Bomba	MEP	CPM-130A-AT	Shueiz Solutions SRL	USD	165,86	2	u	USD	331,73
Caño de PEAD	AWADUCT	DN 25mm	Saladillo SA	USD	5,11	85	tiras	USD	434,30
Válvula de compuerta	AWADUCT	PVC 25 mm	Saladillo SA	USD	17,24	14	u	USD	241,31
Codo 90°	AWADUCT	Electrofusión P/SDR11	Saladillo SA	USD	3,01	17	u	USD	51,24
Tee Electrofusión	AWADUCT	P/SDR11 DN 25	Saladillo SA	USD	4,11	11	u	USD	45,23
Manguera	Faplas	mallada 1"		USD	0,58	100	m	USD	57,84
Aspersor espiga	Gardex	giratorio 1"	Brufau Sanitarios	USD	8,56	2	u	USD	17,11
							Total	**USD**	**636.199,94**

7.1.D – Relleno Sanitario

Para el análisis del RS, primero se tuvo en cuenta los trabajos referentes al movimiento de suelo, para el acondicionamiento del predio, cálculo que se puede ver en *la tabla 54*; y en la *tabla 55*, se manifiestan el detalle de equipamiento, equipos y materiales para el emplazamiento y puesta en marcha. Estos ítems reflejan costos de ***USD 3.431.749,26*** en movimiento de suelo y USD 41.242.904,68 en maquinaria, equipamiento y materiales para la instalación. Además, se propone una reposición de toda la flota de maquinaria a los 20 años de funcionamiento, lo que, en 2043, se debería realizar un desembolso de ***USD 1.784.479,62*** para estos fines, generando un total de inversión de ***USD 46.459.133,56***

Tabla 54- Presupuesto estimado para los trabajos de suelo correspondiente del RS.

	ITEM	UNI. DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO		TOTAL
1	Limpieza, excavación, nivelación y movimiento de suelos	m^2	1530000	USD 2,24	USD	3.431.749,26
				TOTAL	***USD***	***3.431.749,26***

Tabla 55 - Presupuesto estimado para la puesta en marcha del RS

Detalle	Marca	Modelo	Proveedor	Costo unitario		Cantidad	Un.		Subtotal
Topadora de 395 HP	Komatsu	D155 - AX6	MAQUIN- AR	USD	315.000,00	2	u	USD	630.000,00
Retroexcavadora a oruga	Cat	Cat 320	MAQUIN- AR	USD	200.000,00	2	u	USD	400.000,00
Rodillo vibratorio pata de cabra	Dynapac	CA15	MAQUIN-AR	USD	73.500,00	1	u	USD	73.500,00
Motoniveladora 140 HP	Holland	140b	MQUINA-AR	USD	126.000,00	1	u	USD	126.000,00
Compactador sanitario de residuos	XCMG	XH284J	MAQUIN-AR	USD	350.000,00	1	u	USD	350.000,00
Tractor de uso vial cabina cerrada	Pauny	540 C	MAQUIN-AR	USD	94.500,00	2	u	USD	189.000,00
Motoguadaña de corte y arrastre	Stihl	FS55	Rolón Motosierras	USD	284,08	4	u	USD	1.136,31
Acoplado Tanque Regador 8.000 litros de Fibra	Grosspal	TRV8000	Maquinagro	USD	14.843,30	1	u	USD	14.843,30
membrana bentónica (GCL)	wrekin	GCL 4500	Cotterill Civils	USD	2.427,33	7603	rollos	USD	18.454.989,99
Membrana hdp de 1500 micrones	Polytex	GEOMEMBRANA 7.00X1500X100 NEGR	Grupo Agroredes Polcom	USD	5.942,78	3780	rollos	USD	22.463.699,81
Caño columna de PVC x 200 mm diámetro	DPK	Caño Columna	DPK SRL	USD	31,56	2520	Tubos	USD	79.536,83
Spmbrerete de ventilación 110 mm	AWADUCT		Saladillo SA	USD	3,24	378	Tubos	USD	1.224,56
Granza			Materiales 2448	USD	34,18	1815	m3	USD	62.030,49
Sustrato de Arena Grava de Río			Materiales 2448	USD	25,33	605	m3	USD	15.322,21
Bolsa de cemento x 50 kg	:emento Avellaneda		Familia Bercomat	USD	2,12	6970	Bolsas	USD	14.768,59
Tubos para drenaje DN 110 mm	Drena	DN 110 - 5 ranuras	Saladillo SA	USD	7,00	21630	m	USD	151.332,20
DN 110 mm	AWADUCT		Saladillo SA	USD	36,05	487	Tiras	USD	17.554,82
Ramal 45° de drenaje	AWADUCT		Saladillo SA	USD	17,68	21	u	USD	371,29
Ramal 45° doble	AWADUCT		Saladillo SA	USD	26,89	14	u	USD	376,48
Ramal 45° simple	AWADUCT		Saladillo SA	USD	8,10	7	u	USD	56,68
90° - DN 110 mm	AWADUCT		Saladillo SA	USD	1,74	1	u	USD	1,74
							Total	**USD**	**41.242.904,68**

7.2 –COSTOS DE OPERACIÓN

Para la construcción de los costos operativos se tuvo en cuenta:

- La dotación de personal y salarios a partir de los correspondientes sindicatos o salarios de referencia institucionales
- El consumo de combustible necesario para llevar adelante la operación, consumos que se estipularon en función de lo informado por los fabricantes en los catálogos y los costos de YPF en la ciudad de La Rioja y al cambio de BN el día de la consulta.
- Para el cálculo del mantenimiento preventivo de maquinaria y unidades logísticas, se consideró el indicador RAV (Valor del Activo de Reemplazo), con un valor del 3%, es decir, por encima de un promedio de mantenimiento eficiente (2%). Esto significa que el costo para el mantenimiento preventivo es el 3% del valor de la unidad.
- El consumo eléctrico, según el cuadro tarifario vigente de Empresa Distribuidora de Electricidad de La Rioja S.A.(EDELAR)

7.2.A – Sistema de recolección de residuos

En el análisis de los costos de dotación de personal para el sistema de recolección, se dividió por servicio en función de la fracción y esquema de recolección, arrojando un total mensual de USD 79.016, tal como se puede validar en la tabla 56. Considerando el Sueldo Anual Complementario (SAC) suma un total de USD 945.945,06 anual. Tal como se planteó en el plan GIRSU, la recolección de contenedores de material reciclable a partir de 2030 va a tener su dotación propia del servicio, en efecto, el total mensual pasaría a USD 79.016,76 y anualmente a USD 1.027.217,83.

Tabla 56 – Gasto mensual en dotación de personal para el sistema de recolección.

Rol		Categoria sindical	Cantidad	Salario Unitario	Salario Unitario	Unidad	Subtotal mensual
SISTEMA DE RECOLECCIÓN							
Coordinador Greneral		Operador de servicios	1	$ 681.610,23	USD 695,35	mes	USD 695,35
Encargado operativo		Personal administrativo de	2	$ 637.469,19	USD 650,32	mes	USD 1.300,64
tema conteneriza	Chofer	Chofer de primera categoria	11	$ 640.587,28	USD 653,50	mes	USD 7.188,50
	Asistente	Peones generales de barrido y limpieza	11	$ 585.056,07	USD 596,85	mes	USD 6.565,35
Puerta a Puerta	Chofer	Chofer de primera categoria	25	$ 640.587,28	USD 653,50	mes	USD 16.337,51
	Corredor	Recolector de residuos	50	$ 590.693,56	USD 602,60	mes	USD 30.130,05
Fracción Verde	Chofer	Chofer de primera categoria	8	$ 640.587,28	USD 653,50	mes	USD 5.228,00
	Operario	Operario especializado	16	$ 590.693,56	USD 602,60	mes	USD 9.641,62
Mecánico		Oficial completo de taller	1	$ 676.477,24	USD 690,11	mes	USD 690,11
Ayudante de mecánico		Lavadores, engrasadores y	2	$ 607.563,41	USD 619,81	mes	USD 1.239,62
						Total	***USD 79.016,76***

Para el cálculo de combustible, en primera medida se calculó el consumo para la recolección de basura (f_B) y reciclables (f_R) tanto puerta a puerta como contenerización, considerando la distancia recorrida en la recolección dentro del cuadro y luego la distancia desde y al centro de descarga del material. Con estos datos se construyó la *tabla 57*, teniendo en cuenta que a partir de 2030 la frecuencia de recolección de la fracción reciclable y los cuadros de frecuencia 2 (en basura), pasarían a frecuencia 3. Esta construcción, arrojo un consumo semanal de 1.370,97 litros semanales para el comienzo del plan GIRSU y 1.968,34 a partir de 2030, lo que implica un gasto semanal de USD 1.593,02 hasta 2030 y USD 2.287,13 para la etapa posterior. Anualizando ambos costos darían un total de USD 82.836,83 y USD 118.930,72 respectivamente.

Para la recolección de la fracción verde, se puede ver el esquema de recolección y los respectivos consumos de combustible en la *tabla 58,* teniendo en cuenta que se realizó un cálculo estimativo debido a que como se mencionó en el plan GIRSU, no es un servicio por barrido sino de envíos puntualizados. Para abastecer este servicio de combustible son necesarios 97,63 litros semanales, un costo de USD 113,44, lo que anualizado USD 5.898,81

Tabla 57 – *Consumo de combustible en la recolección de la fracción basura (fB) y reciclables (fR), según el cuadro y la etapa de implementación del plan GRISU (2023 Y 2030).*

				2023					2030				
# Cuadro	Distancia recorrida en recolección (km)	Distancia al inicio y fin de cuadro (km)	Distancia total diaria(km)	Fcia. de rec.		Distancia total semanal (km)		Consumo semanal (l)	Fcia. de rec.		Distancia total semanal (km)		Consumo semanal (l)
				f_B	f_R	f_B	f_R		f_B	f_R	f_B	f_R	
1	23,1	15,06	53,22	6	1	319,3	53	49,92	6	3	319,32	159,66	64,18
2	24,2	17,7	59,6	6	1	357,6	60	55,90	6	3	357,6	178,8	71,88
3	17	17,7	52,4	6	1	314,4	52	49,15	6	3	314,4	157,2	63,19
4	19	17,7	54,4	6	1	326,4	54	51,03	6	3	326,4	163,2	65,61
5	39,6	18,22	76,04	6	1	456,2	76	71,33	6	3	456,24	228,12	91,70
6	23,1	21,21	65,52	6	1	393,1	66	61,46	6	3	393,12	196,56	79,02
7	25,3	21,21	67,72	6	1	406,3	68	63,52	6	3	406,32	203,16	81,67
8	24,9	21,21	67,32	6	1	403,9	67	63,15	6	3	403,92	201,96	81,19
9	18,8	21,86	62,52	6	1	375,1	63	58,64	6	3	375,12	187,56	75,40
10	27,1	25,41	77,92	2	1	155,8	78	31,32	3	3	233,76	233,76	62,65
11	27,7	25,41	78,52	2	1	157	79	31,57	3	3	235,56	235,56	63,13
12	19,2	25,41	70,02	6	1	420,1	70	65,68	6	3	420,12	210,06	84,44
13	27,3	19,64	66,58	6	1	399,5	67	62,45	6	3	399,48	199,74	80,30
14	26,6	19,64	65,88	6	1	395,3	66	61,80	6	3	395,28	197,64	79,45
15	19,9	19,64	59,18	6	1	355,1	59	55,51	6	3	355,08	177,54	71,37
16	21,6	20,43	62,46	6	1	374,8	62	58,59	6	3	374,76	187,38	75,33
17	17	20,43	57,86	6	1	347,2	58	54,27	6	3	347,16	173,58	69,78
18	37,9	20,3	78,5	6	1	471	79	73,63	6	3	471	235,5	94,67
19	26,9	24,65	76,2	6	1	457,2	76	71,48	6	3	457,2	228,6	91,90
20	38,4	20,3	79	2	1	158	79	31,76	3	3	237	237	63,52
21	26	24,65	75,3	2	1	150,6	75	30,27	3	3	225,9	225,9	60,54
22	33,2	24,98	83,16	2	1	166,3	83	33,43	3	3	249,48	249,48	66,86
23	26,2	24,65	75,5	2	1	151	76	30,35	3	3	226,5	226,5	60,70
24	8,3	24,98	58,26	2	1	116,5	58	23,42	3	3	174,78	174,78	46,84
25	29,1	15,06	59,22	6	1	355,3	59	55,55	6	3	355,32	177,66	71,42
26	39,8	15,06	69,92	2	1	139,8	70	28,11	3	3	209,76	209,76	56,22
27	17,9	19,24	56,38	2	1	112,8	56	22,66	3	3	169,14	169,14	45,33
28	29,1	16,58	62,26	2	1	124,5	62	25,03	3	3	186,78	186,78	50,06
							Total	1.370,97					1.968,34

Tabla 58 - *Consumo de combustible en la recolección de la fracción verde, según esquema semanal y cuadro de recolección.*

Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes		
# cuadro	Distancia	consumo (l)	# cuadro	Distancia	consumo (l)	# cuadro	Distancia	consumo (l)	# cuadro	Distancia	consumo (l)	# cuadro	Distancia	consumo (l)
1	15,06	2,02	3	17,7	2,37	9	21,86	2,93	19	24,65	3,30	8	21,21	2,84
2	17,7	2,37	4	17,7	2,37	14	19,64	2,63	20	20,3	2,72	10	77,92	10,44
25	15,06	2,02	5	18,22	2,44	15	19,64	2,63	21	24,65	3,30	11	78,52	10,52
26	15,06	2,02	6	21,21	2,84	16	20,43	2,74	22	24,98	3,35	12	70,02	9,38
27	19,24	2,58	7	21,21	2,84	17	20,43	2,74	23	24,65	3,30	18	20,3	2,72
28	16,58	2,22	13	19,64	2,63				24	24,98	3,35			
Total	98,7	13,23		115,68	15,50		102	13,67		144,21	19,32		267,97	35,91

En lo que refiere a los gastos de mantenimiento de la flota, en la *tabla 59,* se encuentran los costos estimados por tipo de equipo o unidad. Esto permitirá que, a medida que se vayan realizando los recambios de repuestos y tareas de mantenimiento, poder evaluar si hay desvíos en los costos en los diferentes modelos o unidades.

Tabla 59- Costos estimados para el mantenimiento de las unidades del sistema de recolección considerando un RAV del 3%.

Detalle	Marca	Modelo	Cantidad	Un.	Mantenimiento
Camión Chasis 6x4	Iveco	HI-WAY 490S44	39	u	USD 170.820,00
Compactador de carga latreral 21 m3	AMS	CL - 21M3	12	u	USD 94.248,00
Compactador de carga trasera 21 m3	Econovo	ECO ANDRES 21	4	u	USD 5.256,00
Compactador de carga lateral apra	Econovo	Ecoclos 16	6	u	USD 6.156,00
Autocargador roll off a cable	Econovo	Ecorof 20	1	u	USD 1.080,00
Batea con Grua 24 m3	Econovo	Ecocro 24	7	u	USD 2.478,00
				Total	**USD 280.038,00**

7.2.B – Centro de Clasificación y Acondicionamiento de Materiales Reciclables

Para el CCAMR, se consideró que el esquema de operación, tal como se manifestó en el plan GIRSU, será mixto, es decir el gobierno local proveerá del espacio, los gastos de combustible, servicios y un salario mínimo para los trabajadores, y las cooperativas locales, pondrán la mano de obra y harán usufructo del total del ingreso por la venta del material recuperado. Dentro de este esquema se establece que, como salario base, el Salario Mínimo Vital y Móvil, dolarizado. Teniendo en cuenta que cada línea de clasificación cuenta con 85 personas en total, esto implica una erogación presupuestaria mensual de USD 23.548,88 para la puesta en marcha de la primera línea de clasificación. Considerando la puesta en marcha de las siguientes etapas, este presupuesto se duplicará en 2025, en 2030 se triplicará a USD 70.646,64 y siendo a partir de 2040 de USD 94.195,52.

En lo que respecta al consumo de combustible, en la *tabla 60*, se observa el consumo de los autoelevadores por línea de clasificación, según los datos que proporciona el fabricante y considerando 2 horas netas de operación por equipo. Esto arroja un total de 43,2 litros diarios, un total semanal de 259,2 litros lo que implica un gasto de USD 301,18 y un anualizado de USD 15.661,37.

Para el mantenimiento de la maquinaria, se estima un costo de USD 13.410,68 por línea de clasificación, pudiéndose validar el detalle por unidad en la *tabla 61.*

Tabla 60 – consumo de los autoelevadores de cada línea de clasificación, considerando un tiempo neto de operación de 2 horas diarias.

Maquinaria	Marca	Modelo	Consumo (l/h)	Horas netas de uso	Cantidad de equipos	Tipo de combustible	Requerimiento diario (l)
Autoelevador 2.500 kg de capacidad	CT POWER	FD25	10,8	2	2	Diesel	43,2

Tabla 61 - Costos estimados para el mantenimiento del equipamiento del CCAMR, por línea de clasificaicón considerando un RAV del 3%.

Detalle	Marca	Modelo	Cantidad	Un.	Mantenimiento	
Cinta de clasificación DEISA	DEISA		1	u	USD	3.099,08
Prensa vertical	DEISA	EV-11	3	u	USD	2.068,20
Molino triturador	ABECOM	TE250-50/15	2	u	USD	4.176,00
Triturador de vidrio	ABECOM	TV140-34	2	u	USD	1.518,00
Autoelevador 2.500 kg de capacidad	CT POWER	FD25	2	u	USD	1.685,46
Apilador eléctrico	Heli	CQDM15-810	2	u	USD	863,94
				Total	USD	13.410,68

Para estimar el costo de los servicios, en el CCAMR, se considera que no tendrá artefactos a gas, y que el único servicio a contratar será electricidad. Para ello se calculó el consumo de la maquinaria, la iluminación de planta, la iluminación exterior y el equipamiento administrativo y de maños y cocinas. A partir de este análisis, se concluyó que se necesitará contratar una tarifa T2 categoría BT2 según el esquema de contratación de EDELAR. Para la categoría mencionada, aplica el cuadro tarifario que se refleja en la *tabla 62*. En este caso, como el cuadro tarifario está en pesos argentinos, los ítems por separado se calcularon en esta moneda y luego se dolarizó el total. Por otro lado, los consumos de las maquinarias, dispositivos y artefactos se calcularon en función de las características declaradas por el fabricante en los respectivos manuales y fichas técnicas. En el caso de las maquinarias con motores, las cuales presentaban las potencias en HP o CV, se pasó todo a kW. En la *tabla 63*, se puede ver el análisis de consumo eléctrico y costos en función de la puesta en marcha de las distintas líneas de clasificación.

Tabla 62 – Esquema tarifario vigente de EDELAR S.A. para usuraios T2-BT2 fte: https://www.edelar.com.ar/files.php?f=cuadro-tarifario

Concepto	unidad	costo
Por capacidad de suministro en horas pico	$/KW-mes	3091,14
Por máxima capacidad de suministro contratada	$/KW-mes	526,55
Cargo fijo	$/mes	600,86
Por consumo de energía en horas pico	$/KwWh	100,9906

Tabla 63 – Detalle del consumo eléctrico del CCAMR por equipo y por etapa de implementación y puesta en marcha de las diferentes líneas de clasificación, y costos de facturación mensual, según tarifas de EDELAR y contratación de tarifa T2-BT2

Equipo		Potencia por equipo	Uso por equipo	Cantidad de equipos por línea de clasificación	2023		2025		2030		2040	
					Potencia requerida a la red	Consumo mensual	Potencia requerida a la red	Consumo mensual	Potencia requerida a la red	Consumo mensual	Potencia requerida a la red	Consumo mensual
		kw	*h*	*u*	*kw*	*kwh*	*kw*	*kwh*	*kw*	*kwh*	*kw*	*kwh*
Planta de clasificación	Cinta de alimentación	3,03	10	1	78,65	260,00	157,31	520,00	235,96	780,00	314,62	1.040,00
	Cinta transportadora	2,27	10	1	58,99	260,00	117,98	520,00	176,97	780,00	235,96	1.040,00
	Cinta de rechazo	1,51	10	1	39,33	260,00	78,65	520,00	117,98	780,00	157,31	1.040,00
Prensa vertical	DEISA-EV 11	9,33	8	3	727,35	624,00	1.454,70	1.248,00	2.182,05	1.872,00	2.909,40	2.496,00
ABECOM	TE250-50/15	11,19	4	2	581,88	208,00	1.163,76	416,00	1.745,64	624,00	2.327,52	832,00
ABECOM	TV140-34	2,98	4	2	155,17	208,00	310,34	416,00	465,50	624,00	620,67	832,00
Heli	CQDM15-810	0,81	4	2	42,12	208,00	84,24	416,00	126,36	624,00	168,48	832,00
Microondas		0,66	1	2	1,33	34,56	2,66	69,12	3,99	103,68	5,32	138,24
Termotanque		1,36	2	2	2,73	141,75	5,45	283,50	8,18	425,25	10,90	567,00
Pava		2,08	1	2	4,15	108,00	8,31	216,00	12,46	324,00	16,62	432,00
Computadora		0,02	10	3	0,07	17,82	0,14	35,64	0,21	53,46	0,27	71,28
Iluminación		0,15	10	25	97,50	6.500,00	195,00	13.000,00	292,50	19.500,00	390,00	26.000,00
Iluminación exterior		0,10	8	15	1,50	3.120,00	3,00	6.240,00	4,50	9.360,00	6,00	12.480,00
		Total mensual			**1.790,77**	**11.950,13**	**3.581,54**	**23.900,26**	**5.372,31**	**35.850,39**	**7.163,07**	**47.800,52**
		Por capacidad de suministro en horas pico			$	5.535.516,33	$	11.071.032,65	$	16.606.548,98	$	22.142.065,31
		Por máxima capacidad de suministro contratada			$	1.037.222,10	$	2.074.444,21	$	3.111.666,31	$	4.148.888,42
		Cargo fijo			$	600,86	$	600,86	$	600,86	$	600,86
		Por consumo de energía en horas pico			$	1.206.850,80	$	2.413.701,60	$	3.620.552,40	$	4.827.403,20
		TOTAL MENSUAL			**$**	**7.780.190,09**	**$**	**15.559.779,32**	**$**	**23.339.368,55**	**$**	**31.118.957,78**
					USD 7.937,03		**USD 15.873,44**		**USD 23.809,85**		**USD 31.746,26**	

7.2.C – Centro Chipeo y Compostaje

El CCC, contará con una dotación de personal de 14 personas, lo que implicará una erogación mensual de USD 8.517,70 y anualizada de **USD 110.730,07**, considerando el SAC. Datos que se pueden verificar en la *tabla 64*, en función de las categorías sindicales y roles.

Evaluando el consumo de combustible, se llega a un consumo diario de 22 litros de diésel y 6 de nafta súper por día, lo que semanalmente implica un presupuesto de USD 193,59 y anual de **USD 10.066,86** (ver *tabla 65*). En lo que respecta al mantenimiento del equipamiento, se estimó en un costo de USD 14.195,80, tal como se puede ver en los datos analizados en la *tabla 66.* Es importante destacar que, como ya se mencionó en más de una oportunidad, el CCC comparte predio e instalaciones con el RS, por lo cual el servicio de electricidad será compartido.

Tabla 64 - *Gasto mensual en dotación de personal para la operación del CCC.*

Rol	Categoria sindical	Cantidad	Salario Unitario		Unidad	Subtotal mensual		Subtotal Anual	
Coordinador General	Operador de servicios	1	USD	695,35	mes	USD	695,35	USD	9.039,55
Personal Administrativo	Personal administrativo de cuarta categoría	1	USD	591,14	mes	USD	591,14	USD	7.684,77
Operarios	Operario especializado	12	USD	602,60	mes	USD	7.231,21	USD	94.005,75
Total mensual						***USD***	***8.517,70***	***USD***	***110.730,07***

Tabla 65- *Consumo de combustible para la operación del CCC.*

Maquinaria	Marca	Modelo	Consumo (l/h)	Horas netas de uso	Cantidad de equipos	Tipo de combustible	Requerimiento diario (l)	Subtotal semanal
Chipeadora DEISA 1200 para ramas y troncos de hasta 30 cm de diametro.	DEISA	DEISA 1200	10	1	1	Diesel	10	USD 69,72
Chipeadora Bandit 19XP para troncos de hasta 457 mm	Bandit	Bandit 19XP	12	1	1	Diesel	12	USD 83,66
Motosierra a nafta	Stihl	MS 210 2.2cv	0,75	4	2	Nafta	6	USD 6,70
							Total	**USD 193,59**

Tabla 66- *Costos estimados para el mantenimiento del equipamiento del CCC considerando un RAV del 3%.*

Detalle	Marca	Modelo	Cantidad	Un.	Mantenimiento	
Chipeadora para ramas	DEISA	DEISA 1200	2	u	USD	4.256,40
Chipeadora para troncos	Bandit	Bandit 19XP	2	u	USD	9.900,00
Motosierra a nafta	Stihl	35.2cc MS 210 2.2cv	2	u	USD	39,40
				Total	USD	14.195,80

7.2.D – Relleno Sanitario

La operación del RS estará llevada adelante por 24 colaboradores, los cuales se pueden observar en detalle en la *tabla 67*, con sus respectivos salarios mensuales y anuales considerando el SAC. Esto implica un presupuesto total mensual de USD 17.695,54 y de USD 218.341,97 anuales.

Tabla 67 - Gasto mensual en dotación de personal para el sistema del RS.

Rol	Categoria sindical	Cantidad	Salario Unitario	Unidad	Subtotal mensual	Subtotal Anual
Gerente General	Funcion ejecutiva Nivel IV	1	USD 1.295,62	mes	USD 1.295,62	USD 16.843,08
Jefe de operaciones	Jefe de departamento AI	1	USD 949,25	mes	USD 949,25	USD 12.340,29
Jefe de Administración	Jefe de departamento AII	1	USD 939,79	mes	USD 939,79	USD 12.217,23
Topadorista	Maquinista	2	USD 665,15	mes	USD 1.330,30	USD 17.293,92
Retrista	Maquinista	2	USD 665,15	mes	USD 1.330,30	USD 17.293,92
Tractorista	Maquinista	2	USD 665,15	mes	USD 1.330,30	USD 17.293,92
Maquinista de rodillo vibratorio	Maquinista	1	USD 665,15	mes	USD 665,15	USD 8.646,96
Maquinista de motoniveladora	Maquinista	1	USD 665,15	mes	USD 665,15	USD 8.646,96
Maquinista de compactadora	Maquinista	1	USD 665,15	mes	USD 665,15	USD 8.646,96
Mecánico	Oficial completo de taller	1	USD 690,11	mes	USD 690,11	USD 8.971,48
Ayudante de mecánico	Lavadores, engrasadores y ayudantes de taller	2	USD 619,81	mes	USD 1.239,62	USD 16.115,08
Operarios	Operario especializado	4	USD 602,60	mes	USD 2.410,40	USD 31.335,25
Topografo	Profesional Semi senior	1	USD 851,00	mes	USD 851,00	USD 11.062,98
Administrativos	Personal administrativo de cuarta categoría	2	USD 625,55	mes	USD 1.251,11	USD 16.264,39
Maestranza	Personal de maestranza y mantenimiento	2	USD 591,14	mes	USD 1.182,27	USD 15.369,54
				Total mensual	***USD 16.795,54***	***USD 218.341,97***

En lo que respecta al consumo de combustible, representa semanalmente una erogación de USD 3.697,53, es decir un total anual de USD 192.271,66 (ver *tabla 68*). Asimismo, el equipamiento implicará un gasto de USD 53.089,09 en mantenimiento tal como se puede validar en el detalle de la *tabla 69.*

Por último, el consumo eléctrico del RS estará marcado por el equipamiento administrativo, de comedor y vestuarios, pero principalmente por el sistema de tratamiento de efluentes y las bombas de alimentación y salida de este. Como la instancia de la selección de equipos y diseño específico de la planta de tratamientos de lixiviados, excede el alcance de este PFI, no es posible calcular el costo con exactitud, ya que lo más representativo en la facturación son los cargos variables, es decir que dependen del consumo. De todas maneras, como referencia se puede tomar el cuadro tarifario

plasmado en la *tabla 62*, ya que la categoría de contratación, al igual que el CCAMR, sería una T2-BT2.

Tabla 68 - *Consumo de combustible para la operación del CCC.*

Maquinaria	Marca	Modelo	Consumo (l/h)	Horas netas de uso	Cantidad de equipos	Tipo de combustible	Consumo diario (l)	Subtotal semanal	
Topadora de 395 HP	Komatsu	D155 - AX6	38	4	2	Diesel	304	USD	2.119,42
Retroexcavadora a oruga	Cat	Cat 320	20	4	2	Diesel	160	USD	1.115,48
Rodillo vibratorio pata de cabra	Dynapac	CA15	1	2	1	Diesel	2	USD	13,94
Motoniveladora 140 HP	Holland	140b	16,25	2	1	Diesel	32,5	USD	226,58
Compactador sanitario de residuos	XCMG	XH284J	1	2	1	Diesel	2	USD	13,94
Tractor de uso vial cabina cerrada	Pauny	540 C	1,9	3	2	Diesel	11,4	USD	79,48
Motoguadaña de corte y arrastre	Stihl	FS55	1,2	4	4	Nafta	19,2	USD	128,69
							Total semanal	**USD**	**3.697,53**

Tabla 69 - *Costos estimados para el mantenimiento del equipamiento del CCC considerando un RAV del 3%.*

Detalle	Marca	Modelo	Cantidad	Un.	Mantenimiento	
Topadora de 395 HP	Komatsu	D155 - AX6	2	u	USD	18.900,00
Retroexcavadora a oruga	Cat	Cat 320	2	u	USD	12.000,00
Rodillo vibratorio pata de cabra	Dynapac	CA15	1	u	USD	2.205,00
Motoniveladora 140 HP	Holland	140b	1	u	USD	3.780,00
Compactador sanitario de residuos	XCMG	XH284J	1	u	USD	10.500,00
Tractor de uso vial cabina cerrada	Pauny	540 C	2	u	USD	5.670,00
Motoguadaña de corte y arrastre	Stihl	FS55	4	u	USD	34,09
				Total	**USD**	**53.089,09**

CAPÍTULO 8 – ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En este capítulo se abordarán todas las instancias para desarrollar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) referente al emplazamiento del CCAMR y del predio del RS, que incluye el CCC. Para ello se realizó, en primer lugar, la instancia de recopilación de datos, definición de área de influencia, relevamiento de la matriz legal, la línea de base socioambiental y la enumeración de acciones y actividades de construcción, operación y cierre de los distintos espacios. En segundo lugar, se realizó la evaluación de impactos de las dos locaciones, utilizando la matriz de Conesa Fernandez-Vitora. Además, se realizó una evaluación de la elección del sitio del RS, basada en metodología europea, adaptada a sitios de Latinoamérica por Röben (2002), ambas metodologías descriptas luego consecuentemente.

8.1.- Área de Influencia

Se entiende por área de influencia, al área geográfica sobre la cual el proyecto en cuestión puede ejercer impactos positivos o negativos sobre los receptores ambientales, y sobre cuya gestión la persona proponente está obligada a responder. Por lo general, se denomina área operativa (AO), al área que ocupa el proyecto (implantación), y las áreas de influencia del mismo, para su mejor definición se dividen en área de influencia directa (AID) y área de influencia indirecta (AII), permitiendo establecer adecuadamente los impactos directos e indirectos generados por el proyecto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina., 2023).

En este proyecto se tomarán como AO, el predio donde se ubica el CCAMR, en la intersección de la Av. Coronel Felipe Varela de la Ruta Nacional 39 y el predio que involucra el RS y el CCC, en el KM 442 de la Ruta Nacional 38. Se define como AID a todo el Departamento Capital de la Provincia de La Rioja, y el AII, se define esta como toda la Provincia, cuyos límites se pueden identificar sombreados en amarillo en la *figura 44.*

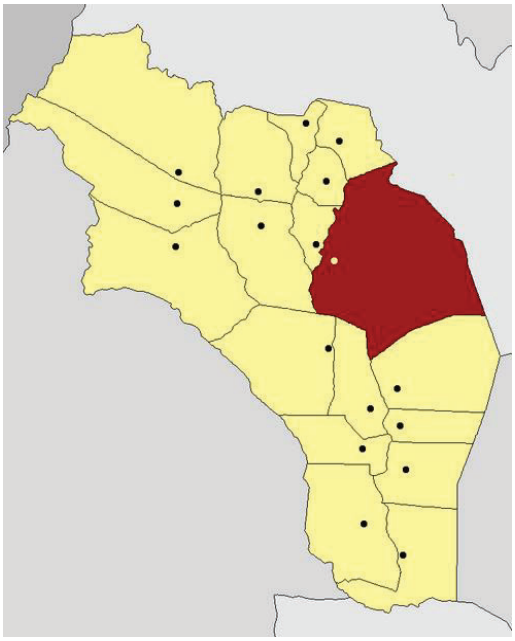


***Figura 39** - Mapa de la provincia de La Rioja referenciando las áreas de influencia. AID: Departamento Capital (color Bordó). AII: Provincia de la Rioja (color Amarillo)*

8.2.- Marco Legal

En Argentina el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) está regulado por la Ley N°25.916 de Gestión de Residuos Domiciliarios. Su objeto es lograr un adecuado y racional manejo de los desechos, revalorizando y reduciendo el volumen del material. A su vez busca minimizar los impactos negativos producidos por los residuos protegiendo el ambiente y la calidad de vida de la población. En lo que respecta a la provincia de La Rioja, la ley 6.215/96 aborda el Tratamiento y Disposición Final de Residuos, y establece que se dispondrán los residuos sólidos, con métodos sanitarios adecuados, de tal forma que no afecten la salud humana, como tampoco el ambiente natural. Erradicando los basurales a cielo abierto y los micros basurales en terrenos baldíos, se impedirá el vuelco en cauces de riego, arroyos, ríos, embates o espejos de agua.

El correlato a nivel local en la gestión de los RSU, se da por la ordenanza N°4889, la cual es profundizada en la N°5385, que tiene como objetivo la reducción progresiva de la generación de RSU y establece sanciones por arrojar residuos en sitios no habilitados para tal fin y mediante la ordenanza N°57555 del año 2020, adhiere al código unificado de colores para la separación en origen establecida en el marco de la ley Nacional N°25926. Además, la Ordenanza N°3.046, establece las condiciones de los servicios prestados por la empresa contratista encargada de la higiene urbana y recolección de residuos de la ciudad.

Ampliando el foco de la problemática de residuos, en lo que refiere a los recolectores informales, la Ciudad Capital, crea en el año 2016, el Registro Único de Recolectores Informales de Residuos en el marco de la Ordenanza N°5352. A nivel local, además se suman ordenanzas que buscan abordar fracciones particulares de residuos como la N°5887, que establece Declarar de Interés Municipal el "Sistema de Recepción de Pilas y Residuos de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)" ubicados en los CEPAR y el Palacio Municipal de la Ciudad; y la que crea el programa "COMPOSTAJE RIOJANO" bajo el número 5805, aprobada en el año 2021.

Cabe mencionar también que, en mayo de 2020, el ministerio de ambiente de la Nación, el gobierno provincial de La Rioja, y cinco municipios de la provincia, firmaron un acta acuerdo para la creación del Consorcio de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos Provincial (GIRSU), que abarca a los 18 departamentos de la provincia. La concreción de dicho consorcio tiene como finalidad, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos riojanos, generar nuevos y estables puestos de trabajo, luchar contra los vectores que se generan en torno a los residuos, formalizar el trabajo de recuperadores informales, agregarles valor a materias primas, productos y subproductos que conforman los sucesivos eslabones de la futura economía circular riojana.

Por último, abordando lo que respecta al tratamiento de efluentes, hay que destacar la Ley N°4741 y su decreto reglamentario N°773/93, en la cual se establecen los parámetros permitidos de vuelco de efluentes en todas sus opciones.

8.3.-LÍNEA DE BASE SOCIOAMBIENTAL

8.3.A.-GEOGRAFÍA DE LA CIUDAD DE LA RIOJA

La ciudad Capital de La Rioja se localiza en el centro de la provincia a 429 metros sobre el nivel del mar, enmarcada hacia el Oeste por la ladera Este de la Sierra del Velazco (Subsecretaría de Minería, 2017). Tal como se puede observar en los mapas ilustrados en la *figura 40*, esta región es el límite de interacción de las ecorregiones de Monte de sierras y Bolsones y la ecorregión de Chaco Seco, en particular dentro de la de Chaco Árido.

La geografía de los Monte de Sierras y Bolsones presenta gran variedad de estructuras geomorfológicas y de altitud. Hacia el oeste limita con la Puna y los Altos Andes, y ocupa bolsones y laderas bajas. Entre los 24° 35' y los 27° de latitud sur se observan exclusivamente valles longitudinales que se continúan hacia el sur por cuencas cerradas (bolsones) y por valles intermontanos. El área de los bolsones es una franja relativamente angosta, pero muy extendida en sentido latitudinal, y se caracteriza por no contar con una red de agua permanente. Dentro de cada bolsón se distinguen distintos paisajes con

vegetación y suelos característicos como huayquerías, barriales, medanales y salares (Morello, 1958) .

El Chaco Árido ocupa el sudoeste de la región: el este de Catamarca y La Rioja, el norte de San Luis, el noroeste de Córdoba y el sudoeste de Santiago del Estero. Está prácticamente rodeado por sierras, lo que le confiere características particulares ya que, al actuar como barrera, restringe fuertemente las precipitaciones en esta subregión. Las cuencas que se forman son autóctonas y endorreicas (no desagotan agua fuera de la región), y la evapotranspiración es superior al aporte de agua. Esto origina un fuerte proceso de evaporación, que saliniza los suelos y llega a formar salinas (Brown et al., 2006).

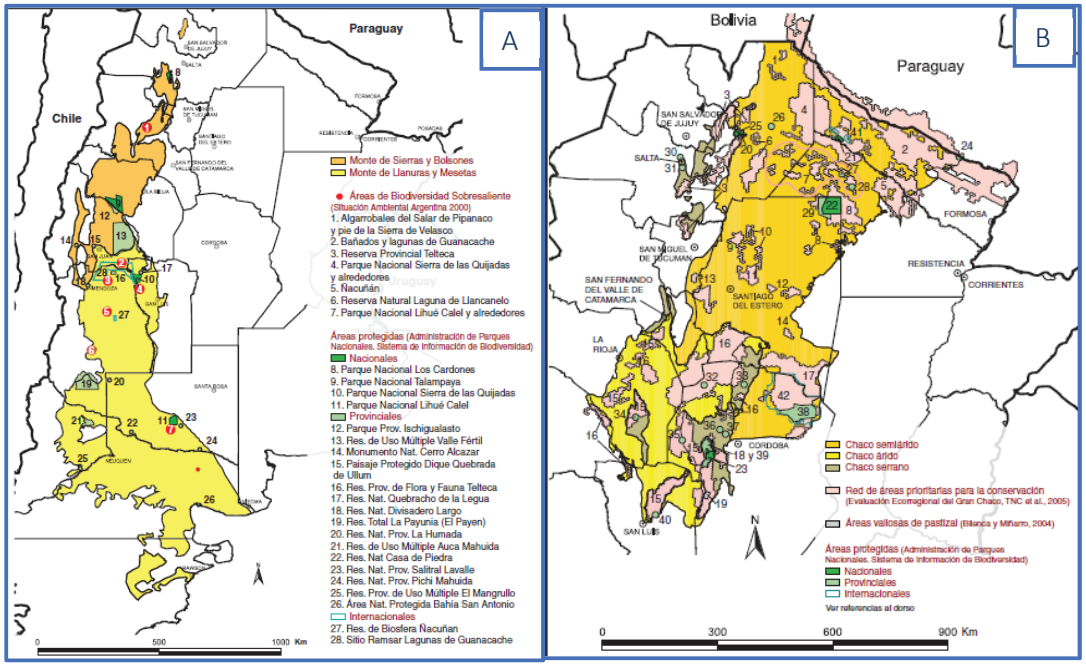


Figura 40 - A.- Distribución geográfica de la ecorregión Montes de Sierra y Bolsones. B.- Distribución geográfica de la ecorregión Chaco Seco. Fuente: Brown, Martinez Ortiz, Acerbi, & Corcuera, 2006.

8.3.B-HIDROGRAFÍA

La red hidrográfica de La Rioja, se caracteriza por la ausencia de ríos permanentes y la gran cantidad de arroyos y ríos secos, la mayoría de ellos sin desagües y de corto recorrido (Rosa & Mamani, 2000). La ciudad se localiza en el cono aluvional de la Sierra del Velasco y descarga de la cuenca Huaco-Sanagasta. Esta cuenca se encuentra contenida por el dique Los Sauces, que aporta agua potable a la zona oeste de la ciudad, mientras el resto se abastece a partir de perforaciones. La cadena montañosa de la Sierra del Velasco se abre y forma una angosta quebrada que comunica la ciudad con el Valle de Sanagasta. La ciudad presenta un descenso pronunciado de la topografía en sentido oeste-este y los mínimos niveles de altitud hacia el norte y sur (Mamani & Brito, 2014).

La ciudad es atravesada por un canal natural llamado Rio Tajamar, que en época de lluvia recoge una parte importante de los efluentes pluviales de la ciudad capital (Municipalidad de La Rioja, 2017). El clima semiárido, con lluvias de carácter torrencial en época estival, produce fuertes escorrentías que ocasionan el anegamiento de calles y barrios en los tramos medio y distal de dicho cono (Agüero & Molina Gómez) . En lo que respecta al nivel freático, a diferencia de lo que ocurre, por ejemplo, en la Región Pampeana del país, el nivel freático no está al alcance del poblador. La extrema aridez determina que la napa este a 180 y 240 m de profundidad (Romero Pereyra , 2020).

8.3.C.- CLIMA DE LA CIUDAD DE LA RIOJA

El clima de la ciudad se caracteriza por ser Cálido Seco. Los veranos son lluviosos y demasiados calurosos con máximas promedios (TmMa) de 35.3°C. Las Temperaturas mínimas medias (TmMi) de 25°C y máximas absolutas (TMA) rondan en torno a los 46 °C. Los inviernos son muy suaves y secos, con temperaturas de más de 10°C, con alta amplitud térmica diaria y escasa humedad, tal como se puede verificar en el registro de temperaturas de la *figura 41*. Las precipitaciones no superan los 400 mm anuales acumulados, concentradas en la época estival (*figura 41*) y su radiación solar es intensa durante todo el año.

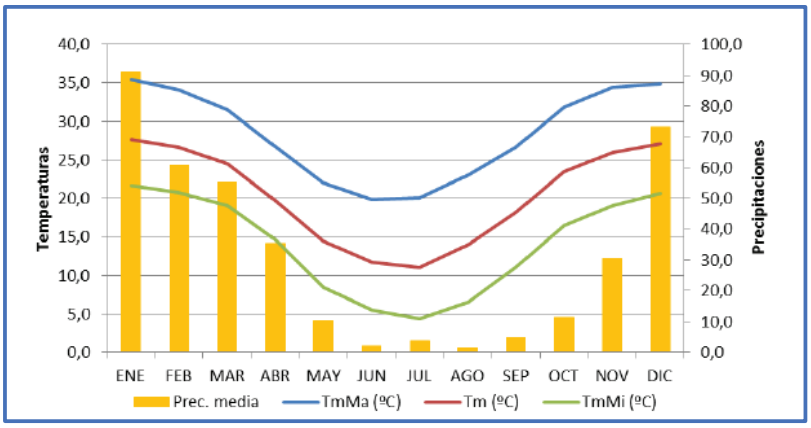


Figura 41 - *Temperaturas máximas y mínimas absolutas, (TMaA, TMiA); temperaturas máximas y mínimas medias (TmMa, TmMi) y temperatura media (Tm) de la Ciudad de La Rioja. Fuente: Alonzo, 2020, en base de datos del SMN 2001-2010.*

En lo que respecta a la intensidad y dirección del viento, a partir de lo que se observa en la *figura 42*, se verifica que los vientos dominantes de la ciudad Capital provienen del SO que se desplazan a una velocidad de 12 a 13 Km/h, durante todo el año. Los del oeste característico de la zona, son secos y cargados de polvo en suspensión, con aceleraciones medias de 10 a 12 km/h, alcanzando su mayor intensidad de mayo a agosto. Los cálidos

son del sector NE y Norte, lo hacen en forma anual, incrementando su frecuencia en el período de octubre a febrero (Alonzo, 2020).

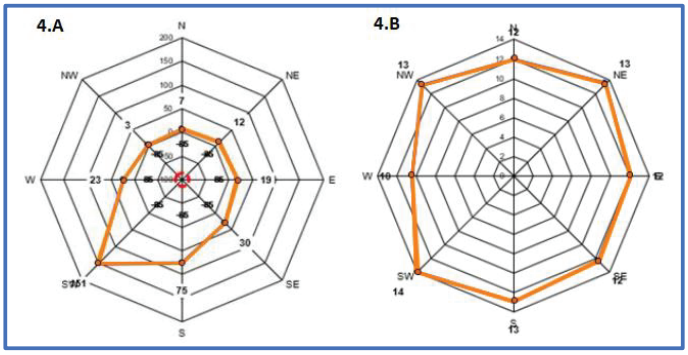


Figura 42 - *A.-Frecuencia de dirección de viento por orientación de la ciudad de La Rioja. B.- Intensidad de viento por orientación de la Ciudad de La Rioja. Fuente: Alonzo, 2020, en base de datos del SMN 2001-2010.*

8.3.D.- FLORA Y FAUNA DE LA REGIÓN

En la región de Monte de Sierras y Bolsones, la comunidad más característica, y que le otorga unidad fito-sociológica a la región, es el jarillal o la estepa de *Larrea* (jarilla). Se trata de matorrales de entre 1,5 y 3 m de altura, con arbustos de follaje permanente y ramas inermes, entre los que predominan *Larrea divaricata* y *L. cuneifolia*. Otra comunidad importante en el Monte son los "algarrobales" de *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis*. Los algarrobos pueden facilitar el establecimiento de otras especies como los cactus, las hierbas y los arbustos perennes, de modo que aumentan, así, la biodiversidad total del sistema y disminuyen los efectos erosivos del viento y el agua sobre los suelos del Monte. El Monte tiene varias especies de flora y fauna endémicas y otras caracterizadas como vulnerables, según los criterios de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Entre las plantas se pueden mencionar *Romorinoa girolae* y *Gomprhena colosacana* y la verdolaga (*Halophytum ameghinoi*) (Rossi & Villagra, 2003).

Cuando abordamos la región del Chaco Árido, la salinidad de los suelos condiciona la vegetación y, según las condiciones particulares, se encuentran distintos tipos de arbustales, muchas veces dominados por el jume (*Suaeda sp.* y *Allenrolfea sp.*), con presencia de elementos más típicos de la ecorregión del Monte, tales como las jarillas (*Larrea sp.*). En los suelos altos menos salinos aparece el bosque xerófilo característico de la región, incluso con el quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii)*.

En lo que respecta a la fauna, en la ecorregión de monte, los reptiles más representativos se encuentran la iguana colorada (*Tupinambis rufescens*), la falsa yarará (*Pseudotomodon*

trigonatus), la yarará ñata (*Bothrops ammodytoides*), la falsa coral (*Lystrophis semicinctus*), *Liolaemus darwinii*, *L. gracilis* y *Cnemidophorus longicaudus*.

Entre los anfibios se encuentra *Pleurodema nebulosa*. Las aves incluyen gauchos (*Agriornis sp.*), dormilonas (*Muscisaxicola sp.*), la martineta común (*Eudromia elegans*), la monterita canela (*Poospiza ornata*), el inambú pálido (*Nothura darwinii*) y el loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*). Por otra parte, en los pastizales salobres habita el burrito salinero (*Laterallus jamaicensis*). Los mamíferos están representados por especies de tamaño grande como el guanaco (*Lama guanicoe*) y el puma (*Felix concolor*); por especies de tamaño mediano como la vizcacha (*Lagostomus maximus*), el zorro colorado (*Pseudalopex culpaeus*) y el zorro gris (*P. griseus*); y por especies de tamaño pequeño como los cuises (*Microcavia australis*, *Galea musteloides*), los tuco-tucos (*Ctenomys mendocinus*), el zorrino chico (*Conepatus castaneus*) y el huroncito (*Lyncodon patagonicus*). (Brown et al., 2006)

El Chaco Seco contiene una gran diversidad faunística, aunque muchos de sus componentes han sufrido una fuerte reducción en sus poblaciones, provocada por la intervención antrópica. Los principales factores con los que el hombre ha amenazado y amenaza a la conservación de la fauna de la región son: la reducción y la fragmentación de hábitat, especialmente en las zonas aptas para la agricultura, y la caza, principalmente de algunos mamíferos mayores. Entre los mamíferos que habitan la región, se destaca sin dudas el yaguareté (*Panthera onca*), tatú carreta (*Priodontes maximus*), además, están presentes tres especies de pecaríes o chanchos salvajes: el labiado (*Tayassu pecari*), el de collar (*T. tajacu*) y el quimilero (*Catagonus wagneri*), de mayor tamaño y el único endémico de la región (Brown et al., 2006). Entre los mamíferos más afectados por la caza y las actividades antrópicas en la región encontramos al guanaco (*Lama guanicoe)*, a la raza norteña del venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus leucogaster*), y al oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*), especie amenazada y emblema de la conservación en el país.

Una gran diversidad de aves habita los bosques y los pastizales del Chaco Seco; entre las más características de la región están la martineta chaqueña (*Eudromia formosa*), la chuña de patas negras (*Chunga burmeisteri*), el carpintero negro (*Dryocopus schulzi*), el hornerito copetón (*Furnarius cristatus*), la viudita chaqueña (*Kinipolegus striaticeps*) y el soldadito común (*Lophospingus pusillus*). Entre los reptiles, se encuentran bien representados los grupos de los iguánidos y los lagartos. Entre los ofidios se destacan la lampalagua (*Constrictor constrictor*) y la yarará (*Bothrops sp*). Habitan la región numerosos anfibios que combaten de distintas maneras la escasez de agua; Son comunes las colonias de insectos sociales como las termitas y las hormigas (*Atta sp.*, *Acromyrmex sp.*), que en algunas zonas son consideradas como las principales consumidoras de vegetación, aunque también las hay granívoras y predadoras (Brown et al., 2006).

8.3.E.- MARCO SOCIOECONÓMICO.

La ciudad originalmente llamada como “Ciudad de Todos los Santos de la Nueva Rioja” es la ciudad capital de la provincia de La Rioja y se encuentra en el departamento Capital. Este departamento está ubicado en el centro-este de la provincia. De acuerdo con los datos del último censo 2022, cuenta con una población de 212.225 habitantes (52% mujeres/femeninos, 48% varones/masculinos), concentrando el 55,2% del total de población de la provincia homónima. El departamento capital, cuenta con 70.016 viviendas, de las cuales el 84% tienen acceso a la red cloacal, y el 96% tiene acceso a la red de agua corriente (INDEC, 2023).

El territorio de la ciudad Capital se desarrolla en aproximadamente 13.638 km^2. Esta, presenta una característica particular, que, a diferencia de otras ciudades cabecera de la Argentina, esta no conforma un área metropolitana. Respecto de su mancha urbana, la ciudad prácticamente duplicó su tamaño entre 1991-2010 y presenta un crecimiento de 1.410 ha. en la primera década del milenio. La ciudad cuenta con una estructura urbana radio céntrica a partir de su microcentro que es coincidente con su casco fundacional (Avila & Gómez Carrizo, 2021), que se complementa un macrocentro, que en conjunto suman un total de 78 manzanas. Está caracterizado, como la mayoría de las ciudades de más de 200 años, por calles no muy amplias, de veredas o aceras angostas (Aiub Apud, 2019). A nivel regional, los principales accesos a la ciudad son la ruta nacional N°38 que la comunican con Catamarca y Córdoba, y la ruta nacional N°75, que se convierte en avenida de Circunvalación y da paso desde la ruta 38 al Valle de Sanagasta hacia el oeste (Avila & Gómez Carrizo, 2021).

En la ciudad de La Rioja se concentra gran parte de la actividad industrial de la provincia, donde se destaca el polo textil y la producción de cartón y papel entre otros varios bienes. También hay producción agrícola por agua subterránea con grandes extensiones de cultivo de olivos y cítricos. En los últimos años sus campos han sido incorporados a la cría de ganado vacuno. En el cierre del 2022 el índice de pobreza de la ciudad se ubicó en el 44% y la indigencia afectó al 7,1 % (en la anterior medición golpeaba al 4,9% de la población). La ciudad Capital quedó por encima de la media nacional (39,2%) (economiariojana, 2023) .

8.4.- Metodología

8.4.A.- MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL

La metodología de la evaluación de impactos transita por distintas etapas, la primera, identificación de las fases del proyecto y las tareas y acciones a llevar adelante en cada locación. Con las fases y las acciones identificadas, se construyó, la **matriz de impacto**, que es del tipo causa-efecto. Se realiza por medio de un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes y en las filas los factores medioambientales susceptibles de recibir impacto. Así se seleccionan los que resultan más representativos de alteraciones sustanciales y que puedan ser traducidos en magnitudes mensurables (Dellavedova, 2011) .

Una vez identificadas las acciones y los factores del medio que provocarán impacto, se elabora la **matriz de importancia**, la que permite obtener una valoración cualitativa entre los factores ambientales considerados (Dellavedova, 2011). Cada impacto es calificado según su importancia a través de una polinómica y busca determinar, cuantitativamente, la importancia de los impactos ambientales, dependiendo, la misma, de la caracterización de cada impacto a través de 11 atributos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina., 2023) . La importancia se determina a través de la Fórmula:

$$I = \pm [3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

I: impacto	RV: reversibilidad	PR: persistencia
IN: intensidad	SI: sinergia	MC: recuperabilidad
MO: momento	AC: acumulación	
PE: persistencia	EF: efecto	

En la *tabla 70*, se puede observar la ponderación de cada atributo.

Tabla 70 – Atributos para la caracterización de impactos. Fte.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina.(2023)

NATURALEZA		
impacto beneficioso		+
impacto perjudicial		-
INTENSIDAD	**(IN)**	Grado de destrucción
baja o mínima		1
media		2
alta		4
muy alta		8
total		12
EXTENSIÓN	**(EX)**	Área de influencia
puntual		1
parcial		2
amplio o extenso		4
total		8
crítico		4
MOMENTO	**(MO)**	Plazo de manifestación
largo plazo		1
mediano plazo		2
cortoplazo		3
inmediato		4
crítico		4
PERSISTENCIA	**(PE)**	Permanencia del efecto
fugaz o efímero		1
momentáneo		1
temporal o trnasitorio		2
pertinaz o persitente		3
permanente o constante		4
REVERSIBILIDAD	**(RV)**	Recontrucción por medios naturales
corto plazo		1
mediano plazo		2
largo plazo		3
irreversible		4
SINERGIA	**(SI)**	Potenciación de la manifestación
sin sinergismo o simple		1
sinergismo meorado		2
muy sinérgitco		4
ACUMULACIÓN	**(AC)**	Incremento prgresivo
simple		1
acumulativo		4
EFECTO	**(EF)**	Relación causa-efecto
indirecto		1
directo		4
PERIODICIDAD	**(PR)**	Regularidad de la manifestación
irregular		1
perioódico o intermitente		2
continuo		4
RECUPERABILIDAD	**(MC)**	Recontrucción por medios humanos
recuperable de manera inmediata		1
recuperable a corto plazo		2
recuperable a mediano plazo		3
recuperable a largo plazo		4
mitigable, sustituible, compensable		4
irrecuperable		8

Todas las escalas de calificación parten de 1 (mejor situación) pero el extremo superior (peor situación) varía entre 4 y 12, razón por la cual existe una doble ponderación en la fórmula de la Importancia, la primera dada por el extremo superior de la escala numérica de cada atributo, y la segunda por la que se le da en la misma fórmula. Considerando la fórmula y los extremos numéricos para la valoración cuantitativa de cada atributo se puede concluir que la importancia del impacto toma valores entre 13 y 100, en consecuencia, se pueden asumir los intervalos indicados en la *tabla 71* para categorizar cualitativamente los impactos en relación a los resultados cuantitativos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina., 2023). Cabe aclarar que, se han cuantificado únicamente los impactos negativos, ya que los positivos no resultarían comparables con los valores de los primeros, por lo cual solo quedarán las casillas en verde. Los casilleros en blanco representan acciones que no producen impacto identificable (valor igual a cero)

***Tabla 71** - Importancia del impacto. Fte.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina.(2023)*

Tipo de impacto	Valor de la intensidad I
Positivo	> 0
No identificable	0
Leve	0 > I > -25
Moderado	-25 > I > -50
Severo	-50 > I > -75
Crítico	> -75

FASES Y TAREAS EN EL PREDIO DEL CCC Y RS

Fase de construcción

- Desmonte y movimiento de suelo
- Movimiento de camiones y maquinaria pesada
- Instalación de obrador
- Obra civil
- Excavación para construcción de laguna
- Montaje de cañerías
- Consumo de materiales y servicios
- Forestación y Parquización.
- Contratación de mano de obra

Fase de operación

- Circulación de camiones
- Disposición de residuos
- Trabajo de maquinaria pesada
- Excavación para construcción de trincheras
- Tratamiento del efluente
- Vuelco de efluente tratado
- Contratación de mano de obra

Fase de cierre

- Desmonte de obra civil en instalaciones
- Trabajo de maquinaria pesada
- Forestación

FASES Y TAREAS EN EL CCAMR

Fase de construcción

- Desmonte y movimiento de suelo
- Movimiento de camiones y maquinaria pesada
- Instalación de obrador
- Obra civil
- Montaje de maquinarias y cañerías
- Consumo de materiales y servicios
- Forestación y Parquización
- Contratación de mano de obra

Fase de operación

- Circulación de camiones
- Tratamiento de residuos
- Trabajo de maquinaria industrial
- Contratación de mano de obra

En lo que respecta a la fase del cierre y abandono del sitio, la operación de la planta está vinculada a la recuperación de materiales reciclables, lo que hace que no tenga un periodo de vida útil específico. Si por alguna circunstancia se procediera al cierre del CCAMR, en el caso que no se encuentre ninguna reasignación de las instalaciones, se procederá con su desmantelamiento y disposición final de sus materiales según las

normas ambientales existentes en ese momento al igual que la etapa de cierre del RS y reasignando el uso del suelo para otro proyecto.

COMPONENTES DEL MEDIO

Los componentes del medio expuestos a los impactos producidos por el proyecto son los listados a continuación:

Medio Físico

Aire

- Calidad: Representa la percepción a través de los sentidos de material particulado y gases de combustión. Incluye la afectación de los Gases Efecto Invernadero sobre la capa de ozono

Suelo

- Topografía: Representa la afectación sobre las geoformas.
- Edafología: Representa la alteración química o física del horizonte superficial del suelo.
- Erosión: Representa la degradación y el transporte de suelo o roca que producen distintos agentes (viento, agua, temperatura, actividad humana, etc.
- Restricción del uso de suelo: Representa la limitación en el uso del suelo como consecuencia de la actividad del Proyecto.

Agua

- Calidad superficial: Representa la afectación de los recursos hídricos superficiales temporales (escorrentías).
- Calidad subterránea: Representa la afectación sobre el nivel freático.

Medio Biológico

Flora

- Alteración de hábitat: Representa la afectación sobre la calidad del hábitat natural, entendida como la capacidad del ambiente para proveer las condiciones apropiadas para la persistencia de un individuo y/o de la población. Incluye el análisis sobre la potencial introducción (intencional o accidental) de especies exóticas invasivas. Considera la existencia de relictos del estrato

Fauna

- Alteración de hábitat: Representa la afectación sobre la calidad del hábitat natural, entendida como la capacidad del ambiente para proveer las condiciones apropiadas para la persistencia de un individuo y/o de la población. Incluye el análisis sobre la potencial introducción (intencional o accidental) de especies exóticas invasivas. Considera la existencia de relictos del estrato.

Medio Socioeconómico

- Nivel de empleo: Representa la afectación sobre la ocupación de la población local o de la región por el desarrollo de fuentes de trabajo.
- Actividades económicas: Representa la afectación sobre la economía regional con la modificación del flujo monetario.
- Calidad de vida: Representa la afectación sobre la salud y la calidad de vida de la población cercana relacionada con molestias auditivas y estrés psicofísico que el mismo produce.
- Servicios e infraestructura: Representa la afectación de la infraestructura eléctrica a nivel local y regional. Comprende la variación en la capacidad instalada regional y la consecuente modificación en la matriz energética.
- Paisaje: Evalúa la afectación, intervención o explotación de territorios con valor o riqueza paisajística, considerando afectación en forma permanente o temporal de recursos paisajísticos que sirven de base a la población, a la actividad turística, o ambas.

8.5.- IDENTIFICACIÓN IMPACTOS

Calidad de aire

En el RS, las emisiones difusas de material particulado se encontrarán relacionadas, en la etapa de construcción, al movimiento de suelos por las tareas de obra, al movimiento de los vehículos de obra y a las tareas de desbroce/despeje del terreno y excavaciones, lo cual se da en las tres etapas. Se replica el impacto en la Operación del RS, por la circulación de camiones y el trabajo de la maquinaria. Por otro lado, estas las tareas mencionadas anteriormente se dan en el CCAMR, principalmente en la etapa en construcción y, en la etapa de operación, en menor medida por la circulación de camiones que ingresan y egresan el material.

Agua superficial.

El área de emplazamiento del RS, se caracteriza por ser una región de relieve ondulado sin presencia de cursos y/o acumulaciones de agua permanente. Una incorrecta planificación en el movimiento de suelo y excavación de trincheras podría resultar en modificaciones dentro de la red de drenaje natural desarrollando procesos de erosión hídrica. Dentro de la operación se destaca el vuelco del efluente tratado que se dará por absorción, lo cual implanta un cuerpo de agua superficial no existente en la zona.

En lo que respecta al CCAMR, se detectó un potencial impacto en la red de drenaje solamente en la etapa constructiva producto del movimiento de suelo.

Agua subterránea.

La inadecuada impermeabilización del relleno sanitario en su fondo y/o taludes, así como una inadecuada gestión de los lixiviados que permitan que los mismos alcancen el suelo natural podrán alcanzar por percolación la napa subterránea provocando su contaminación. Además, el sistema de vuelco del lixiviado, puede significar un potencial impacto en el balance hídrico del agua subterránea de la zona.

En el CCAMR, solo se detectó un potencial impacto en lo que es el suministro de agua, que, al no contar en la zona con suministro de agua por red y cloacas, se abastecerán las tareas sanitarias y aseo a partir de agua subterránea y disposición de efluentes cloacales por pozo séptico.

Topografía.

El área presenta un relieve ondulado con una pendiente leve. Existe una potencial afectación relacionada con el incorrecto manejo del material durante la construcción, a su vez la forma de los módulos del RS, modificarán la topografía del lugar puntualmente en el predio. Por otro lado, en el CCAMR, solo se detectan potenciales impactos en las tareas de construcción.

Edafología.

La calidad y compactación de los suelos se verán afectados durante la etapa de construcción debido al cambio en la nivelación, compactación y construcción sobre los mismos para la construcción de la planta y la instalación de los servicios asociados. Además, la excavación, impermeabilización y formación de taludes de la laguna de ecualización y vuelco, supondrá un impacto negativo elevado por la remoción de la cubierta vegetal, su desconexión de la infiltración natural y su compactación.

En el CCAMR, el impacto estará dado, por la modificación en las condiciones de nivelación, compactación y remoción de la capa vegetal, en la etapa de construcción para el montaje de la obra civil.

Erosión

A partir el movimiento de suelo y el desbroce/despeje, acciones de erosión por acción eólica y pluvial, principalmente por topografía irregular de la zona del proyecto.

Flora

La flora del lugar de implantación de las instalaciones que componen al proyecto en su conjunto, asociados al movimiento de suelos y la ocupación de los mismos, producirá un efecto en la vegetación de los lugares de implantación, así como también, en la flora de alrededor susceptible a los cambios de calidad de aire, ruidos y movimiento de suelos.

Fauna

La circulación de equipos y maquinarias podrán afectar la integridad de las especies que, en los espacios de trabajo, además de perder su hábitat, un mal manejo del flujo y gestión de los residuos podrá ser foco de atracción de fauna modificando su dieta. Ambas afectaciones serán negativas, temporales y el entorno directo de las instalaciones.

Empleo

En todas las etapas del proyecto, se registra un trabajo que implica la creación de puestos formales de trabajo. Además, que dentro del plan GIRSU, en su conjunto se dará la formalización de actividades y grupos de trabajo, por lo que el proyecto genera impactos positivos sobre la fuente de empleo.

Actividad Económica

Alrededor de las actividades a desarrollar en las distintas instancias del plan GIRSU y sus instalaciones, se generará, por un lado, una demanda de productos y servicios zonales que generarán un movimiento positivo en la actividad económica, además de las ventajas que genera el impacto positivo en el consumo la formalización de trabajadores y la creación de nuevos puestos de trabajo.

Infraestructura y servicios

La circulación de camiones de manera regular y el despliegue regional que tiene el proyecto, va a tener efectos sobre la red vial de la ciudad y sus alrededores. Existe, además, un impacto negativo sobre los servicios en la zona del CCAMR, debido a que se va a dar un consumo de los mismos mayor al previo a la instalación de la planta, afectando a la población aledaña. Estos se dan desde la etapa de construcción ya que a partir de la instalación del obrador se dan estos incrementos. Esta misma situación produce un

impacto contrario en la zona del RS, ya que no hay población cercana y, además, se promueve la instalación de consumo de servicios en la zona.

Paisaje

Con las posibles afectaciones al suelo, vegetación y especies de animales asociadas a las especies arbóreas que se verán afectadas, indiscutiblemente el valor escénico del sitio experimentará una disminución significativa, cambiando el potencial paisajístico del sitio.

8.6.- MATRIZ DE IMPACTO

RELLENO SANITARIO Y CENTRO DE CHIPEO Y COMPOSTAJE

FASE	ACTIVIDAD	MEDIO FÍSICO						MEDIO BIOLÓGICO		MEDIO SOCIOECONÓMICO				
		AIRE	SUELO			AGUA		FLORA	FAUNA					
		Calidad	Topografía	Edafología	Erosión	Superficial	Subterranea	Alteración del hábitat	Alteración del hábitat	EMPLEO	CALIDAD DE VIDA	ACTIVIDAD ECONÓMICA	INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS	PAISAJE
CONSTRUCCIÓN	Desmonte y movimiento de suelo	-26	-34	-22	-22	-18	-18	-26	-26					-34
	Movimiento de camiones y maquinaria pesada	-26	-16	-16	-16			-29	-29		-32		-26	-20
	Instalación de obrador			-23	-23			-22	-18					-23
	Obra civil	-25	-31	-31	-31	-23	-27	-24	-24					-31
	Excavación para construcción de laguna	-23	-32	-38	-32	-33	-27	-25	-24					-39
	Montaje de maquinarias y cañerías	-20	-20	-23	-20									
	Consumo de materiales y servicios													
	Forestación y Parquización.													
	Contratación de mano de obra													
OPERACIÓN	Circulación de camiones	-28						-24	-27		-38		-28	-20
	Disposición de residuos	-28						-16	-21					-32
	Trabajo de maquinaria pesada	-26	-16	-16	-16			-29	-29					
	Excavación para construcción de trincheras	-23	-32	-38	-32	-33	-27	-25	-24					-39
	Tratamiento del efluente													
	Vuelco de efluente tratado					-22	-23							-20
	Contratación de mano de obra													
CIERRE	Desmonte de obra civil en instalaciones	-25	-31	-31	-31	-23	-27	-24	-24					
	Trabajo de maquinaria pesada y circulación de ca	-26	-16	-16	-16	-15	-15	-29	-29					-20
	Forestación													

CENTRO DE CLASIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE MATERIALES RECICLABLES

FASE	ACTIVIDAD	MEDIO FÍSICO						MEDIO BIOLÓGICO		MEDIO SOCIOECONÓMICO				
		AIRE	SUELO			AGUA		FLORA	FAUNA					
		Calidad	Topografía	Edafología	Erosión	Superficial	Subterranea	Alteración del hábitat	Alteración del hábitat	EMPLEO	CALIDAD DE VIDA	ACTIVIDAD ECONÓMICA	INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS	PAISAJE
CONSTRUCCIÓN	Desmonte y movimiento de suelo	-26	-34	-22	-22	-18	-18	-26	-26					-34
	Movimiento de camiones y maquinaria pesada	-26	-16	-16	-16			-29	-29				-26	-20
	Instalación de obrador			-23	-23			-22	-18				-24	-23
	Obra civil	-25	-31	-31	-31			-24	-24				-24	-31
	Consumo de materiales y servicios													
	Forestación y Parquización.													
	Contratación de mano de obra													
OPERACIÓN	Circulación de camiones	-26							-29		-38		-26	-23
	Tratamiento de residuos	-21												-26
	Trabajo de maquinaria industrial	-24						-17	-27					-23
	Uso de servicios y sanitarios						-21						-24	
	Contratación de mano de obra													
	Consumo de productos y servicios													

8.7.- PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

8.7.A.- MITIGACIÓN

Las medidas de mitigación tienen como objetivo minimizar, disminuir y/o compensar los impactos negativos de las distintas instancias del proyecto. Se incluirán entre estas medidas las referentes a todas las instancias y áreas que involucran al plan GIRSU de la ciudad de La Rioja.

Calidad de aire.
Para todas las tareas relacionadas al movimiento de suelo, siempre que sea posible, se procederá a humedecer el terreno, así como los caminos internos que no sean pavimentados. En lo relacionada a la carga y descarga de tierra, se reducirán lo máximo posible la altura de vuelco de la pala.

En el caso de las emisiones, que corresponden a los vehículos, en el caso de los relacionados a las unidades que estén directamente relacionados con las operaciones de recolección, transporte y transferencia de residuos, se utilizarán combustible diésel de menor impacto y se realizarán capacitaciones a los choferes en manejo de bajo impacto. Además, será un requisito de operación e ingreso a los distintos predios, que las unidades se encuentren en condiciones de mecánicas óptimas y cumplan con la verificación técnica que corresponda según la legislación vigente.

Topografía, Erosión y Edafología.
Este tipo de afectación negativa será leve, puntual, para el caso del predio del RS. Al finalizar la etapa de operación, se realizará la restauración de los terrenos utilizados. Mientras que, en la construcción, los caminos internos, se realizarán procurando minimizar la modificación de la topografía.

El material producto del movimiento de suelos y construcción de las trincheras, en el RS, será utilizado como material de relleno y cobertura. En el caso que queden sobrantes, se dará una adecuada disposición de forma tal de no modificar la topografía de la zona.

Agua Superficial y Subterránea.
En todas las etapas, se velará por un uso racional del agua a partir de la planificación y la capacitación para el uso de este recurso. Además, como se detallará en el plan de monitoreo, se realizarán los controles correspondientes, al tratamiento y vuelco de efluentes y su impacto sobre las aguas subterráneas.

Respecto a los efluentes cloacales, para la etapa de Construcción se utilizarán baños químicos que serán provistos por una empresa tercerizada, especializada en este servicio, que retirará periódicamente los mismos para su tratamiento y desecho debidamente

autorizado, mientras que durante la fase de Operación los efluentes cloacales se incorporarán como corriente de tratamiento a la planta.

Flora

En lo que refiere a las tareas de remoción, serán estrictamente analizadas y planificadas, para que no se extraigan árboles o arbustos que no sean necesario de extraer. Por otro lado, la forestación de reposición y cobertura forestal se realizará en su totalidad con especies nativas y en la proporción correspondiente para no causar efectos secundarios sobre el ecosistema local.

Fauna

La primera medida para atenuar el impacto sobre la fauna es desde la planificación de obra, en donde se pondrá foco especialmente en la intervención de espacios que sea netamente necesario y en un periódico control del ruido. Por otro lado, también se realizará el correspondiente control de vectores.

Además, se realizará un diseño logístico, en horarios y recorridos, para minimizar el impacto de los vehículos sobre la fauna, al igual que el control de velocidades para minimizar el riesgo de accidentes con la fauna silvestre en las conexiones de ruta.

Paisaje

Se efectuará un plan de forestación en el predio que actúe como “Cortina Forestal” a modo de armonizar el impacto visual de todas las instalaciones referentes al proyecto.

Residuos

Para todos los residuos que se generen en las locaciones referenciadas al proyecto se realizará la caracterización correspondiente, su clasificación, separación y su disposición final según corresponda a las características del mismo.

Por otro lado, se realizarán capacitaciones referentes a la temática poniendo principal foco sobre la disminución en la generación de residuos.

Seguridad e Higiene

Habrá un Técnico de Seguridad e Higiene para cada locación del proyecto, es decir uno para el predio del RS (que incluye el CCC) y otro para el CCAMR. Los técnicos de seguridad e higiene, planificarán y llevarán adelante las capacitaciones teórico y prácticas del personal, para prevenir accidentes en todas las etapas del proyecto.

Además, se diseñará el Plan de S&H acorde a cada locación y se hará extensivo a todo el personal y los subcontratistas que realicen operaciones o que tengan que ingresar a los predios. Este plan incluirá el uso de Elementos de Protección Personal (EPP), la

colocación, mantenimiento y el control de señalética y equipos extintores. En el mismo sentido, contará con un plan de evacuación correctamente planificado y señalizado, en donde también se llevarán adelante simulacros con una periodicidad según normativa.

8.7.B.- PLAN DE MONITOREO

Con el objetivo de verificar los eventuales cambios en los parámetros ambientales y socioeconómicos estudiados, detectar si los cambios en los componentes ambientales se deben a la ejecución del proyecto y evaluar la efectividad de las medidas de mitigación, se realizará el monitoreo de las variables citadas en la *tabla 72* según la frecuencia señalada.

Tabla 72 - Plan de monitoreo ambiental.

Medio	Parámetro	Frecuencia	Punto de monitoreo
Aire	MP, NOx, CO, SO_2	Anual	1 punto dentro del predio del RS 4 puntos radiales al predio del RS 1 punto dentro del predio del CCAMR. 4 puntos radiales al predio del CCAMR
Suelo	PH, conductividad, cianuros, boro, hierro, cobre, manganeso, níquel, cobalto, arsénico, metales pesados, Hidrocarburos de Petróleo (HCP), Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PAHs), BTEX	RS - Semestral CCAMR - Anual	1 punto dentro del predio del RS 4 puntos radiales al predio del RS 1 punto dentro del predio del CCAMR
Agua Subterránea	pH, CE, DQO, turbiedad, color, dureza, alcalinidad, sodio; potasio; cloruros; sulfatos; nitratos; nitritos; fosfato; cianuros totales; nitrógeno total, amonio; metales pesados	Semestral	Freatímetros del predio del RS y del CCAMR Canillas de sanitarios del RS y del CCAMR
Efluentes	Parámetros según ley N°4741, Decreto Reglamentario N°773/93 para el vuelco en terreno absorbente.	Semanal	- Al ingreso de la laguna de ecualización. - En la laguna de vuelco
Calidad de Vida	Nivel de ruido	Mensual	- Puntos a designar en el CCAMR y en el RS. - Domicilio residencial más próximo al CCAMR.
Social	-Cantidad de casos de enfermedades ocasionadas por estos vectores asociados a los residuos*. - Cantidad de personas que ingresan a un centro asistencial con síntomas gástricos y/o respiratorios*.	Trimestral	Centros de salud de las zonas de influencia a las instalaciones del proyecto, hospitales y clínicas de la ciudad de La Rioja.

8.7.C.- PLAN DE CONTINGENCIA

El Plan de Contingencia (PC), tiene el objetivo de minimizar las consecuencias negativas de un evento no deseado, conservar al ambiente, dar una rápida respuesta, proteger al personal, terceros y bienes materiales, económicos y socioculturales relacionados al proyecto.

Derrames y Filtraciones

En el caso de producirse un derrame de lixiviados o cualquier sustancia peligrosa, se deberá bloquear el origen de la pérdida o derrame, derivado a algún sitio estanco, el efluente derramado, donde pueda contenerse sin afectar el medio circundante.

En caso de que el fluido haya llegado al suelo, se recoge en forma inmediata una capa de 10 cm del suelo por debajo del mismo, de manera de evitar la migración del contaminante a mayor profundidad. Estos suelos deberán ser tratados y dispuestos según corresponda en el Procedimiento de "Gestión de Residuos" y luego se repondrá el suelo extraído en igual cantidad a la existente antes del derrame.

Incendio

Si se desarrolla un incendio en horario de operaciones, se deberá se proceder de la siguiente manera:

- Una vez detectado el foco de incendio, inmediatamente dar aviso al encargado del sector y solicitar la presencia en el lugar del equipo de lucha contra incendios.
- Despejar la zona afectada.
- Prohibir la circulación de vehículos que no sean los utilizados para la emergencia.
- Facilitar la libre circulación de los vehículos de emergencia
- Proceder a la extinción del foco con aporte de agua, pudiendo también completar con el uso de matafuegos. En el caso del RS, se utilizará también como equipo mecánico de extinción las topadoras que trabajan en el frente de descarga.
- Una vez sofocado el fuego, se procederá a tapar el sector afectado, con el objeto de quitar el oxígeno y prevenir la re-ignición del fuego, para la actividad de tapado del foco de incendio.
- Nunca abandonar el lugar sin estar seguro de haber extinguido completamente el foco de incendio.

Cuando por su magnitud un fuego iniciado, no pueda extinguirse, se deberá evacuar inmediatamente el lugar dando aviso a los bomberos.

Para incendios que se desarrollen el RS en horario de no operación, se establecerá un listado de guardias con el personal correspondiente, el cual será avisado por el personal

de vigilancia al momento de detectar un incendio, y se procederá de la misma manera a la planteada anteriormente.

Vuelco o Choque Vehicular

En caso de accidente vehicular se procederá de la siguiente manera:

- Identificar el lugar exacto donde ocurre el accidente.
- Identificar el tipo de vehículo que ha sufrido el accidente (Auto - Camioneta – Camión – Maquinaria vial)
- Identificar el tipo de accidente de Tránsito: (Choque. - Colisión. - Volcamiento. – Aplastamiento)
- Identificar la Cantidad de vehículos involucrados.
- Verificar posible presencia de derrame de alguna sustancia y/o llamas en el vehículo.
- Buscar e identificar la cantidad aproximada de lesionados y la cantidad de personas que viajaban en el móvil y su ubicación
- Con estos antecedentes de aviso de inmediato al sistema de emergencias y asistencia y al responsable de S&H
- Si uno o más vehículos está en llamas y si hay víctimas con riesgos de quemaduras, utilice un extintor de Polvo Químico Seco (PQS)

Capacitaciones

Se considerarán que el presente Programa de Contingencias merece una capacitación anual a todo el personal la cual deberá ser realizada con contenidos teóricos y prácticos, sobre los potenciales eventos descriptos, que incluyan simulacros de evacuación.

Bibliografía

Agüero, C., & Molina Gómez, M. (s.f.). *ESTUDIO DE ÁREAS CON RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE LA RIOJA, UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.*

Aiub Apud, D. I. (2019). *Evaluación de la diversidad clásica y funcional del arbolado urbano de la ciudad de La Rioja, Argentina.*

Alonzo, M. (2020). *Tecnologías sustentables de eficiencia termoenergética: viviendas barriales de la ciudad de La Rioja: caso de estudio Ciudad Nueva.* Córdoba.

Araiza Aguilar, J. A., & Zambrano, M. E. (2015). Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos. *Ingeniería Revista Académica, 19*(2), 118 - 128.

Ávila Ruiz, W. A., & Moyano Hernandez, J. P. (2019). *Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 ton/día.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Avila, M., & Gómez Carrizo, H. (2021). *Análisis de la política habitacional desde el Derecho a la Ciudad: Estudio de caso: ciudad capital de La Rioja, Argentina.* Proyección: estudios geográficos y de ordenamiento territorial. Vol. XV, (30). ISSN 1852 -0006, (pp. 80 – 103).

Banco Mundial. (2015). *Diagnóstico de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Argentina. Recopilación, generación y análisis de datos 'Recolección, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos'.* Buenos Aires.

Bartolomé, D., & Brúculo, R. (2021). *PRIMER INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL MUNICIPIO CAPITAL, PROVINCIA DE LA RIOJA.* La Rioja: ENCUENTRO DE COMUNICACIÓN, INVESTIGACIÓN, DOCENCIA Y EXTENSIÓN - 1° FORO DE INGENIERÍA AMBIENTAL.

Bocanegra , E., Martinez , D., & Massone , H. (2002). *EVALUACIÓN HIDROGELÓGICA DE LA CUENCA SUBTERRANEA DE LA RIOJA CAPITAL, PROVINCIA DE LA RIOJA, ARGENTINA.* Instituto Nacional del Agua, Centro Regional de Aguas Subterraneas.

Brown, A., Martinez Ortiz, U., Acerbi, M., & Corcuera, J. (2006). *Situación Ambiental Argentina 2005.* Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre .

Burquin, Y. (2018). *Estudio de Impacto Ambiental: Construcción de Relleno Sanitario para la disposición final de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Berisso.*

Cabrera Córdova, V. (2016). *PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE LOS RESIDUOS VEGETALES PROVENIENTES DEL MANTENIMIENTO DE LAS ÁREAS VERDES PÚBLICAS DEL DISTRITO DE MIRAFLORES.* Lima, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

Caravajal Romero, H., Teijeiro Alvarez, M., & García Alvares, M. (2022). nálisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa. *Revista Universidad y Sociedad*, 402-415.

CEAMSE. (2018). *LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL N°05/18 PARA CONTRATAR LA CONSTRUCCIÓN DEL SECTOR C DEMÓDULO 1 Y OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL COMPLEJO AMBIENTAL MAR DEL PLATA - MEMORIA TÉCNICA.* Buenos Aires.

CEMPRE. (2018). *Relevamiento y difusión de indicadores obre la gestión del material reciclable en Argentina.*

COMBEPOWER S.A. (2020). *ELECTROBOMBAS, CATÁLOGO 2020* .

Cortés Martinez, F., Treviño Cansino, A., & Tomasini Ortiz, A. C. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización.* México DF: IMTA.

Cortez Heredia , E. (2020). *ANALISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS ETAPAS DE LA PRODUCCION DE COMPOST UTILIZANDO RESIDUOS DE PODA DE JARDINERÍA DEL CENTRO POBLADO CALLANCA.* Chiclayo, Perú: UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE, FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL.

De Grande , P., & Rodriguez, G. (2022). *Cartografía de radios del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.* https://mapa.poblaciones.org/

De La Vega, J. (2019). *NUEVO HOSPITAL DE CHILECITO - Estudio de impacto ambiental.* La Rioja.

Dellavedova, M. G. (2011). *GUIA METODOLOGICA PARA LA ELABORACION DE UNA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL.* La Plata.

economiariojana. (30 de 03 de 2023). https://www.economiariojana.com.ar/nota/segun-el-indec-la-pobreza-afecta-al-44-de-la-poblacion-de-la-ciudad-de-la-rioja

El Diario de La Rioja. (10 de Noviembre de 2021). La Provincia denuncióal Municipio de Capitalpor la quema de basuraen lugares noautorizados. *El Diario de la Rioja*. Retrieved 2023 de Julio de 9, from http://www.eldiariodelarioja.com.ar/22970-la-provincia-denunci-al-municipio-de-capital-por-la-quema-de-basura-en-lugares-no-autorizados

El Independiente. (27 de Noviembre de 2018). El 11 por ciento de los hogares de La Rioja está cerca de un basural. *El Independiente*. Retrieved 13 de Agosto de 2022, from https://www.elindependiente.com.ar/pagina.php?id=194412

FAO. (2013). *Manual del compostaje para el agricultor.* FAO.

Fenn, D., Hanley, K., & De Gearce, T. (1975). *Use of the Water Balance Method for Predicting Leachate Generation from Solid Waste Disposal Sites.* Cincinati, Ohio.

Global Methane Initiative. (2011). *Metano de Vertederos: Reducción de las Emisiones, Avance de las Oportunidades de Recuperación y Utilización.*

Gutierrez, R. (2014). *Gestión de residuos sólidos urbanos en la Región Metropolitana de Buenos Aires: modelos y prácticas.* Buenos Aires: EPYG - UNSAM.

Hernandez Perez , L. (2013). *Gestión de los restos de poda de las zonas ajardinadas municipales de la localidad de Altea.* Gandia: Universidad Politécnica de Valencia.

Holote, C. C., Tavella, M., Labert, J.-M., & Cova, W. (s.f.). *Desarrollo y Aplicación de Indicadores de Sustentabilidad en el Tratamiento Pirolítico de Residuos Sólidos Urbanos.*

Honorable Consejo Deliberantes de la Ciudad de La Rioja. (1 de Marzo de 2022). https://concejodeliberantelarioja.gob.ar/digesto/archivos/sesiones/acta/2022-03-01/acta%20993%20full.pdf

Humani Heredia, A. (2019). *EVALUACION DE LA CALIDAD DE COMPOST A BASE DE RESIDUOS ORGANICOS PROVENIENTES DE LA PODA DE ÁREAS VERDES Y MERCADOS DEL DISTRITO DE SAN BORJA.* Villa El Salvador: UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

INDEC. (2015). *Estimaciones de población por sexo, departamento y año calendario 2010-2025.* Buenos Aires.

INDEC. (2023). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Resultados definitivos.*

Innova La Rioja. (2019). *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Argentina.* La Rioja.

Jaramillo, J. (2002). *GUÍA PARA EL DISEÑO, GUÍA PARA EL DISEÑO, RELLENOS SANITARIOS MANUALES.*

Jhorar, B., Phogat, V., & Malik, E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Land Research and Management*, 297-306.

Kaza, S., Yao , L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. .* World Bank Publications.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050.* Washington: World Bank Publications.

Lozupone, M. (2019). *LA GESTIÓN DE LOS RSU EN LOS MUNICIPIOS ARGENTINOS.*

Lucero Pastás, J. E., & Viñamagua Carrión, J. B. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN CAYAMBE.* Quito - Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR - FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL.

Mamani, M., & Brito, R. (2014). *Crecimiento urbano de la ciudad capital de La Rioja, Argentina, 1970-2011. Análisis de riesgos.* Revista Geográfica.

Marquez, J. (2010). *Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales.* Colombia: Universidad de Sucre.

Martinez Arce, E., Tello Espinoza, P., Daza, D., Soulier Faure, M., & Terraza , H. (2010). *Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010.* IBD Monograph, Organización Panamericana de la Salud, Banco Interamericano de Desarrollo & Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

McCarty, P., & Brodersen, C. (1962). Theory of extended aeration activated sludge. *Water Pollution Control Federation, 34*(11), 1095-1103.

Meegoda, J. N., Hettiarachchi, H., & Hettiaratchi, J. P. (2016). Landfill Design and Operation. En *Sustainable Solid Waste Management* (págs. 557-604).

Metclaf, L., Eddy, H., Tchobanoglous, & G. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Guía para la Implementación de la Gestión Integral e Inclusiva de Residuos.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina. (2023). *Guía para la elavoración de Estudios de Impacto Ambiental.*

Morello, J. (1958). *La provincia fitogeográfica del Monte.* Opera Lilloana 2.

Moreno Reyes, N., Agudelo Manrique, D., & Vega Clavijo, L. (s.f.). *SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DEL "ÁREA DE TRANSFORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS VEGETALES Y ENERGÍAS RENOVABLES" DEL JARDÍN BOTÁNICO JOSÉ CELESTINO MUTIS.*

Municipalidad de La Rioja. (2017). *Proyecto: Recuperación de paisajes hídricos. Saneamiento Río Tajamar. Sector este.* La Rioja.

Murphy, G. (2008). *Atlas Agroclimpatico de la República Argentina.* Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires.

Nueva Rioja. (15 de 09 de 2020). La Rioja duplicó la producción de residuos patógenos. La Rioja, La Rioja, Argentina.

Pinto Pozo, P. V. (2021). *USO DE ESTANQUES DE EVAPORACIÓN PARA TRATAR EL RECHAZO PROVENIENTE DE UNA PLANTA DESALINIZADORA (ANÁLISIS ENERGÉTICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO).* Santiago de Chile: Facultad de ciencias físicas y matemáticas- Universidad de Chile.

Pitchel, J. (2005). *Waste Managment Practices: municipal, hazardous, and industrial.*

PNUD. (2002). *MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOSEN LA AGRICULTURA URBANA.* La Habana, Cuba: INIFAT.

Resumen de Actualidad. (12 de 5 de 2019). La Rioja realizará la segunda etapa de generación eléctrica con poda y residuos de la olivicultura. La Rioja. https://resumendeactualidad.com.ar/nota/2223/la-rioja-realizara-la-segunda-etapa-de-generacion-electrica-con-poda-y-residuos-de-la-olivicultura

Romero Batallán, C. (2010). *APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE LIXIVIADOS.*

Romero Pereyra , M. A. (2020). *PROPUESTA DE REESTRUCTURACIÓN TARIFARIA PARA EL COBRO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE. CASO DE ESTUDIO DE LA CIUDAD DE LA RIOJA (ARGENTINA).*

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.*

Rosa, H., & Mamani, M. (2000). *Capitulo 15. Geomorfología de la Rioja. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la Región Andina Argentina.* Retrieved 10 de 08 de 2022, from https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap17.htm#inhalt

Rossi, B., & Villagra, P. (2003). Effects of Prosopis flexuosa on soil properties and the spatial pattern of understorey species in arid Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 543-550.

Röven, E. (2002). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales.* Loja, Ecuador.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación. (2017). *Informe del estado del ambiente.*

Silva Burga, J. A. (2004). *EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA.* Piura: FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE PIURA.

Subsecretaría de Minería. (2017). *Provincia de La Rioja - Plan Exploratorio de hidrocarburos.*

Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Eliassen, R. (1982). *DESECHOS SÓLIDOS - PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN.* Merida, Venezuela.

TECSAN IASA. (2018). *Proyecto Ejecutivo: Diseño Construcción y Operación del Centro de Disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Sistemas Asociados del Municipio de General Pueyrredon.* Mar del Plata.

Vesilind, P., Worrell, W., & Reinhart, D. (2002). *Solid Waste Engineering.*

Von Buchwald de Janon, F., & Martínez Neira, P. F. (2018). *Producción de lixiviados, comparación del método de tchobanoglous con experimentos en lisímetros* (Vol. 21). Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM.

Zucconi, F., & Bertoldi , M. (1987). *Specifications for solid waste compost. Biocycle,.*

ANEXO I – MEMORIAS DE CÁLCULO

MEMORIA DE CÁLCULO DEL CAPÍTULO 2.

POBLACIÓN Y PROYECCIÓN

- Para la proyección de la población de la ciudad de La Rioja se utilizaron los datos del INDEC de los CENSOS 2001, 2010 Y 2022 tanto de la ciudad como de la provincia (ver tabla 73).

Tabla 73 - *Datos de población de la Provincia de La Rioja y de la ciudad Capital de los últimos tres censos nacionales. Fte: INDEC*

	AÑO	2001	2010	2022
POBLACIÓN (hab.)	Provincia de La Rioja	*289.983*	*333.642*	*384.607*
	La Rioja Ciudad	*146.411*	*185.579*	*212.225*

- Para la proyección de población de la provincia, se utilizó el método de tasa decreciente para los años 2023, 2025, 2030, 2042, y 2052. A partir de ello, se utilizó el método descripto en INDEC (2015), de incrementos relativos, para estimar la tasa de crecimiento demográfico de la ciudad de La Rioja, que se fundamenta en la participación del crecimiento absoluto un área mayor (la provincia), que le ha correspondido a cada área menor (la ciudad). A continuación, se desarrollan las expresiones utilizadas y en la *tabla 74*, se resumen los resultados de todas las proyecciones.

$P_{P(A)}$: Población de la Provincia para el año A
$P_{D(A)}$ = Población del Departamento para el año A
i = tasa de crecimiento
A: Año

$$i_I = \sqrt[n1]{\frac{P_{2010}}{P_{2001}}} - 1 = \sqrt[9]{\frac{333.642}{289.983}} - 1 = 0{,}016 = 0{,}012 \qquad i_{II} = \sqrt[n2]{\frac{P_{2022}}{P_{2010}}} - 1 = \sqrt[12]{\frac{384.607}{333.642}} - 1$$

como $i_{II} << i_I$ => i i_{II}= 0,012

$$P_{P(A)} = P_{(A')}(1+i)^{(A-A')}$$

$$P_{P(2023)} = P_{P(2022)}(1+i)^{(2023-2022)} = 384.607(1+0{,}012)^{(1)} = 389.190\ hab$$
$$P_{P(2025)} = P_{P(2022)}(1+i)^{(2025-2022)} = 384.607(1+0{,}012)^{(3)} = 398.521\ hab$$
$$P_{P(2030)} = P_{P(2022)}(1+i)^{(2030-2022)} = 384.607(1+0{,}012)^{(8)} = 422.839\ hab$$
$$P_{P(2042)} = P_{P(2022)}(1+i)^{(2042-2022)} = 384.607(1+0{,}012)^{(20)} = 476.016\ hab$$
$$P_{P(2050)} = P_{P(2022)}(1+i)^{(2050-2022)} = 384.607(1+0{,}012)^{(30)} = 548.730\ hab$$

$$P_{D(A)} = aP_{P(A)} + b$$

$$a = \frac{P_{D(2022)} - P_{D(2010)}}{P_{P(2022)} - P_{P(2010')}} = \frac{212.225 - 185.579}{384.607 - 333.642} = 0{,}523$$

$$b = \frac{\left(P_{D(2022)} + P_{D(2010)}\right) - \left[a\left(P_{P(2022)} + P_{P(2010)}\right)\right]}{2} = \frac{(212.225 + 185.579) - [0{,}523\,(384.607 + 333.642))]}{2}$$
$$= 11.079{,}89\ hab.$$

Tabla 74 - Proyección poblacional de la Provincia de La Rioja y la Ciudad Capital, para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.

	AÑO	2023	2025	2030	2040	2052
POBLACIÓN	Provincia de La Rioja	*389.190*	*398.521*	*422.839*	*476.016*	*548.730*
	La Rioja Ciudad	*214.621*	*219.500*	*232.214*	*260.017*	*298.033*

PROYECCIÓN EN LA GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RSU

- En función de la información obtenida a partir de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación (2017), complementada por el trabajo de Holote, Tavella, Labert, & Cova, y utilizando los datos de población de INDEC (2015), se calculó la tasa de generación diaria de residuos de la Ciudad de La Rioja.

$M_{(A)}$: Masa residuos generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A
$\omega_{d\,(A)}$: Tasa diaria de generación domiciliaria (kg/hab d) en el año A.

$P_{D(2014)}$ = 200.334 hab (INDEC, 2015)

$M_{(2014)}$ = 160 t/d (Holote et al.)

$$\omega_{D(2014)} = \frac{M_{(2014)}}{P_{D(2014)}} = \frac{160}{200.334}\frac{t}{hab\ d} * \frac{1.000\ kg}{1\ t} = 0{,}80\ \frac{kg}{hab\ d}$$

- Siguiendo lo establecido por Kaza, Yao , Bhada-Tata, & Van Woerden (2018), que plantea un crecimiento de la generación diaria per cápita para nuestro país de un 1,07% hasta 2030 y de 0,88% entre este último año y 2052, se calcularon las respectivas tasas para los años de aplicación de las diferentes etapas del PGIRSU.

$$\omega_{D(2022)} = \omega_{D(2014)} * (2022 - 2014) * 1{,}07 = 0{,}80\ \frac{kg}{hab\ d} * 8 * 1{,}07 = 0{,}87\ \frac{kg}{hab\ d}$$
$$\omega_{D(2023)} = \omega_{D(2022)} * (2023 - 2022) * 1{,}07 = 0{,}87\ \frac{kg}{hab\ d} * 1 * 1{,}07 = 0{,}88\ \frac{kg}{hab\ d}$$
$$\omega_{D(2025)} = \omega_{D(2023)} * (2025 - 2023) * 1{,}07 = 0{,}88\ \frac{kg}{hab\ d} * 2 * 1{,}07 = 0{,}90\ \frac{kg}{hab\ d}$$

$$\omega_{D(2030)} = \omega_{D(2025)} * (2030 - 2025) * 1{,}07 = 0{,}90\ \frac{kg}{hab\ d} * 5 * 1{,}07 = 0{,}94\ \frac{kg}{hab\ d}$$

$$\omega_{D(2040)} = \omega_{D(2030)} * (2040 - 2030) * 0{,}88 = 0{,}94\ \frac{kg}{hab\ d} * 5 * 0{,}88 = 1{,}03\ \frac{kg}{hab\ d}$$

$$\omega_{D(2052)} = \omega_{D(2040)} * (2052 - 2040) * 0{,}88 = 1{,}03\ \frac{kg}{hab\ d} * 12 * 0{,}88$$
$$= 1{,}14\ \frac{kg}{hab\ d}$$

- Con las tasas antes calculadas, se estableció la generación diaria de residuos de la ciudad para cada año.

$$M_{(2022)} = \omega_{D(2022)} * P_{D(2022)} = 0{,}87\ \frac{kg}{hab\ d} * 212.225\ hab * \frac{1\ t}{1.000\ kg} = 169{,}780\ t/d$$

$$M_{(2023)} = \omega_{D(2023)} * P_{D(2023)} = 0{,}88\ \frac{kg}{hab\ d} * 214.621\ hab * \frac{1\ t}{1.000\ kg} = 171{,}697\ t/d$$

$$M_{(2025)} = \omega_{D(2025)} * P_{D(2025)} = 0{,}90\ \frac{kg}{hab\ d} * 219.500\ hab * \frac{1\ t}{1.000\ kg} = 175{,}600\ t/d$$

$$M_{(2030)} = \omega_{D(2030)} * P_{D(2030)} = 0{,}94\ \frac{kg}{hab\ d} * 234.214\ hab * \frac{1\ t}{1.000\ kg} = 185{,}771\ t/d$$

$$M_{(2040)} = \omega_{D(2040)} * P_{D(2042)} = 1{,}03\ \frac{kg}{hab\ d} * 260.017\ hab * \frac{1\ t}{1.000\ kg} = 208{,}013\ t/d$$

$$M_{(2052)} = \omega_{D(2052)} * P_{D(2052)} = 1{,}14\ \frac{kg}{hab\ d} * 298.033\ hab * \frac{1\ t}{1.000\ kg} = 238{,}426\ t/d$$

- Teniendo en cuenta la información del trabajo de Holote, Tavella, Labert, & Cova de lo generado en la ciudad el 82% corresponde a la generación domiciliaria y el 18% a la generacion comercial, y lo obtenido en los cálculos de proyección anteriores, se calcularon las generaciones totales y por generador. Estos resultados se pueden validar en la *tabla 75*.

$M_{D(A)}$: Masa residuos generados diariamente en domicilios en la ciudad de La Rioja en el Año A
$M_{C(A)}$: Masa residuos generados diariamente en comercios en la ciudad de La Rioja en el Año A

$$M_{D(A)} = M_{(A)} * 0{,}82 \qquad M_{C(A)} = M_{(A)} * 0{,}18$$

***Tabla 75** - Cantidad de habitantes y cantidad residuos generados en la ciudad de La Rioja, totales, domiciliarios y comerciales, para los años 2022, 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052*

AÑO			2022	2023	2025	2030	2040	2052
Población (hab)			*212.225*	*214.621*	*219.500*	*232.214*	*260.017*	*298.033*
Residuos	La Rioja	(t/d)	184,832	188,450	196,840	219,332	267,152	338,469
	Domiciliario	(t/d)	151,193	154,529	161,409	179,852	219,065	277,545
	Comercial	(t/d)	33,189	33,921	35,431	39,480	48,087	60,924

- Considerando la caracterización relevada por el trabajo de Holote, Tavella, Labert, & Cova *(Tabla 76),* se calculó la generación por fracción de residuos. Dichos resultados, se obtuvieron utilizando las ecuaciones citadas debajo y se reflejan en la *tabla 77.*

Tabla 76- Caracterización de residuos de la ciudad de La Rioja. Fte: (Holote et al.)

	Componente	Representación porcentual
Caracterización	Orgánicos	66,10%
	Papel y Cartón	7,50%
	Vidrio	2,40%
	Plásticos	13,50%
	Metales	8,20%
	Otros	2,30%

$M_{Dorgánicos(A)}$: Masa residuos orgánicos domiciliarios generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A

$M_{Dpyc(A)}$: Masa residuos de papel y cartón domiciliarios generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A

$M_{Dvidrios(A)}$: Masa residuos de vidrio domiciliarios generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A

$M_{Dplásticos(A)}$: Masa residuos plásticos domiciliarios generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A

$M_{Dmetales(A)}$: Masa residuos metálicos domiciliarios generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A

$M_{Dotros(A)}$: Masa residuos varios que no son orgánicos ni reciclables domiciliarios generados diariamente en la ciudad de La Rioja en el Año A

$$M_{Dorgánicos\,(A)} = M_{D(A)} * 0{,}6110 \qquad M_{Dpyc\,(A)} = M_{D(A)} * 0{,}0750$$
$$M_{Dvidrios\,(A)} = M_{D(A)} * 0{,}0240 \qquad M_{Dplásticos\,(A)} = M_{D(A)} * 0{,}1350$$
$$M_{Dmetales\,(A)} = M_{D(A)} * 0{,}0820 \qquad M_{Dotros\,(A)} = M_{D(A)} * 0{,}0230$$

Tabla 77- Generación diaria de residuos caracterizada, en toneladas, de la ciudad de La Rioja. Fte: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Holote, Tavella, Labert, & Cova.

AÑO			2022	2023	2025	2030	2040	2052
Caracterización	Componente	Representación porcentual	Residuos Generados (T/d)					
	Orgánicos	66,10%	112,66	115,14	120,27	134,01	163,23	206,80
	Papel y Cartón	7,50%	13,83	14,13	14,76	16,45	20,04	25,39
	Vidrio	2,40%	4,43	4,52	4,72	5,26	6,41	8,12
	Plásticos	13,50%	24,89	25,44	26,57	29,61	36,07	45,69
	Metales	8,20%	15,12	15,45	16,14	17,99	21,91	27,75
	Otros	2,30%	4,24	4,33	4,53	5,04	6,14	7,78
		Total (t/d)	*184,382*	*188,450*	*196,840*	*219,332*	*267,152*	*338,469*

- Dentro de los residuos orgánicos, se incluyen los restos de poda y jardinería, para poder diferenciarlo con el fin del diseño del Centro de Chipeo y Compostaje, se toma el promedio nacional del 5% (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017), dato que se refleja en la *tabla 78*. También a fin del diseño del sistema de recolección y del Centro de Acondicionamiento y tratamiento de materiales reciclables, se agrupan las diferentes fracciones en "orgánicos", "reciclables", "poda y jardinería" y "otros".

Tabla 78- Generación diaria de residuos por fracción, en toneladas, de la ciudad de La Rioja para los años 2022, 2023, 2025, 2030, 2040, 2052. Fte: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Holote, Tavella, Labert, & Cova y (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, 2017).

AÑO		2022	2023	2025	2030	2040	2052
Total (t/d)	*%*	184,382	188,450	196,840	219,332	267,152	338,469
Orgánicos	61,10%	112,66	115,14	120,27	134,01	163,23	206,80
Poda y jardinería	5,00%	9,22	9,42	9,84	10,97	13,36	16,92
Reciclables	31,60%	58,26	68,97	72,04	80,28	97,78	123,88
Otros	2,30%	4,24	4,33	4,53	5,04	6,14	7,78

SISTEMA DE RECOLECCIÓN

Como punto de partida para el desarrollo del sistema de recolección, se dividió la ciudad en zonas. Estas zonas se demarcaron siguiendo los radios censales de modo tal de poder contar con la información de la cantidad de habitantes de cada zona. Esto, se realizó en función de la plataforma cartográfica de la www.poblaciones.org, desarrollada por el Observatorio de la Deuda Social Argentina (ODSA) de la Universidad Católica Argentina (UCA) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y del

documento obtenido de Cartografía de radios del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (De Grande & Rodriguez, 2022).

A partir de ello se construyó la siguiente tabla en donde, a cada radio se les asignó un número de identificación más allá del código de cada uno, se los clasificó geográficamente en función del sistema actual de recolección de residuos de la ciudad y se extrajo del documento mencionado en el párrafo anterior, el número de habitantes de cada sector. Cabe mencionar, que, en los datos mapeados, existían zonas no relevadas de la ciudad, lo que arrojó un total de 170.955 habitantes, siendo los datos oficiales surgidos del censo, 185.579 los habitantes de la ciudad. Producto de esto, se estimaron los radios de las zonas faltantes (# de radio del 139 al 148). El criterio para el diseño de estos nuevos 10 radios fue, que sean de dimensiones similares a radios aledaños y características urbanas similares (en cantidad de manzanas y distribución de viviendas). Sumando estas zonas, y la población estimada, el total de habitantes estimado es de 182.525. En función de este dato y la población de cada radio censal, se calculó la representación porcentual de cada uno, dando origen a los datos de la *tabla 79*.

% población $_i$: representación porcentual de la población de radio i en el total de la ciudad.

N_i = cantidad de habitantes del radio censal i

$$\%\ población_{\ i} = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^{148} N_i}$$

Tabla 79 - Cantidad de habitantes de la ciudad de La Rioja, por radio censal del CENSO nacional 2010 y la representación porcentual de cada radio. Fte: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la plataforma de www.poblaciones.org y de De Grande & Rodriguez (2022).

# radio	Región	Población total	% población	# radio	Región	Población total	% población	# radio	Región	Población total	% población
1	N	1.266	0,69%	51	Ctro.	1.372	0,75%	101	Ctro.	1.324	0,73%
2	N	1.034	0,57%	52	Ctro.	558	0,31%	102	Ctro.	1.196	0,66%
3	N	822	0,45%	53	Ctro.	827	0,45%	103	O	1.491	0,82%
4	N	1.281	0,70%	54	O	1.471	0,81%	104	Ctro.	1.513	0,83%
5	N	1.001	0,55%	55	O	644	0,35%	105	Ctro.	1.056	0,58%
6	E	893	0,49%	56	O	1.343	0,74%	106	Ctro.	1.428	0,78%
7	N	916	0,50%	57	O	930	0,51%	107	O	1.363	0,75%
8	N	830	0,45%	58	Ctro.	851	0,47%	108	Ctro.	1.009	0,55%
9	N	929	0,51%	59	O	1.077	0,59%	109	Ctro.	1.466	0,80%
10	N	1.768	0,97%	60	E	968	0,53%	110	Ctro.	883	0,48%
11	N	1.273	0,70%	61	O	1.190	0,65%	111	Ctro.	871	0,48%
12	N	920	0,50%	62	Ctro.	1.049	0,57%	112	E	1.091	0,60%
13	E	1.983	1,09%	63	Ctro.	719	0,39%	113	Ctro.	1.338	0,73%
14	N	824	0,45%	64	Ctro.	772	0,42%	114	S	1.463	0,80%
15	N	1.392	0,76%	65	E	1.616	0,89%	115	S	1.141	0,63%
16	N	1.731	0,95%	66	Ctro.	1.057	0,58%	116	S	891	0,49%
17	N	794	0,44%	67	O	1.222	0,67%	117	S	913	0,50%
18	N	1.009	0,55%	68	E	1.846	1,01%	118	S	1.414	0,77%
19	N	1.654	0,91%	69	O	2.040	1,12%	119	O	1.253	0,69%
20	N	1.231	0,67%	70	Ctro.	1.727	0,95%	120	S	1.493	0,82%
21	N	1.669	0,91%	71	O	1.018	0,56%	121	S	1.498	0,82%
22	N	1.363	0,75%	72	Ctro.	894	0,49%	122	S	739	0,40%
23	N	1.124	0,62%	73	Ctro.	613	0,34%	123	S	1.648	0,90%
24	E	843	0,46%	74	Ctro.	1.444	0,79%	124	S	803	0,44%
25	N	1.272	0,70%	75	O	1.612	0,88%	125	S	850	0,47%
26	N	974	0,53%	76	Ctro.	1.143	0,63%	126	S	1.366	0,75%
27	N	1.381	0,76%	77	O	1.424	0,78%	127	S	1.343	0,74%
28	N	1.184	0,65%	78	O	1.344	0,74%	128	S	162	0,09%
29	N	1.038	0,57%	79	Ctro.	883	0,48%	129	S	1.879	1,03%
30	O	1.953	1,07%	80	O	1.134	0,62%	130	S	1.586	0,87%
31	O	1.726	0,95%	81	O	899	0,49%	131	S	1.449	0,79%
32	N	939	0,51%	82	Ctro.	717	0,39%	132	S	1.427	0,78%
33	N	773	0,42%	83	O	1.692	0,93%	133	S	1.753	0,96%
34	N	1.627	0,89%	84	Ctro.	673	0,37%	134	S	1.445	0,79%
35	N	1.504	0,82%	85	Ctro.	1.467	0,80%	135	S	1.561	0,86%
36	N	1.582	0,87%	86	Ctro.	1.018	0,56%	136	S	1.322	0,72%
37	N	836	0,46%	87	E	2.608	1,43%	137	S	1.327	0,73%
38	N	1.609	0,88%	88	Ctro.	1.031	0,56%	138	S	1.144	0,63%
39	O	1.585	0,87%	89	O	1.916	1,05%	139	E	1.091	0,60%
40	N	1.549	0,85%	90	O	390	0,21%	140	S	824	0,45%
41	N	1.590	0,87%	91	O	1.555	0,85%	141	S	664	0,36%
42	O	1.486	0,81%	92	Ctro.	882	0,48%	142	S	1.327	0,73%
43	N	1.009	0,55%	93	Ctro.	1.365	0,75%	143	E	3.232	1,77%
44	N	720	0,39%	94	E	2.902	1,59%	144	O	1.585	0,87%
45	Ctro.	1.299	0,71%	95	Ctro.	867	0,48%	145	O	793	0,43%
46	N	1.489	0,82%	96	Ctro.	1.129	0,62%	146	N	822	0,45%
47	E	1.045	0,57%	97	Ctro.	1.761	0,96%	147	N	411	0,23%
48	Ctro.	636	0,35%	98	Ctro.	1.565	0,86%	148	N	822	0,45%
49	E	1.058	0,58%	99	Ctro.	1.048	0,57%	Total		182.525	100,00%
50	Ctro.	1.176	0,64%	100	O	1.193	0,65%				

- Considerando la representación porcentual de cada cuadro, la tasa de generación de residuos y la población del censo 2022, se calculó la producción de residuos de cada cuadro censal, dando como resultado los datos de las tablas 80, 81 y 82.

P_{Dj} = Población de la ciudad para el año j
$N_{i,j}$ = Cantidad de habitantes del radio censal i en el año j
$M_{i,j}$ = masa de residuos del radio censal i en el año j

$$N_{i,j} = \%\, población_i * PD_j$$

$$M_{i,j} = \omega_{D(j)} * N_{i,j}$$

***Tabla 80** - Cantidad de habitantes de la ciudad de La Rioja, la representación porcentual y la cantidad de residuos diaria generadas en toneladas de cada radio censal de los años 2022 y 2023.*

2022													2023											
# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)
1	0,69%	1.472	1,28	51	0,75%	1.595	1,39	101	0,73%	1.539	1,34	1	0,69%	1.489	1,31	51	0,75%	1.613	1,42	101	0,73%	1.557	1,37
2	0,57%	1.202	1,04	52	0,31%	649	0,56	102	0,66%	1.391	1,21	2	0,57%	1.216	1,07	52	0,31%	656	0,58	102	0,66%	1.406	1,23
3	0,45%	956	0,83	53	0,45%	962	0,84	103	0,82%	1.734	1,51	3	0,45%	967	0,85	53	0,45%	972	0,85	103	0,82%	1.753	1,54
4	0,70%	1.489	1,29	54	0,81%	1.710	1,49	104	0,83%	1.759	1,53	4	0,70%	1.506	1,32	54	0,81%	1.730	1,52	104	0,83%	1.779	1,56
5	0,55%	1.164	1,01	55	0,35%	749	0,65	105	0,58%	1.228	1,07	5	0,55%	1.177	1,03	55	0,35%	757	0,66	105	0,58%	1.242	1,09
6	0,49%	1.038	0,90	56	0,74%	1.562	1,36	106	0,78%	1.660	1,44	6	0,49%	1.050	0,92	56	0,74%	1.579	1,39	106	0,78%	1.679	1,47
7	0,50%	1.065	0,93	57	0,51%	1.081	0,94	107	0,75%	1.585	1,38	7	0,50%	1.077	0,95	57	0,51%	1.094	0,96	107	0,75%	1.603	1,41
8	0,45%	965	0,84	58	0,47%	989	0,86	108	0,55%	1.173	1,02	8	0,45%	976	0,86	58	0,47%	1.001	0,88	108	0,55%	1.186	1,04
9	0,51%	1.080	0,94	59	0,59%	1.252	1,09	109	0,80%	1.705	1,48	9	0,51%	1.092	0,96	59	0,59%	1.266	1,11	109	0,80%	1.724	1,51
10	0,97%	2.056	1,79	60	0,53%	1.126	0,98	110	0,48%	1.027	0,89	10	0,97%	2.079	1,83	60	0,53%	1.138	1,00	110	0,48%	1.038	0,91
11	0,70%	1.480	1,29	61	0,65%	1.384	1,20	111	0,48%	1.013	0,88	11	0,70%	1.497	1,31	61	0,65%	1.399	1,23	111	0,48%	1.024	0,90
12	0,50%	1.070	0,93	62	0,57%	1.220	1,06	112	0,60%	1.269	1,10	12	0,50%	1.082	0,95	62	0,57%	1.233	1,08	112	0,60%	1.283	1,13
13	1,09%	2.306	2,00	63	0,39%	836	0,73	113	0,73%	1.556	1,35	13	1,09%	2.332	2,05	63	0,39%	845	0,74	113	0,73%	1.573	1,38
14	0,45%	958	0,83	64	0,42%	898	0,78	114	0,80%	1.701	1,48	14	0,45%	969	0,85	64	0,42%	908	0,80	114	0,80%	1.720	1,51
15	0,76%	1.619	1,41	65	0,89%	1.879	1,63	115	0,63%	1.327	1,15	15	0,76%	1.637	1,44	65	0,89%	1.900	1,67	115	0,63%	1.342	1,18
16	0,95%	2.013	1,75	66	0,58%	1.229	1,07	116	0,49%	1.036	0,90	16	0,95%	2.035	1,79	66	0,58%	1.243	1,09	116	0,49%	1.048	0,92
17	0,44%	923	0,80	67	0,67%	1.421	1,23	117	0,50%	1.062	0,92	17	0,44%	934	0,82	67	0,67%	1.437	1,26	117	0,50%	1.074	0,94
18	0,55%	1.173	1,02	68	1,01%	2.146	1,86	118	0,77%	1.644	1,43	18	0,55%	1.186	1,04	68	1,01%	2.171	1,91	118	0,77%	1.663	1,46
19	0,91%	1.923	1,67	69	1,12%	2.372	2,06	119	0,69%	1.457	1,27	19	0,91%	1.945	1,71	69	1,12%	2.399	2,11	119	0,69%	1.473	1,29
20	0,67%	1.431	1,24	70	0,95%	2.008	1,74	120	0,82%	1.736	1,51	20	0,67%	1.447	1,27	70	0,95%	2.031	1,78	120	0,82%	1.756	1,54
21	0,91%	1.941	1,69	71	0,56%	1.184	1,03	121	0,82%	1.742	1,51	21	0,91%	1.962	1,72	71	0,56%	1.197	1,05	121	0,82%	1.761	1,55
22	0,75%	1.585	1,38	72	0,49%	1.039	0,90	122	0,40%	859	0,75	22	0,75%	1.603	1,41	72	0,49%	1.051	0,92	122	0,40%	869	0,76
23	0,62%	1.307	1,14	73	0,34%	713	0,62	123	0,90%	1.916	1,66	23	0,62%	1.322	1,16	73	0,34%	721	0,63	123	0,90%	1.938	1,70
24	0,46%	980	0,85	74	0,79%	1.679	1,46	124	0,44%	934	0,81	24	0,46%	991	0,87	74	0,79%	1.698	1,49	124	0,44%	944	0,83
25	0,70%	1.479	1,28	75	0,88%	1.874	1,63	125	0,47%	988	0,86	25	0,70%	1.496	1,31	75	0,88%	1.895	1,66	125	0,47%	999	0,88
26	0,53%	1.132	0,98	76	0,63%	1.329	1,15	126	0,75%	1.588	1,38	26	0,53%	1.145	1,01	76	0,63%	1.344	1,18	126	0,75%	1.606	1,41
27	0,76%	1.606	1,40	77	0,78%	1.656	1,44	127	0,74%	1.562	1,36	27	0,76%	1.624	1,43	77	0,78%	1.674	1,47	127	0,74%	1.579	1,39
28	0,65%	1.377	1,20	78	0,74%	1.563	1,36	128	0,09%	188	0,16	28	0,65%	1.392	1,22	78	0,74%	1.580	1,39	128	0,09%	190	0,17
29	0,57%	1.207	1,05	79	0,48%	1.027	0,89	129	1,03%	2.185	1,90	29	0,57%	1.221	1,07	79	0,48%	1.038	0,91	129	1,03%	2.209	1,94
30	1,07%	2.271	1,97	80	0,62%	1.319	1,15	130	0,87%	1.844	1,60	30	1,07%	2.296	2,02	80	0,62%	1.333	1,17	130	0,87%	1.865	1,64
31	0,95%	2.007	1,74	81	0,49%	1.045	0,91	131	0,79%	1.685	1,46	31	0,95%	2.030	1,78	81	0,49%	1.057	0,93	131	0,79%	1.704	1,50
32	0,51%	1.092	0,95	82	0,39%	834	0,72	132	0,78%	1.659	1,44	32	0,51%	1.104	0,97	82	0,39%	843	0,74	132	0,78%	1.678	1,47
33	0,42%	899	0,78	83	0,93%	1.967	1,71	133	0,96%	2.038	1,77	33	0,42%	909	0,80	83	0,93%	1.990	1,75	133	0,96%	2.061	1,81
34	0,89%	1.892	1,64	84	0,37%	783	0,68	134	0,79%	1.680	1,46	34	0,89%	1.913	1,68	84	0,37%	791	0,69	134	0,79%	1.699	1,49
35	0,82%	1.749	1,52	85	0,80%	1.706	1,48	135	0,86%	1.815	1,58	35	0,82%	1.768	1,55	85	0,80%	1.725	1,51	135	0,86%	1.835	1,61
36	0,87%	1.839	1,60	86	0,56%	1.184	1,03	136	0,72%	1.537	1,34	36	0,87%	1.860	1,63	86	0,56%	1.197	1,05	136	0,72%	1.554	1,36
37	0,46%	972	0,84	87	1,43%	3.032	2,63	137	0,73%	1.543	1,34	37	0,46%	983	0,86	87	1,43%	3.067	2,69	137	0,73%	1.560	1,37
38	0,88%	1.871	1,63	88	0,56%	1.199	1,04	138	0,63%	1.330	1,16	38	0,88%	1.892	1,66	88	0,56%	1.212	1,06	138	0,63%	1.345	1,18
39	0,87%	1.843	1,60	89	1,05%	2.228	1,94	139	0,60%	1.269	1,10	39	0,87%	1.864	1,64	89	1,05%	2.253	1,98	139	0,60%	1.283	1,13
40	0,85%	1.801	1,56	90	0,21%	453	0,39	140	0,45%	958	0,83	40	0,85%	1.821	1,60	90	0,21%	459	0,40	140	0,45%	969	0,85
41	0,87%	1.849	1,61	91	0,85%	1.808	1,57	141	0,36%	771	0,67	41	0,87%	1.870	1,64	91	0,85%	1.828	1,61	141	0,36%	780	0,69
42	0,81%	1.728	1,50	92	0,48%	1.026	0,89	142	0,73%	1.543	1,34	42	0,81%	1.747	1,53	92	0,48%	1.037	0,91	142	0,73%	1.560	1,37
43	0,55%	1.173	1,02	93	0,75%	1.587	1,38	143	1,77%	3.758	3,26	43	0,55%	1.186	1,04	93	0,75%	1.605	1,41	143	1,77%	3.800	3,34
44	0,39%	837	0,73	94	1,59%	3.374	2,93	144	0,87%	1.843	1,60	44	0,39%	847	0,74	94	1,59%	3.412	3,00	144	0,87%	1.864	1,64
45	0,71%	1.510	1,31	95	0,48%	1.008	0,88	145	0,43%	921	0,80	45	0,71%	1.527	1,34	95	0,48%	1.019	0,90	145	0,43%	932	0,82
46	0,82%	1.731	1,50	96	0,62%	1.313	1,14	146	0,45%	956	0,83	46	0,82%	1.751	1,54	96	0,62%	1.328	1,17	146	0,45%	967	0,85
47	0,57%	1.215	1,06	97	0,96%	2.048	1,78	147	0,23%	478	0,42	47	0,57%	1.229	1,08	97	0,96%	2.071	1,82	147	0,23%	483	0,42
48	0,35%	739	0,64	98	0,86%	1.820	1,58	148	0,45%	956	0,83	48	0,35%	748	0,66	98	0,86%	1.840	1,62	148	0,45%	967	0,85
49	0,58%	1.230	1,07	99	0,57%	1.219	1,06	Total	100,00%	212.225	184,382	49	0,58%	1.244	1,09	99	0,57%	1.232	1,08	Total	100,00%	214.621	188,450
50	0,64%	1.367	1,19	100	0,65%	1.387	1,21					50	0,64%	1.383	1,21	100	0,65%	1.403	1,23				

Tabla 81 - *Cantidad de habitantes de la ciudad de La Rioja, la representación porcentual y la cantidad de residuos diaria generadas en toneladas de cada radio censal de los años 2025 y 2030.*

2025												2030											
# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)
1	0,69%	1.522	1,37	51	0,75%	1.650	1,48	101	0,73%	1.592	1,43	1	0,69%	1.611	1,52	51	0,75%	1.745	1,65	101	0,73%	1.684	1,59
2	0,57%	1.243	1,12	52	0,31%	671	0,60	102	0,66%	1.438	1,29	2	0,57%	1.315	1,24	52	0,31%	710	0,67	102	0,66%	1.522	1,44
3	0,45%	989	0,89	53	0,45%	995	0,89	103	0,82%	1.793	1,61	3	0,45%	1.046	0,99	53	0,45%	1.052	0,99	103	0,82%	1.897	1,79
4	0,70%	1.540	1,38	54	0,81%	1.769	1,59	104	0,83%	1.819	1,63	4	0,70%	1.630	1,54	54	0,81%	1.871	1,77	104	0,83%	1.925	1,82
5	0,55%	1.204	1,08	55	0,35%	774	0,69	105	0,58%	1.270	1,14	5	0,55%	1.274	1,20	55	0,35%	819	0,77	105	0,58%	1.343	1,27
6	0,49%	1.074	0,96	56	0,74%	1.615	1,45	106	0,78%	1.717	1,54	6	0,49%	1.136	1,07	56	0,74%	1.709	1,61	106	0,78%	1.817	1,72
7	0,50%	1.102	0,99	57	0,51%	1.118	1,00	107	0,75%	1.639	1,47	7	0,50%	1.165	1,10	57	0,51%	1.183	1,12	107	0,75%	1.734	1,64
8	0,45%	998	0,90	58	0,47%	1.023	0,92	108	0,55%	1.213	1,09	8	0,45%	1.056	1,00	58	0,47%	1.083	1,02	108	0,55%	1.284	1,21
9	0,51%	1.117	1,00	59	0,59%	1.295	1,16	109	0,80%	1.763	1,58	9	0,51%	1.182	1,12	59	0,59%	1.370	1,29	109	0,80%	1.865	1,76
10	0,97%	2.126	1,91	60	0,53%	1.164	1,04	110	0,48%	1.062	0,95	10	0,97%	2.249	2,12	60	0,53%	1.232	1,16	110	0,48%	1.123	1,06
11	0,70%	1.531	1,37	61	0,65%	1.431	1,28	111	0,48%	1.047	0,94	11	0,70%	1.620	1,53	61	0,65%	1.514	1,43	111	0,48%	1.108	1,05
12	0,50%	1.106	0,99	62	0,57%	1.261	1,13	112	0,60%	1.312	1,18	12	0,50%	1.170	1,11	62	0,57%	1.335	1,26	112	0,60%	1.388	1,31
13	1,09%	2.385	2,14	63	0,39%	865	0,78	113	0,73%	1.609	1,44	13	1,09%	2.523	2,38	63	0,39%	915	0,86	113	0,73%	1.702	1,61
14	0,45%	991	0,89	64	0,42%	928	0,83	114	0,80%	1.759	1,58	14	0,45%	1.048	0,99	64	0,42%	982	0,93	114	0,80%	1.861	1,76
15	0,76%	1.674	1,50	65	0,89%	1.943	1,74	115	0,63%	1.372	1,23	15	0,76%	1.771	1,67	65	0,89%	2.056	1,94	115	0,63%	1.452	1,37
16	0,95%	2.082	1,87	66	0,58%	1.271	1,14	116	0,49%	1.071	0,96	16	0,95%	2.202	2,08	66	0,58%	1.345	1,27	116	0,49%	1.134	1,07
17	0,44%	955	0,86	67	0,67%	1.470	1,32	117	0,50%	1.098	0,98	17	0,44%	1.010	0,95	67	0,67%	1.555	1,47	117	0,50%	1.162	1,10
18	0,55%	1.213	1,09	68	1,01%	2.220	1,99	118	0,77%	1.700	1,52	18	0,55%	1.284	1,21	68	1,01%	2.349	2,22	118	0,77%	1.799	1,70
19	0,91%	1.989	1,78	69	1,12%	2.453	2,20	119	0,69%	1.507	1,35	19	0,91%	2.104	1,99	69	1,12%	2.595	2,45	119	0,69%	1.594	1,51
20	0,67%	1.480	1,33	70	0,95%	2.077	1,86	120	0,82%	1.795	1,61	20	0,67%	1.566	1,48	70	0,95%	2.197	2,08	120	0,82%	1.899	1,79
21	0,91%	2.007	1,80	71	0,56%	1.224	1,10	121	0,82%	1.801	1,62	21	0,91%	2.123	2,01	71	0,56%	1.295	1,22	121	0,82%	1.906	1,80
22	0,75%	1.639	1,47	72	0,49%	1.075	0,96	122	0,40%	889	0,80	22	0,75%	1.734	1,64	72	0,49%	1.137	1,07	122	0,40%	940	0,89
23	0,62%	1.352	1,21	73	0,34%	737	0,66	123	0,90%	1.982	1,78	23	0,62%	1.430	1,35	73	0,34%	780	0,74	123	0,90%	2.097	1,98
24	0,46%	1.014	0,91	74	0,79%	1.737	1,56	124	0,44%	966	0,87	24	0,46%	1.072	1,01	74	0,79%	1.837	1,74	124	0,44%	1.022	0,96
25	0,70%	1.530	1,37	75	0,88%	1.939	1,74	125	0,47%	1.022	0,92	25	0,70%	1.618	1,53	75	0,88%	2.051	1,94	125	0,47%	1.081	1,02
26	0,53%	1.171	1,05	76	0,63%	1.375	1,23	126	0,75%	1.643	1,47	26	0,53%	1.239	1,17	76	0,63%	1.454	1,37	126	0,75%	1.738	1,64
27	0,76%	1.661	1,49	77	0,78%	1.712	1,54	127	0,74%	1.615	1,45	27	0,76%	1.757	1,66	77	0,78%	1.812	1,71	127	0,74%	1.709	1,61
28	0,65%	1.424	1,28	78	0,74%	1.616	1,45	128	0,09%	195	0,17	28	0,65%	1.506	1,42	78	0,74%	1.710	1,62	128	0,09%	206	0,19
29	0,57%	1.248	1,12	79	0,48%	1.062	0,95	129	1,03%	2.260	2,03	29	0,57%	1.321	1,25	79	0,48%	1.123	1,06	129	1,03%	2.391	2,26
30	1,07%	2.349	2,11	80	0,62%	1.364	1,22	130	0,87%	1.907	1,71	30	1,07%	2.485	2,35	80	0,62%	1.443	1,36	130	0,87%	2.018	1,91
31	0,95%	2.076	1,86	81	0,49%	1.081	0,97	131	0,79%	1.743	1,56	31	0,95%	2.196	2,07	81	0,49%	1.144	1,08	131	0,79%	1.843	1,74
32	0,51%	1.129	1,01	82	0,39%	862	0,77	132	0,78%	1.716	1,54	32	0,51%	1.195	1,13	82	0,39%	912	0,86	132	0,78%	1.815	1,71
33	0,42%	930	0,83	83	0,93%	2.035	1,82	133	0,96%	2.108	1,89	33	0,42%	983	0,93	83	0,93%	2.153	2,03	133	0,96%	2.230	2,11
34	0,89%	1.957	1,75	84	0,37%	809	0,73	134	0,79%	1.738	1,56	34	0,89%	2.070	1,96	84	0,37%	856	0,81	134	0,79%	1.838	1,74
35	0,82%	1.809	1,62	85	0,80%	1.764	1,58	135	0,86%	1.877	1,68	35	0,82%	1.913	1,81	85	0,80%	1.866	1,76	135	0,86%	1.986	1,88
36	0,87%	1.902	1,71	86	0,56%	1.224	1,10	136	0,72%	1.590	1,43	36	0,87%	2.013	1,90	86	0,56%	1.295	1,22	136	0,72%	1.682	1,59
37	0,46%	1.005	0,90	87	1,43%	3.136	2,81	137	0,73%	1.596	1,43	37	0,46%	1.064	1,00	87	1,43%	3.318	3,13	137	0,73%	1.688	1,59
38	0,88%	1.935	1,74	88	0,56%	1.240	1,11	138	0,63%	1.376	1,23	38	0,88%	2.047	1,93	88	0,56%	1.312	1,24	138	0,63%	1.455	1,37
39	0,87%	1.906	1,71	89	1,05%	2.304	2,07	139	0,60%	1.312	1,18	39	0,87%	2.016	1,90	89	1,05%	2.438	2,30	139	0,60%	1.388	1,31
40	0,85%	1.863	1,67	90	0,21%	469	0,42	140	0,45%	991	0,89	40	0,85%	1.971	1,86	90	0,21%	496	0,47	140	0,45%	1.048	0,99
41	0,87%	1.912	1,71	91	0,85%	1.870	1,68	141	0,36%	798	0,72	41	0,87%	2.023	1,91	91	0,85%	1.978	1,87	141	0,36%	844	0,80
42	0,81%	1.787	1,60	92	0,48%	1.061	0,95	142	0,73%	1.596	1,43	42	0,81%	1.891	1,79	92	0,48%	1.122	1,06	142	0,73%	1.688	1,59
43	0,55%	1.213	1,09	93	0,75%	1.642	1,47	143	1,77%	3.887	3,49	43	0,55%	1.284	1,21	93	0,75%	1.737	1,64	143	1,77%	4.112	3,88
44	0,39%	866	0,78	94	1,59%	3.490	3,13	144	0,87%	1.906	1,71	44	0,39%	916	0,87	94	1,59%	3.692	3,49	144	0,87%	2.016	1,90
45	0,71%	1.562	1,40	95	0,48%	1.043	0,93	145	0,43%	953	0,85	45	0,71%	1.653	1,56	95	0,48%	1.103	1,04	145	0,43%	1.008	0,95
46	0,82%	1.791	1,61	96	0,62%	1.358	1,22	146	0,45%	989	0,89	46	0,82%	1.894	1,79	96	0,62%	1.436	1,36	146	0,45%	1.046	0,99
47	0,57%	1.257	1,13	97	0,96%	2.118	1,90	147	0,23%	494	0,44	47	0,57%	1.329	1,26	97	0,96%	2.240	2,12	147	0,23%	523	0,49
48	0,35%	765	0,69	98	0,86%	1.882	1,69	148	0,45%	989	0,89	48	0,35%	809	0,76	98	0,86%	1.991	1,88	148	0,45%	1.046	0,99
49	0,58%	1.272	1,14	99	0,57%	1.260	1,13	Total	100,00%	219.500	196,840	49	0,58%	1.346	1,27	99	0,57%	1.333	1,26	Total	100,00%	232.214	219,332
50	0,64%	1.414	1,27	100	0,65%	1.435	1,29					50	0,64%	1.496	1,41	100	0,65%	1.518	1,43				

Tabla 82- *Cantidad de habitantes de la ciudad de La Rioja, la representación porcentual y la cantidad de residuos diaria generadas en toneladas de cada radio censal de los años 2040 y 2052.*

2040												2052											
# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)	# radio	% pob	N (hab)	M (t/d)
1	0,69%	1.522	1,56	51	0,75%	1.650	1,70	101	0,73%	1.592	1,64	1	0,69%	1.611	1,83	51	0,75%	1.745	1,98	101	0,73%	1.684	1,91
2	0,57%	1.243	1,28	52	0,31%	671	0,69	102	0,66%	1.438	1,48	2	0,57%	1.315	1,49	52	0,31%	710	0,81	102	0,66%	1.522	1,73
3	0,45%	989	1,02	53	0,45%	995	1,02	103	0,82%	1.793	1,84	3	0,45%	1.046	1,19	53	0,45%	1.052	1,19	103	0,82%	1.897	2,15
4	0,70%	1.540	1,58	54	0,81%	1.769	1,82	104	0,83%	1.819	1,87	4	0,70%	1.630	1,85	54	0,81%	1.871	2,13	104	0,83%	1.925	2,19
5	0,55%	1.204	1,24	55	0,35%	774	0,80	105	0,58%	1.270	1,30	5	0,55%	1.274	1,45	55	0,35%	819	0,93	105	0,58%	1.343	1,53
6	0,49%	1.074	1,10	56	0,74%	1.615	1,66	106	0,78%	1.717	1,76	6	0,49%	1.136	1,29	56	0,74%	1.709	1,94	106	0,78%	1.817	2,06
7	0,50%	1.102	1,13	57	0,51%	1.118	1,15	107	0,75%	1.639	1,68	7	0,50%	1.165	1,32	57	0,51%	1.183	1,34	107	0,75%	1.734	1,97
8	0,45%	998	1,03	58	0,47%	1.023	1,05	108	0,55%	1.213	1,25	8	0,45%	1.056	1,20	58	0,47%	1.083	1,23	108	0,55%	1.284	1,46
9	0,51%	1.117	1,15	59	0,59%	1.295	1,33	109	0,80%	1.763	1,81	9	0,51%	1.182	1,34	59	0,59%	1.370	1,56	109	0,80%	1.865	2,12
10	0,97%	2.126	2,18	60	0,53%	1.164	1,20	110	0,48%	1.062	1,09	10	0,97%	2.249	2,55	60	0,53%	1.232	1,40	110	0,48%	1.123	1,28
11	0,70%	1.531	1,57	61	0,65%	1.431	1,47	111	0,48%	1.047	1,08	11	0,70%	1.620	1,84	61	0,65%	1.514	1,72	111	0,48%	1.108	1,26
12	0,50%	1.106	1,14	62	0,57%	1.261	1,30	112	0,60%	1.312	1,35	12	0,50%	1.170	1,33	62	0,57%	1.335	1,52	112	0,60%	1.388	1,58
13	1,09%	2.385	2,45	63	0,39%	865	0,89	113	0,73%	1.609	1,65	13	1,09%	2.523	2,87	63	0,39%	915	1,04	113	0,73%	1.702	1,93
14	0,45%	991	1,02	64	0,42%	928	0,95	114	0,80%	1.759	1,81	14	0,45%	1.048	1,19	64	0,42%	982	1,12	114	0,80%	1.861	2,11
15	0,76%	1.674	1,72	65	0,89%	1.943	2,00	115	0,63%	1.372	1,41	15	0,76%	1.771	2,01	65	0,89%	2.056	2,33	115	0,63%	1.452	1,65
16	0,95%	2.082	2,14	66	0,58%	1.271	1,31	116	0,49%	1.071	1,10	16	0,95%	2.202	2,50	66	0,58%	1.345	1,53	116	0,49%	1.134	1,29
17	0,44%	955	0,98	67	0,67%	1.470	1,51	117	0,50%	1.098	1,13	17	0,44%	1.010	1,15	67	0,67%	1.555	1,77	117	0,50%	1.162	1,32
18	0,55%	1.213	1,25	68	1,01%	2.220	2,28	118	0,77%	1.700	1,75	18	0,55%	1.284	1,46	68	1,01%	2.349	2,67	118	0,77%	1.799	2,04
19	0,91%	1.989	2,04	69	1,12%	2.453	2,52	119	0,69%	1.507	1,55	19	0,91%	2.104	2,39	69	1,12%	2.595	2,95	119	0,69%	1.594	1,81
20	0,67%	1.480	1,52	70	0,95%	2.077	2,13	120	0,82%	1.795	1,84	20	0,67%	1.566	1,78	70	0,95%	2.197	2,50	120	0,82%	1.899	2,16
21	0,91%	2.007	2,06	71	0,56%	1.224	1,26	121	0,82%	1.801	1,85	21	0,91%	2.123	2,41	71	0,56%	1.295	1,47	121	0,82%	1.906	2,16
22	0,75%	1.639	1,68	72	0,49%	1.075	1,10	122	0,40%	889	0,91	22	0,75%	1.734	1,97	72	0,49%	1.137	1,29	122	0,40%	940	1,07
23	0,62%	1.352	1,39	73	0,34%	737	0,76	123	0,90%	1.982	2,04	23	0,62%	1.430	1,62	73	0,34%	780	0,89	123	0,90%	2.097	2,38
24	0,46%	1.014	1,04	74	0,79%	1.737	1,78	124	0,44%	966	0,99	24	0,46%	1.072	1,22	74	0,79%	1.837	2,09	124	0,44%	1.022	1,16
25	0,70%	1.530	1,57	75	0,88%	1.939	1,99	125	0,47%	1.022	1,05	25	0,70%	1.618	1,84	75	0,88%	2.051	2,33	125	0,47%	1.081	1,23
26	0,53%	1.171	1,20	76	0,63%	1.375	1,41	126	0,75%	1.643	1,69	26	0,53%	1.239	1,41	76	0,63%	1.454	1,65	126	0,75%	1.738	1,97
27	0,76%	1.661	1,71	77	0,78%	1.712	1,76	127	0,74%	1.615	1,66	27	0,76%	1.757	2,00	77	0,78%	1.812	2,06	127	0,74%	1.709	1,94
28	0,65%	1.424	1,46	78	0,74%	1.616	1,66	128	0,09%	195	0,20	28	0,65%	1.506	1,71	78	0,74%	1.710	1,94	128	0,09%	206	0,23
29	0,57%	1.248	1,28	79	0,48%	1.062	1,09	129	1,03%	2.260	2,32	29	0,57%	1.321	1,50	79	0,48%	1.123	1,28	129	1,03%	2.391	2,71
30	1,07%	2.349	2,41	80	0,62%	1.364	1,40	130	0,87%	1.907	1,96	30	1,07%	2.485	2,82	80	0,62%	1.443	1,64	130	0,87%	2.018	2,29
31	0,95%	2.076	2,13	81	0,49%	1.081	1,11	131	0,79%	1.743	1,79	31	0,95%	2.196	2,49	81	0,49%	1.144	1,30	131	0,79%	1.843	2,09
32	0,51%	1.129	1,16	82	0,39%	862	0,89	132	0,78%	1.716	1,76	32	0,51%	1.195	1,36	82	0,39%	912	1,04	132	0,78%	1.815	2,06
33	0,42%	930	0,96	83	0,93%	2.035	2,09	133	0,96%	2.108	2,17	33	0,42%	983	1,12	83	0,93%	2.153	2,44	133	0,96%	2.230	2,53
34	0,89%	1.957	2,01	84	0,37%	809	0,83	134	0,79%	1.738	1,79	34	0,89%	2.070	2,35	84	0,37%	856	0,97	134	0,79%	1.838	2,09
35	0,82%	1.809	1,86	85	0,80%	1.764	1,81	135	0,86%	1.877	1,93	35	0,82%	1.913	2,17	85	0,80%	1.866	2,12	135	0,86%	1.986	2,26
36	0,87%	1.902	1,95	86	0,56%	1.224	1,26	136	0,72%	1.590	1,63	36	0,87%	2.013	2,29	86	0,56%	1.295	1,47	136	0,72%	1.682	1,91
37	0,46%	1.005	1,03	87	1,43%	3.136	3,22	137	0,73%	1.596	1,64	37	0,46%	1.064	1,21	87	1,43%	3.318	3,77	137	0,73%	1.688	1,92
38	0,88%	1.935	1,99	88	0,56%	1.240	1,27	138	0,63%	1.376	1,41	38	0,88%	2.047	2,32	88	0,56%	1.312	1,49	138	0,63%	1.455	1,65
39	0,87%	1.906	1,96	89	1,05%	2.304	2,37	139	0,60%	1.312	1,35	39	0,87%	2.016	2,29	89	1,05%	2.438	2,77	139	0,60%	1.388	1,58
40	0,85%	1.863	1,91	90	0,21%	469	0,48	140	0,45%	991	1,02	40	0,85%	1.971	2,24	90	0,21%	496	0,56	140	0,45%	1.048	1,19
41	0,87%	1.912	1,96	91	0,85%	1.870	1,92	141	0,36%	798	0,82	41	0,87%	2.023	2,30	91	0,85%	1.978	2,25	141	0,36%	844	0,96
42	0,81%	1.787	1,84	92	0,48%	1.061	1,09	142	0,73%	1.596	1,64	42	0,81%	1.891	2,15	92	0,48%	1.122	1,27	142	0,73%	1.688	1,92
43	0,55%	1.213	1,25	93	0,75%	1.642	1,69	143	1,77%	3.887	3,99	43	0,55%	1.284	1,46	93	0,75%	1.737	1,97	143	1,77%	4.112	4,67
44	0,39%	866	0,89	94	1,59%	3.490	3,59	144	0,87%	1.906	1,96	44	0,39%	916	1,04	94	1,59%	3.692	4,19	144	0,87%	2.016	2,29
45	0,71%	1.562	1,61	95	0,48%	1.043	1,07	145	0,43%	953	0,98	45	0,71%	1.653	1,88	95	0,48%	1.103	1,25	145	0,43%	1.008	1,15
46	0,82%	1.791	1,84	96	0,62%	1.358	1,39	146	0,45%	989	1,02	46	0,82%	1.894	2,15	96	0,62%	1.436	1,63	146	0,45%	1.046	1,19
47	0,57%	1.257	1,29	97	0,96%	2.118	2,18	147	0,23%	494	0,51	47	0,57%	1.329	1,51	97	0,96%	2.240	2,54	147	0,23%	523	0,59
48	0,35%	765	0,79	98	0,86%	1.882	1,93	148	0,45%	989	1,02	48	0,35%	809	0,92	98	0,86%	1.991	2,26	148	0,45%	1.046	1,19
49	0,58%	1.272	1,31	99	0,57%	1.260	1,29	Total	100,00%	260.017	225,523	49	0,58%	1.346	1,53	99	0,57%	1.333	1,51	Total	100,00%	298.033	263,720
50	0,64%	1.414	1,45	100	0,65%	1.435	1,47					50	0,64%	1.496	1,70	100	0,65%	1.518	1,72				

- Teniendo en cuenta criterios de: esquema de recolección actual, área y manzanas por sector de recolección, número de viviendas y tasas de generación por sector de recolección, límites geográficos y capacidad de vehículos y tecnología de recolección; se agruparon las diferentes zonas de radios censales, para establecer

las macro rutas de recolección, dando origen a 28 cuadros que agrupa los diferentes radios censales tal como se muestra en la tabla 83.

Tabla 83- Designación de los cuadros de recolección, a partir del agrupamiento de los radios censales y respectiva generación diaria de residuos, según la proyección para el 2023.

Cuadro de recolección	Radios censales	Cuadro de recolección	Radios censales	Cuadro de recolección	Radios censales
1	1	9	89	17	99
	5		91		101
	7		100		104
	8		107		109
	10	10	90		110
	11		103		113
	12		119	18	111b
	22	11	49		112
2	16		55		114
	19		56		115
	21	12	59		116
	25		67		117
	28		71		118
	28		80		120
	35		81		121
	36		83	19	122
3	20	13	45		126
	33		52		127
	34		53		129
	40		58		130
	43		63	20	123
	44		64		124
4	2		66		125
	3		73	21	133
	4		82		140
	9		84		141
	14		92	22	128b
	17		95		137
	29	14	48		138
5	15		50		142
	18		51	23	128a
	23		62		131
	26		70		132
	32		72	24	134
	37		74		135
	146		86		136
	147		88	25	24
6	38	15	76		47
	41		79		68
	46		86		87
	148		88		94a
7	54		97	26	6
	57		98		13
	61		99	27	94b
	69		106		112
	75		108		139
	77	16	85	28	60
	78		93		
8	30		96		
	31		100		65
	39		102		
	42		111a		
	144		105		143
	145				

- A partir de los cuadros delimitados, teniendo en cuenta las tasas de generación y caracterización de residuos de la ciudad y los esquemas de disposición inicial y recolección propuestos (puerta a puerta y contenerización), se procedió, en primer lugar, a calcular la cantidad de residuos diaria generada en cada cuadro del sistema de recolección puerta a puerta. Luego teniendo en cuenta las diferentes frecuencias de recolección, se calculó la cantidad de residuos de cada fracción (Basura, Reciclables, Restos de poda y Jardinería) a recolectar en cada cuadro. Para ello, se tuvieron en cuenta las distintas etapas de implementación del plan GIRSU, es decir las metas de recolección de residuos reciclables, que figuran debajo y cuyos resultados se pueden validar en las tablas 84, 85, 86, 87 y 88 respectivamente. Por último, en las mismas tablas, se calculó el volumen de los residuos a recolectar y sus respectivos Índices de Compactación (IC), en función de analizar la logística elegida. Todo lo mencionado se calculó para los años 2023, 2025, 2040 y 2052, en función de las expresiones desarrolladas a continuación.

Metas de recolección de residuos reciclables del plan GIRSU.

Año	2023	2025	2030	2040	2052
Meta	*20%*	*40%*	*60%*	*80%*	*80%*

M_{Di}: Residuos domiciliarios totales generados diariamente en el cuadro i, en el año A.
M_{DBi}: Basura domiciliaria generada en el cuadro i por día, en el año A.
M_{DRi}: Residuos Reciclables domiciliarios generados en el cuadro i por día, en el año A.
M_{Dvi}: Residuos domiciliarios de Fracción Verde generados en el cuadro i por día, en el año A.

$$M_{DRi(A)} = 0{,}3160 * M_{Di}$$

$$M_{DVi(A)} = 0{,}0500 * M_{Di}$$

$$M_{DBi(A)} = M_{Di\,(A)} - (M_{DRi(A)} + M_{Vi(A)})$$

R: Residuos recolectados - $R_{Bi(j)}$: Basura Recolectada por día de recolección en el cuadro i y el año j.
m_j: meta de recolección de residuos reciclables para el año j

$$R_{Bi(j)} = M_{DBi(j)} + [M_{DRi(j)}(1 - m_j)]$$

- $R_{Ri(j)}$: Residuos Reciclables Recolectados por día de recolección en el cuadro i y el año j.

$$R_{DRi(j)} = M_{DRi(j)} * 0{,}20 * 7$$

-$R_{Vi(j)}$: Residuos de fracción verde Recolectados por día de recolección en el cuadro i y el año j.

$$R_{DVi(j)} = M_{DVi(j)} * 7$$

f: Frecuencia del servicio de recolección - f_B: frecuencia de recolección de Basura.
- f_R: frecuencia de recolección de Residuos Reciclables.
- f_V: frecuencia de recolección de Residuos de Fracción Verde.

V: Volumen de material recolectada (m^3) - $V_{Bi(j)}$: Volumen de basura recolectada en el cuadro i y el año j
- $V_{Ri(j)}$: Volumen de material reciclable recolectado en el cuadro i y el año j.
- $V_{Vi(j)}$: Volumen de residuos de fracción verde recolectado en el cuadro i y el año j.

- $V_{Bi(j)} = \frac{R_{Bi(j)}}{PE_B}$ $V_{Ri(j)} = \frac{R_{R(j)}}{PE_R}$ $V_{Vi(j)} = \frac{R_{Vi(j)}}{PE_V}$

PE: Peso específico -Peso específico de la basura: $PE_B = 0{,}2277$ t/m^3
- Peso específico de los residuos reciclables: $PE_R = 0{,}1473$ t/m^3
- Peso específico de la fracción verde de los residuos: $PE_V = 0{,}1011$ t/m^3

IC: Índice de Compactación
c: Capacidad volumétrica de la caja compactadora de la unidad de recolección (m^3)
c= 21 m^3

$IC_{Bi} = \frac{V_{Bi}}{c}$ $IC_{Ri} = \frac{V_{Ri}}{c}$

Tabla 85 - *Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para cada cuadro de recolección para el año 2023.*

2023																			
# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Fcias. de rec.			Residuos Generados				Residuos Recolectados									
										Basura			Reciclables			Fracción Verde			
			f_B	f_R	f_V	M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	R_V (t/d)	V_V (m^3)	IC
1	3,24	135	6	1	1	9,64	6,11	3,05	0,48	8,55	37,54	1,79	4,26	28,96	1,38	3,37	33,41	1,59
2	1,79	117				12,37	7,84	3,91	0,62	10,97	48,15	2,29	5,47	37,14	1,77	4,33	42,85	2,04
3	1,12	84				7,02	4,45	2,22	0,35	6,23	27,35	1,30	3,11	21,09	1,00	2,46	24,34	1,16
4	3,31	142				6,94	4,40	2,19	0,35	6,15	27,02	1,29	3,07	20,85	0,99	2,43	24,05	1,15
5	1,83	166				7,75	4,91	2,45	0,39	6,87	30,18	1,44	3,43	23,28	1,11	2,71	26,86	1,28
6	2,22	105				5,80	3,68	1,83	0,29	5,15	22,60	1,08	2,57	17,43	0,83	2,03	20,11	0,96
7	1,61	115				10,34	6,55	3,27	0,52	9,17	40,25	1,92	4,57	31,05	1,48	3,62	35,82	1,71
8	2,95	113				9,42	5,97	2,98	0,47	8,36	36,70	1,75	4,17	28,31	1,35	3,30	32,66	1,56
9	1,63	83				4,99	3,16	1,58	0,25	4,43	19,43	0,93	2,21	14,99	0,71	1,75	17,30	0,82
10	6,87	123	2			3,24	2,05	1,02	0,16	8,61	37,80	1,80	1,43	9,72	0,97	1,13	11,21	0,53
11	3,21	78				3,14	1,99	0,99	0,16	8,36	36,73	1,75	1,39	9,44	0,94	1,10	10,89	0,52
12	2,67	143	6			7,27	4,61	2,30	0,36	6,45	28,31	1,35	3,22	21,84	1,04	2,54	25,20	1,20
18	2,91	172				9,70	6,15	3,07	0,49	8,61	37,79	1,80	4,29	29,15	1,39	3,40	33,63	1,60
19	1,98	122				7,14	4,53	2,26	0,36	6,33	27,79	1,32	3,16	21,44	1,02	2,50	24,73	1,18
20	3,99	174	2			3,41	2,16	1,08	0,17	9,07	39,81	1,90	1,51	10,24	1,02	1,19	11,81	0,56
21	4,43	118				3,35	2,12	1,06	0,17	8,90	39,08	1,86	1,48	10,05	1,00	1,17	11,59	0,55
22	4,32	151				3,92	2,49	1,24	0,20	10,43	45,81	2,18	1,73	11,78	1,18	1,37	13,59	0,65
23	1,23	119				3,06	1,94	0,97	0,15	8,14	35,74	1,70	1,35	9,19	0,92	1,07	10,60	0,50
24	2,41	81				4,47	2,83	1,41	0,22	11,89	52,20	2,49	1,98	13,42	1,34	1,56	15,48	0,74
25	2,89	132	6			7,54	4,78	2,38	0,38	6,68	29,35	1,40	3,33	22,64	1,08	2,64	26,12	1,24
26	5,13	167	2			2,97	1,88	0,94	0,15	7,90	34,69	1,65	1,31	8,92	0,89	1,04	10,29	0,49
27	2,12	79				4,73	3,00	1,49	0,24	12,58	55,23	2,63	2,09	14,20	1,42	1,65	16,38	0,78
28	2,73	132				5,01	3,17	1,58	0,25	13,32	58,47	2,78	2,21	15,03	1,50	1,75	17,35	0,83

Tabla 84 - *Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para cada cuadro de recolección para el año 2025.*

2025																			
# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Fcias. de			Residuos Generados				Residuos Recolectados									
										Basura			Reciclables			Fracción Verde			
			f_B	f_R	f_V	M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	R_V (t/d)	V_V (m^3)	IC
1	3,24	135	6	1	1	10,07	6,38	3,18	0,50	8,29	36,41	1,73	8,91	60,49	2,88	3,52	34,89	1,66
2	1,79	117				12,92	8,19	4,08	0,65	10,64	46,71	2,22	11,43	77,59	3,69	4,52	44,76	2,13
3	1,12	84				7,34	4,65	2,32	0,37	6,04	26,53	1,26	6,49	44,07	2,10	2,57	25,42	1,21
4	3,31	142				7,25	4,60	2,29	0,36	5,97	26,22	1,25	6,41	43,55	2,07	2,54	25,12	1,20
5	1,83	166				8,10	5,13	2,56	0,40	6,67	29,28	1,39	7,16	48,63	2,32	2,83	28,05	1,34
6	2,22	105				5,94	3,77	1,88	0,30	4,89	21,49	1,02	5,26	35,70	1,70	2,08	20,59	0,98
7	1,61	115				10,80	6,84	3,41	0,54	8,89	39,04	1,86	9,55	64,85	3,09	3,78	37,41	1,78
8	2,95	113				9,84	6,24	3,11	0,49	8,11	35,60	1,70	8,71	59,13	2,82	3,45	34,11	1,62
9	1,63	83				5,21	3,31	1,65	0,26	4,29	18,85	0,90	4,61	31,32	1,49	1,82	18,07	0,86
10	6,87	123	2			3,38	2,14	1,07	0,17	8,35	36,67	1,75	2,99	20,30	2,03	1,18	11,71	0,56
11	3,21	78				3,14	1,99	0,99	0,16	7,77	34,11	1,62	2,78	18,89	1,89	1,10	10,89	0,52
12	2,67	143	6			7,59	4,81	2,40	0,38	6,25	27,46	1,31	6,72	45,62	2,17	2,66	26,32	1,25
18	2,91	172				10,09	6,40	3,19	0,50	8,31	36,50	1,74	8,93	60,63	2,89	3,71	36,75	1,75
19	1,98	122				7,46	4,73	2,36	0,37	6,14	26,96	1,28	6,60	44,78	2,13	3,13	31,01	1,48
20	3,99	174	2			3,56	2,26	1,12	0,18	8,80	38,62	1,84	3,15	21,38	2,14	3,71	36,77	1,75
21	4,43	118				3,49	2,22	1,10	0,17	8,63	37,91	1,81	3,09	20,99	2,10	3,12	30,93	1,47
22	4,32	151				4,10	2,60	1,29	0,20	10,12	44,44	2,12	3,62	24,60	2,46	2,86	28,30	1,35
23	1,23	119				3,28	2,08	1,04	0,16	8,09	35,54	1,69	2,90	19,68	1,97	3,53	34,97	1,67
24	2,41	81				4,67	2,96	1,47	0,23	11,53	50,64	2,41	4,13	28,04	2,80	2,61	25,83	1,23
25	2,89	132	6			7,87	4,99	2,49	0,39	6,48	28,47	1,36	6,97	47,29	2,25	1,25	12,34	0,59
26	5,13	167	2			3,10	1,97	0,98	0,16	7,66	33,65	1,60	2,74	18,63	1,86	1,22	12,11	0,58
27	2,12	79				4,89	3,10	1,55	0,24	12,09	53,10	2,53	4,33	29,40	2,94	1,43	14,19	0,68
28	2,73	132				5,23	3,31	1,65	0,26	12,92	56,72	2,70	4,63	31,41	3,14	1,15	11,35	0,54

Tabla 86 - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para cada cuadro de recolección para el año 2030.

2030																			
# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Fcias. de rec.			Residuos Generados				Residuos Recolectados									
										Basura			Reciclables						
													JUEVES - SÁBADOS			MARTES			
			f_B	f_R	f_V	M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC
1	3,24	135	6	3	1	11,22	7,11	3,55	0,56	8,53	37,46	1,78	4,25	28,89	1,38	6,38	43,33	2,06
2	1,79	117				14,39	9,12	4,55	0,72	10,94	48,05	2,29	5,46	37,05	1,76	8,19	55,58	2,65
3	1,12	84				8,17	5,18	2,58	0,41	6,22	27,29	1,30	3,10	21,04	1,00	4,65	31,56	1,50
4	3,31	142				8,08	5,12	2,55	0,40	6,14	26,97	1,28	3,06	20,80	0,99	4,59	31,19	1,49
5	1,83	166				9,02	5,72	2,85	0,45	6,86	30,12	1,43	3,42	23,22	1,11	5,13	34,84	1,66
6	2,22	105				6,62	4,20	2,09	0,33	5,03	22,11	1,05	2,51	17,05	0,81	3,77	25,57	1,22
7	1,61	115				12,03	7,63	3,80	0,60	9,15	40,17	1,91	4,56	30,97	1,47	6,84	46,46	2,21
8	2,95	113				10,97	6,95	3,47	0,55	8,34	36,62	1,74	4,16	28,24	1,34	6,24	42,36	2,02
9	1,63	83				5,81	3,68	1,84	0,29	4,42	19,39	0,92	2,20	14,95	0,71	3,30	22,43	1,07
10	6,87	123	3			3,77	2,39	1,19	0,19	8,59	37,72	1,80	1,43	9,70	0,97	2,14	14,54	1,45
11	3,21	78				3,66	2,32	1,16	0,18	8,35	36,65	1,75	1,39	9,42	0,94	2,08	14,13	1,41
12	2,67	143	6			8,46	5,36	2,67	0,42	6,43	28,25	1,35	3,21	21,79	1,04	4,81	32,68	1,56
18	2,91	172				11,25	7,13	3,55	0,56	8,55	37,55	1,79	4,26	28,95	1,38	6,40	43,43	2,07
19	1,98	122				8,31	5,27	2,63	0,42	6,32	27,74	1,32	3,15	21,39	1,02	4,73	32,08	1,53
20	3,99	174	3			3,97	2,51	1,25	0,20	9,05	39,73	1,89	1,50	10,21	1,02	2,26	15,32	1,53
21	4,43	118				3,89	2,47	1,23	0,19	8,88	39,00	1,86	1,48	10,03	1,00	2,21	15,04	1,50
22	4,32	151				4,56	2,89	1,44	0,23	10,41	45,71	2,18	1,73	11,75	1,17	2,60	17,62	1,76
23	1,23	119				3,65	2,31	1,15	0,18	8,33	36,57	1,74	1,38	9,40	0,94	2,08	14,10	1,41
24	2,41	81				5,20	3,30	1,64	0,26	11,86	52,09	2,48	1,97	13,39	1,34	2,96	20,08	2,01
25	2,89	132	6			8,77	5,56	2,77	0,44	6,67	29,29	1,39	3,33	22,58	1,08	4,99	33,87	1,61
26	5,13	167	3			3,46	2,19	1,09	0,17	7,88	34,62	1,65	1,31	8,90	0,89	1,97	13,35	1,33
27	2,12	79				5,45	3,46	1,72	0,27	12,44	54,63	2,60	2,07	14,04	1,40	3,10	21,06	1,00
28	2,73	132				5,83	3,69	1,84	0,29	13,29	58,35	2,78	2,21	15,00	1,50	3,31	22,50	2,25

Tabla 87- Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para cada cuadro de recolección para el año 2040.

2040																			
# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Fcias. de			Residuos Generados				Residuos Recolectados									
										Basura			Reciclables						
													SÁBADOS			MARTES			
			f_B	f_R	f_V	M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC
1	3,24	135	6	3	1	13,67	8,66	4,32	0,68	9,53	41,84	1,99	6,91	46,91	2,23	10,36	70,37	3,35
2	1,79	117				17,53	11,11	5,54	0,88	12,22	53,67	2,56	8,86	60,18	2,87	13,29	90,26	4,30
3	1,12	84				9,96	6,31	3,15	0,50	6,94	30,48	1,45	5,03	34,17	1,63	7,55	51,26	2,44
4	3,31	142				9,84	6,24	3,11	0,49	6,86	30,12	1,43	4,97	33,77	1,61	7,46	50,66	2,41
5	1,83	166				10,99	6,97	3,47	0,55	7,66	33,64	1,60	5,56	37,72	1,80	8,33	56,58	2,69
6	2,22	105				8,06	5,11	2,55	0,40	5,62	24,69	1,18	4,08	27,68	1,32	6,12	41,53	1,98
7	1,61	115				14,65	9,29	4,63	0,73	10,22	44,86	2,14	7,41	50,30	2,40	11,11	75,45	3,59
8	2,95	113				13,36	8,47	4,22	0,67	9,31	40,90	1,95	6,75	45,86	2,18	10,13	68,79	3,28
9	1,63	83				7,08	4,49	2,24	0,35	4,93	21,66	1,03	3,58	24,29	1,16	5,37	36,43	1,73
10	6,87	123	3			4,59	2,91	1,45	0,23	9,59	42,13	2,01	2,32	15,75	1,57	3,48	23,62	2,36
11	3,21	78				4,46	2,83	1,41	0,22	9,32	40,93	1,95	2,25	15,30	1,53	3,38	22,95	2,29
12	2,67	143	6			10,31	6,53	3,26	0,52	7,19	31,55	1,50	5,21	35,38	1,68	7,82	53,07	2,53
18	2,91	172				13,70	8,68	4,33	0,68	9,55	41,93	2,00	6,93	47,02	2,24	10,39	70,53	3,36
19	1,98	122				10,12	6,41	3,20	0,51	7,05	30,98	1,48	5,12	34,73	1,65	7,67	52,10	2,48
20	3,99	174	3			4,83	3,06	1,53	0,24	10,11	44,37	2,11	2,44	16,58	1,66	3,66	24,88	2,49
21	4,43	118				4,74	3,01	1,50	0,24	9,92	43,56	2,07	2,40	16,28	1,63	3,60	24,42	2,44
22	4,32	151				5,56	3,52	1,76	0,28	11,63	51,05	2,43	2,81	19,08	1,91	4,22	28,62	2,86
23	1,23	119				4,45	2,82	1,41	0,22	9,30	40,84	1,94	2,25	15,26	1,53	3,37	22,90	2,29
24	2,41	81				6,33	4,02	2,00	0,32	13,25	58,18	2,77	3,20	21,74	2,17	4,80	32,62	3,26
25	2,89	132	6			10,68	6,77	3,38	0,53	7,45	32,71	1,56	5,40	36,68	1,75	8,10	55,01	2,62
26	5,13	167	3			4,21	2,67	1,33	0,21	8,80	38,66	1,84	2,13	14,45	1,44	3,19	21,67	2,17
27	2,12	79				6,64	4,21	2,10	0,33	13,89	61,01	2,91	3,36	22,80	2,28	5,04	34,20	1,63
28	2,73	132				7,10	4,50	2,24	0,35	14,84	65,17	3,10	3,59	24,36	2,44	5,38	36,54	3,65

***Tabla 88** - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para cada cuadro de recolección para el año 2052.*

2052																		
# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Fcias. de			Residuos Generados				Residuos Recolectados								
										Basura			Reciclables					
													SÁBADOS			*MARTES*		
			f_B	f_R	f_V	M_D (t/d)	M_{DB} (t/d)	M_{DR} (t/d)	M_{DV} (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	IC
1	3,24	135	6	3	1	17,31	10,98	5,47	0,87	12,07	53,01	2,52	8,75	59,43	2,83	13,13	89,15	4,25
2	1,79	117				22,21	14,08	7,02	1,11	15,48	67,99	3,24	11,23	76,24	3,63	16,84	114,36	5,45
3	1,12	84				12,61	8,00	3,99	0,63	8,79	38,61	1,84	6,38	43,30	2,06	9,57	64,95	3,09
4	3,31	142				12,47	7,90	3,94	0,62	8,69	38,16	1,82	6,30	42,79	2,04	9,45	64,18	3,06
5	1,83	166				13,92	8,83	4,40	0,70	9,71	42,62	2,03	7,04	47,79	2,28	10,56	71,68	3,41
6	2,22	105				10,22	6,48	3,23	0,51	7,12	31,28	1,49	5,17	35,07	1,67	7,75	52,61	2,51
7	1,61	115				18,56	11,77	5,87	0,93	12,94	56,83	2,71	9,39	63,72	3,03	14,08	95,59	4,55
8	2,95	113				16,93	10,73	5,35	0,85	11,80	51,82	2,47	8,56	58,10	2,77	12,84	87,15	4,15
9	1,63	83				8,96	5,68	2,83	0,45	6,25	27,44	1,31	4,53	30,77	1,47	6,80	46,16	2,20
10	6,87	123	3			5,81	3,68	1,84	0,29	12,16	53,37	2,54	2,94	19,95	1,99	4,41	29,92	2,99
11	3,21	78				5,65	3,58	1,78	0,28	11,81	51,86	2,47	2,85	19,38	1,94	4,28	29,07	2,91
12	2,67	143				13,06	8,28	4,13	0,65	9,10	39,98	1,90	6,60	44,83	2,13	9,90	67,24	3,20
18	2,91	172	6			17,35	11,00	5,48	0,87	12,10	53,13	2,53	8,77	59,57	2,84	13,16	89,36	4,26
19	1,98	122				12,82	8,13	4,05	0,64	8,94	39,24	1,87	6,48	44,00	2,10	9,72	66,01	3,14
20	3,99	174	3			6,12	3,88	1,93	0,31	12,80	56,22	2,68	3,09	21,01	2,10	4,64	31,52	3,15
21	4,43	118				6,01	3,81	1,90	0,30	12,57	55,19	2,63	3,04	20,63	2,06	4,56	30,94	3,09
22	4,32	151				7,04	4,47	2,23	0,35	14,73	64,68	3,08	3,56	24,18	2,42	5,34	36,26	3,63
23	1,23	119				5,63	3,57	1,78	0,28	11,78	51,74	2,46	2,85	19,34	1,93	4,27	29,01	2,90
24	2,41	81				8,03	5,09	2,54	0,40	16,79	73,71	3,51	4,06	27,55	2,75	6,09	41,32	4,13
25	2,89	132	6			13,54	8,58	4,28	0,68	9,44	41,44	1,97	6,84	46,47	2,21	10,27	69,70	3,32
26	5,13	167	3			5,33	3,38	1,69	0,27	11,15	48,98	2,33	2,70	18,31	1,83	4,04	27,46	2,75
27	2,12	79				8,42	5,34	2,66	0,42	17,60	77,29	3,68	4,26	28,89	1,38	6,38	43,33	2,06
28	2,73	132				8,99	5,70	2,84	0,45	18,80	82,57	3,93	4,55	30,86	3,09	6,82	46,29	4,63

SISTEMA CONTENERIZADO

Para el esquema de contenerización (cuadros 13 al 17), además de validar lo generado y recolectado domiciliariamente, en función de las unidades de recolección, se consideró la generación comercial. Además, se calculó el porcentaje de ocupación de los contenedores, a fin de observar la capacidad adoptada. Tal como se comentó en el correspondiente apartado, en el año 2025, se propone establecer un sistema de recolección exclusivo para los comercios del área central a cargo de la cooperativa. De esta manera en las *tablas 89, 90, 91, 92 y 93* se pueden validar estos resultados referentes a los diferentes años de aplicación del plan, a partir de las expresiones desarrolladas debajo.

p_{Bi}: % de ocupación de los contenedores de basura el día de recolección i.

$$p_{Bi} = \frac{V_{Bi}}{K} * 100\%$$

p_{Ri}: % de ocupación de los contenedores de reciclables el día de recolección i.

$$p_{Ri} = \frac{V_{Ri}}{K} * 100\%$$

K: capacidad volumétrica de los contenedores. K=2,4 m^3

$M_{Ci(A)}$: Residuos comerciales totales generados diariamente en el cuadro i, en el año A.
$M_{CBi(A)}$: Basura comerciales generada en el cuadro i por día, en el año A.
$M_{CRi(A)}$: Residuos comerciales generados en el cuadro i por día.

Tabla 89 - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para los cuadros contenerizados para el año 2023, considerando dos unidades por cuadro.

2023																					
	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección			Residuos Generados				Residuos Recolectados									
												Basura					Reciclables				
					f_B	f_R	f_V	M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Comercial								33,92	21,14	9,77	-	31,78					15,01				
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	1	1	10,15	7,02	3,50	0,55	15,36	33,72	0,14	6%	1,61	7,49	25,44	0,10	4%	1,21
	14	1,46	121	484				8,57	6,77	3,38	0,53	13,95	30,63	0,13	5%	1,46	6,79	23,06	0,10	4%	1,10
	15	1,23	88	352				10,16	7,13	3,55	0,56	15,36	33,73	0,19	8%	1,61	7,49	25,44	0,14	6%	1,21
	16	1,22	98	392				8,39	4,82	2,40	0,38	13,79	30,28	0,15	6%	1,44	6,71	22,78	0,12	5%	1,08
	17	1,38	75	300				7,92	5,71	2,85	0,45	13,38	29,37	0,20	8%	1,40	6,51	22,08	0,15	6%	1,05

Tabla 90 - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para los cuadros contenerizados para el año 2025.

2025																					
	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección			Residuos Generados				Residuos Recolectados									
												Basura					Reciclables				
					f_B	f_R	fV	M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	1	1	10,61	6,72	3,35	0,53	14,48	31,79	0,13	5%	1,51	9,38	31,86	0,13	5%	1,52
	14	1,46	121	484				8,95	5,67	2,83	0,45	13,11	28,79	0,12	5%	1,37	7,92	26,88	0,11	5%	1,28
	15	1,23	88	352				10,61	6,73	3,35	0,53	14,48	31,79	0,18	8%	1,51	9,39	31,87	0,18	8%	1,52
	16	1,22	98	392				8,93	5,66	2,82	0,45	13,09	28,75	0,15	6%	1,37	7,90	26,81	0,14	6%	1,28
	17	1,38	75	300				8,17	5,18	2,58	0,41	12,47	27,37	0,18	8%	1,30	7,23	24,53	0,16	7%	1,17

Tabla 91 - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para los cuadros contenerizados para el año 2030.

	2030																										
	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección			Residuos Generados				s Recolectados															
												Basura					Reciclables										
																	LUNES - MIERCOLES					*SÁBADO*					
					f_B	f_R	f_V	M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	3	1	11,82	7,49	3,73	0,59	15,39	33,78	0,14	6%	1,61	4,48	15,21	0,06	3%	0,72	6,72	22,82	0,09	4%	1,09
	14	1,46	121	484				9,97	6,32	3,15	0,50	13,98	30,70	0,13	5%	1,46	3,78	12,84	0,05	2%	0,61	5,67	19,25	0,08	3%	0,92
	15	1,23	88	352				11,82	7,50	3,74	0,59	15,39	33,78	0,19	8%	1,61	4,48	15,22	0,09	4%	0,72	6,72	22,83	0,13	5%	1,09
	16	1,22	98	392				9,95	6,31	3,14	0,50	13,96	30,65	0,16	7%	1,46	3,77	12,80	0,07	3%	0,61	5,66	19,20	0,10	4%	0,91
	17	1,38	75	300				9,10	5,77	2,88	0,45	13,32	29,24	0,19	8%	1,39	3,45	11,71	0,08	3%	0,56	5,18	17,57	0,12	5%	0,84

Tabla 92 - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para los cuadros contenerizados para el año 2040.

	2040																										
	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección			Residuos Generados				s Recolectados															
												Basura					Reciclables										
																	LUNES - MIERCOLES					*SÁBADO*					
					f_B	f_R	f_V	M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R (t/d)	V_R (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	3	1	14,39	9,13	4,55	0,72	17,22	37,81	0,15	6%	1,80	5,46	18,53	0,07	3%	0,88	10,92	37,06	0,15	6%	1,76
	14	1,46	121	484				12,15	7,70	3,84	0,61	15,65	34,37	0,14	6%	1,64	4,61	15,63	0,06	3%	0,74	9,21	31,27	0,13	5%	1,49
	15	1,23	88	352				14,40	9,13	4,55	0,72	17,23	37,82	0,21	9%	1,80	5,46	18,54	0,11	4%	0,88	10,92	37,07	0,21	9%	1,77
	16	1,22	98	392				12,11	7,68	3,83	0,61	15,63	34,32	0,18	7%	1,63	4,59	15,59	0,08	3%	0,74	9,19	31,19	0,16	7%	1,49
	17	1,38	75	300				11,08	7,03	3,50	0,55	14,91	32,74	0,22	9%	1,56	4,20	14,27	0,10	4%	0,68	8,41	28,53	0,19	8%	1,36

Tabla 93 - Área, cantidad de manzanas, frecuencias de recolección, residuos generados diariamente y residuos a recolectar por día de recolección e índice de compactación para los cuadros contenerizados para el año 2052.

	2052																										
	# Cuadro	Área (Km^2)	Manzanas	Contenedores	Fcias. de recolección			Residuos Generados				s Recolectados															
												Basura					Reciclables										
																	LUNES - MIERCOLES					*SÁBADO*					
					f_B	f_R	f_V	M (t/d)	M_B (t/d)	M_R (t/d)	M_V (t/d)	R_B (t/d)	V_B (m^3)	V_{pcont} (m^3)	p	IC	R_R	V_R	V_{pcont}	p	IC	R_R	V_R	V_{pcont}	p	IC
Domiciliario	13	2,54	124	496	7	3	1	18,24	11,56	5,76	0,91	21,82	47,91	0,19	8%	2,28	6,92	23,48	0,09	4%	1,12	13,83	46,95	0,19	8%	2,24
	14	1,46	121	484				15,39	9,76	4,86	0,77	19,83	43,54	0,18	7%	2,07	5,83	19,81	0,08	3%	0,94	11,67	39,62	0,16	7%	1,89
	15	1,23	88	352				18,24	11,57	5,76	0,91	21,82	47,91	0,27	11%	2,28	6,92	23,48	0,13	6%	1,12	13,84	46,97	0,27	11%	2,24
	16	1,22	98	392				15,35	9,73	4,85	0,77	19,81	43,48	0,22	9%	2,07	5,82	19,76	0,10	4%	0,94	11,64	39,52	0,20	8%	1,88
	17	1,38	75	300				14,04	8,90	4,44	0,70	18,89	41,48	0,28	12%	1,98	5,32	18,07	0,12	5%	0,86	10,65	36,15	0,24	10%	1,72

MEMORIA DE CÁLCULO DEL CAPÍTULO 3 – DISEÑO DEL CCAMR.

FLUJO DE INGRESO DE MATERIAL AL CCAMR

El flujo de materiales que ingresan al CCAMR, se calculó partiendo del esquema de recolección para materiales reciclables planteado en el apartado 3.3.B, en donde se tendrá una frecuencia semanal de recolección de estos materiales, dividida en dos días a la semana (miércoles para puerta a puerta y sábado para contenerización), hasta el 2030 y luego una frecuencia 3, para ambos sistemas de recolección, generando una descarga 5 días a la semana (lunes, martes, miércoles, jueves y sábados). A partir de las ecuaciones que se despliegan a continuación, se calculó el flujo de ingreso de residuos reciclables al CCAMR, los diferentes días de la semana por cada año de implementación del plan GIRSU.

m_d: flujo de material que ingresa al CCAMR en t/d el día d.

i: número de cuadro

p_d: representación porcentual del flujo de material que ingresa al CCAMR en t/d el día d.

2023

$$m_{miercoles} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2023)} = 35{,}00\ t/d$$

$$p_{miercoles} = \frac{m_{miércoles}}{m_{miércoles} + m_{sábados}} * 100\% = 35{,}58\%$$

$$m_{sábado} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2023)} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2023)} = 63{,}36\ t/d$$

$$p_{sábados} = \frac{m_{sábados}}{m_{miércoles} + m_{sábados}} * 100\% = 64{,}42\%$$

2025

$$m_{miercoles} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2025)} = 88{,}84\ t/d$$

$$p_{miercoles} = \frac{m_{miércoles}}{m_{miércoles} + m_{sábados}} * 100\%40{,}21\%$$

$$m_{sábado} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2025)} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2025)} = 132{,}12\ t/d$$

$$p_{sábados} = \frac{m_{sábados}}{m_{miércoles} + m_{sábados}} * 100\% = 59{,}79\%$$

2030

$$m_{lunes} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2030)}^{lunes} = 34{,}94\ t/día$$

$$p_{lunes} = \frac{m_{lunes}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 10{,}18\%$$

$$m_{martes} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2030)}^{martes} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2030)}^{martes} = 94{,}72\ t/d$$

$$p_{martes} = \frac{m_{martes}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\%100\% = 27{,}59\%$$

$$m_{miercoles} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2030)}^{miercoles} = 34{,}94\ t/d$$

$$p_{miercoles} = \frac{m_{miércoles}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 10{,}18\%$$

$$m_{jueves} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2030)}^{jueves} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2030)}^{jueves} = 63{,}15\ t/d$$

$$p_{jueves} = \frac{m_{jueves}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 18{,}39\%$$

$$m_{sábado} = \sum_{i=1}^{28} R_{R(2030)}^{sábado} = 115{,}56\ t/d$$

$$p_{sábados} = \frac{m_{sábados}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 33{,}66\%$$

2040

$$m_{lunes} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2040)}^{lunes} = 48{,}63\ t/d$$

$$p_{lunes} = \frac{m_{lunes}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 8{,}98\%$$

$$m_{martes} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2040)}^{martes} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2040)}^{martes} = 153{,}84\ t/d$$

$$p_{martes} = \frac{m_{martes}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 28{,}42\%$$

$$m_{miercoles} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2040)}^{miercoles} = 48{,}63\ t/d$$

$$p_{miercoles} = \frac{m_{miércoles}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 8{,}98\%$$

$$m_{jueves} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2040)}^{jueves} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2040)}^{jueves} = 102{,}56\ t/d$$

$$p_{jueves} = \frac{m_{jueves}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 18{,}95\%$$

$$m_{sábado} = \sum_{i=1}^{28} R_{R(2040)}^{sábado} = 187{,}67\ t/d$$

$$p_{sábados} = \frac{m_{sábados}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 34{,}67\%$$

2052

$$m_{lunes} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2052)}^{lunes} = 61{,}62\ t/d$$

$$p_{lunes} = \frac{m_{lunes}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 8{,}98\%$$

$$m_{martes} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2052)}^{martes} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2052)}^{martes} = 194{,}90\ t/d$$

$$p_{martes} = \frac{m_{martes}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 28{,}42\%$$

$$m_{miercoles} = \sum_{i=13}^{17} R_{R(2052)}^{miercoles} = 61{,}62\ t/d$$

$$p_{miercoles} = \frac{m_{miércoles}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 8{,}98\%$$

$$m_{jueves} = \sum_{i=1}^{12} R_{R(2052)}^{jueves} + \sum_{i=18}^{28} R_{R(2052)}^{jueves} = 129{,}94\ t/d$$

$$p_{jueves} = \frac{m_{jueves}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 18{,}95\%$$

$$m_{sábado} = \sum_{i=1}^{28} R_{R(2052)}^{sábado} = 237{,}77\ t/d$$

$$p_{sábados} = \frac{m_{sábados}}{m_{lunes} + m_{martes} + m_{miércoles} + m_{jueves} + m_{sábados}} * 100\% = 34{,}67\%$$

PRODUCTIVIDAD DE PLANTA

Capacidad de la Cinta Transportadora = 6 – 10 t/h

Jornadas laborales de 10 h => Productividad potencial = 60 – 100 t/d

Experiencias relevadas:

- Cooperativa El Ceibo
  Productividad = 30 t/d
  Dotación = 80 trabajadores

$$\text{Tasa de recuperación de material} = \frac{Productividad}{Dotación} = \frac{30\frac{t}{d}}{80\ trabajodres} = 0{,}375\ \frac{t}{trabajador\ x\ d}$$

- Cooperativa El Álamo
  Productividad = 400 t/mes
  Dotación = 160 trabajadores

$$\text{Tasa de recuperación de material} = \frac{Productividad}{Dotación} = \frac{400\frac{t}{mes}}{80\ trabajodres * 22\frac{d}{mes}} = 0{,}113\ \frac{t}{trabajador\ x\ d}$$

- Relevamiento CEMPRE (2018)

$$\text{Tasa de recuperación de material} = 0{,}095\ \frac{t}{trabajador\ x\ d}$$

CCAMR CIUDAD DE LA RIOJA:

Dotación de personal por planta = 85 trabajadores

Jornadas laborales de 5 horas en 2 turnos

$$Tasa\ de\ recuperación = \frac{0{,}375 + 0{,}113 + 0{,}095}{3}\ \frac{t}{trabajador\ x\ d} = 0{,}195\frac{t}{trabajador\ x\ d}$$

ς: Capacidad de tratamiento de cada planta (t/d)

$$\boldsymbol{\varsigma} = 0{,}195\ \frac{t}{trabajador\ x\ d} * 85\ trabajdores = 16{,}55\ t/d$$

DINÁMICA DE INGRESO Y CLASIFICACIÓN DE CADA PLANTA

m_d: material descargado en el CCAMR el día d
I_d : material que ingresa en cada planta el día d
n: cantidad de plantas en funcionamiento.

$I_d = m_d/n$ => $I_d^{2023} = \frac{m_d}{1}$ $I_d^{2025} = \frac{m_d}{2}$ $I_d^{2030} = \frac{m_d}{3}$ $I_d^{2040} = \frac{m_d}{4}$ $I_d^{2052} = \frac{m_d}{4}$

ζ: Residuos en planta al finalizar la jornada laboral.

$\zeta = (I_d + \zeta_{d-1}) - \varsigma$ siendo d = lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado

Aplicando esta ecuación para cada día y para los distintos años de aplicación de cada etapa del plan GIRSU, se construyó la *tabla 94*, para validar que las plantas no colapsen en su capacidad.

Tabla 94 - Flujo de ingreso de materiales a las plantas del CCAMR, para cada día de la semana. m_d: material descargado en el CCAMR el día d ; l_d : material que ingresa en cada planta el día d; *n: cantidad de plantas en funcionamiento.*

		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb
2023	m (t/d)			35,00			63,36			35,00			63,36			35,00			63,36			35,00			63,36
	l (t/día)			35,00			63,36			35,00			63,36			35,00			63,36			35,00			63,36
	ζ (t/d)			35,00	18,45	0,00	46,81	30,26	0,00	18,45	0,00	0,00	46,81	30,26	0,00	18,45	0,00	0,00	46,81	30,26	0,00	18,45	0,00	0,00	46,81
2025	m (t/d)			88,84			132,12			88,84			132,12			88,84			132,12			88,84			132,12
	l (t/día)			44,42			66,06			44,42			66,06			44,42			66,06			44,42		0,00	66,06
	ζ (t/d)			44,42	27,87	0,00	49,51	32,96	0,00	0,00	0,00	0,00	49,51	32,96	0,00	0,00	0,00	0,00	49,51	32,96	0,00	0,00	0,00	0,00	49,51
2030	m (t/d)	34,94	94,72	34,94	63,14982		115,56	34,938	94,7247	34,94	63,1498		115,56	34,938	94,7247	34,94	63,1498		115,56	34,938	94,7247	34,94	63,1498		115,56
	l (t/día)	11,65	31,57	11,65	21,05	0,00	38,52	11,65	31,57	11,65	21,05	0,00	38,52	11,65	31,57	11,65	21,05	0,00	38,52	11,65	31,57	11,65	21,05	0,00	38,52
	ζ (t/d)	11,65	26,67	21,77	26,27	0,00	21,97	17,07	32,09	27,19	31,69	0,00	21,97	17,07	32,09	27,19	31,69	0,00	21,97	17,07	32,09	27,19	31,69	0,00	21,97
2040	m (t/d)	61,62	194,90	61,62	129,94		237,77	61,6166	194,903	61,62	129,936		237,77	61,6166	194,903	61,62	129,936		237,77	61,6166	194,903	61,62	129,936		237,77
	l (t/día)	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44
	ζ (t/d)	15,40	47,58	46,44	62,37	0,00	42,89	0,00	32,18	31,03	46,97	0,00	42,89	0,00	32,18	31,03	46,97	0,00	42,89	0,00	32,18	31,03	46,97	0,00	42,89
2052	m (t/d)	61,62	194,90	61,62	129,94		237,77	61,6166	194,903	61,62	129,936		237,77	61,6166	194,903	61,62	129,936		237,77	61,6166	194,903	61,62	129,936		237,77
	l (t/día)	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44	15,40	48,73	15,40	32,48	0,00	59,44
	ζ (t/d)	15,40	47,58	46,44	62,37	0,00	42,89	0,00	32,18	31,03	46,97	0,00	42,89	0,00	32,18	31,03	46,97	0,00	42,89	0,00	32,18	31,03	46,97	0,00	42,89

ÁREA DE DESCARGA

Para el cálculo del área de descarga, se consideró el volumen de residuos provenientes de cada ruta de recolección y con la ayuda de maquinaria complementaria, los residuos quedan acomodados en pilas que asemejan pirámides de 1 metros de altura cada pila. A partir de las expresiones descriptas a continuación se calculó el área de descarga necesaria para cada ruta. Esto se replicó para cada año de implementación del plan propuesto y teniendo en cuenta la cantidad de plantas en marcha. Los resultados, se pueden validar en las *tablas 95, 96 y 97.*

$$V_{pirámide} = \frac{A_{base} * h}{3} \Rightarrow A_{base} = \frac{3 * V_{pirámide}}{h}$$

$R_{R(i)}$: Residuos Reciclables recolectados en el cuadro i en el día de recolección.

$V_{R(i)}$: Volumen de los residuos recolectados en el cuadro i por día de recolección.

$A_{(i)}$: Área de descarga necesaria para los residuos reciclables recolectados en el cuadro i por día de recolección.

PE_{RR} : Peso Específico de los Residuos Reciclables = 0,1473 t/m^3

$$V_{R(i)} = \frac{R_{R(i)}}{PE_{RR}} = \frac{R_{R(i)}}{0{,}1473\ t/m^3} \qquad A_{(i)} = \frac{3 * V_{R(i)}}{1\ m}$$

Tabla 95 - Cálculo del área de descarga de los residuos reciclables recolectados, considerando un ordenamiento de los mismos en pirámides de 2 m de altura, para los cuadros de recolección puerta a puerta y día de recolección para los años 2023 y 2025.

# Cuadro	2023			2025		
	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)
1	4,26	28,96	43,43	8,91	60,49	90,73
2	5,47	37,14	55,71	11,43	77,59	116,39
3	3,11	21,09	31,64	6,49	44,07	66,10
4	3,07	20,85	31,27	6,41	43,55	65,32
5	3,43	23,28	34,92	7,16	48,63	72,95
6	2,57	17,43	26,15	5,26	35,70	53,54
7	4,57	31,05	46,57	9,55	64,85	97,28
8	4,17	28,31	42,46	8,71	59,13	88,70
9	2,21	14,99	22,49	4,61	31,32	46,97
10	1,43	9,72	14,58	2,99	20,30	30,45
11	1,39	9,44	14,16	2,78	18,89	28,33
12	3,22	21,84	32,76	6,72	45,62	68,43
18	4,29	29,15	43,72	8,93	60,63	90,94
19	3,16	21,44	32,16	6,60	44,78	67,18
20	1,51	10,24	15,36	3,15	21,38	32,08
21	1,48	10,05	15,07	3,09	20,99	31,49
22	1,73	11,78	17,67	3,62	24,60	36,91
23	1,35	9,19	13,79	2,90	19,68	29,52
24	1,98	13,42	20,13	4,13	28,04	42,06
25	3,33	22,64	33,96	6,97	47,29	70,93
26	1,31	8,92	13,38	2,74	18,63	27,95
27	2,09	14,20	21,30	4,33	29,40	44,10
28	2,21	15,03	22,55	4,63	31,41	47,11

Tabla 96 - Cálculo del área de descarga de los residuos reciclables recolectados, considerando un ordenamiento de los mismos en pirámides de 2 m de altura, para los cuadros de recolección puerta a puerta y día de recolección para los años 2030, 2040 y 2052.

# Cuadro	2030						2040						2052					
	JUEVES - SÁBADOS			*MARTES*			*JUEVES - SÁBADOS*			*MARTES*			*SÁBADOS*			*MARTES*		
	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)
1	4,25	28,89	43,33	6,38	43,33	64,99	6,91	46,91	70,37	10,36	70,37	105,55	8,75	59,43	89,15	13,13	89,15	133,73
2	5,46	37,05	55,58	8,19	55,58	83,37	8,86	60,18	90,26	13,29	90,26	135,39	11,23	76,24	114,36	16,84	114,36	171,54
3	3,10	21,04	31,56	4,65	31,56	47,35	5,03	34,17	51,26	7,55	51,26	76,89	6,38	43,30	64,95	9,57	64,95	97,42
4	3,06	20,80	31,19	4,59	31,19	46,79	4,97	33,77	50,66	7,46	50,66	75,99	6,30	42,79	64,18	9,45	64,18	96,27
5	3,42	23,22	34,84	5,13	34,84	52,25	5,56	37,72	56,58	8,33	56,58	84,86	7,04	47,79	71,68	10,56	71,68	107,52
6	2,51	17,05	25,57	3,77	25,57	38,35	4,08	27,68	41,53	6,12	41,53	62,29	5,17	35,07	52,61	7,75	52,61	78,92
7	4,56	30,97	46,46	6,84	46,46	69,68	7,41	50,30	75,45	11,11	75,45	113,17	9,39	63,72	95,59	14,08	95,59	143,38
8	4,16	28,24	42,36	6,24	42,36	63,53	6,75	45,86	68,79	10,13	68,79	103,18	8,56	58,10	87,15	12,84	87,15	130,73
9	2,20	14,95	22,43	3,30	22,43	33,65	3,58	24,29	36,43	5,37	36,43	54,65	4,53	30,77	46,16	6,80	46,16	69,23
10	1,43	9,70	14,54	2,14	14,54	21,82	2,32	15,75	23,62	3,48	23,62	35,43	2,94	19,95	29,92	4,41	29,92	44,89
11	1,39	9,42	14,13	2,08	14,13	21,20	2,25	15,30	22,95	3,38	22,95	34,42	2,85	19,38	29,07	4,28	29,07	43,61
12	3,21	21,79	32,68	4,81	32,68	49,02	5,21	35,38	53,07	7,82	53,07	79,61	6,60	44,83	67,24	9,90	67,24	100,86
18	4,26	28,95	43,43	6,40	43,43	65,14	6,93	47,02	70,53	10,39	70,53	105,79	8,77	59,57	89,36	13,16	89,36	134,04
19	3,15	21,39	32,08	4,73	32,08	48,12	5,12	34,73	52,10	7,67	52,10	78,15	6,48	44,00	66,01	9,72	66,01	99,01
20	1,50	10,21	15,32	2,26	15,32	22,98	2,44	16,58	24,88	3,66	24,88	37,32	3,09	21,01	31,52	4,64	31,52	47,28
21	1,48	10,03	15,04	2,21	15,04	22,56	2,40	16,28	24,42	3,60	24,42	36,63	3,04	20,63	30,94	4,56	30,94	46,41
22	1,73	11,75	17,62	2,60	17,62	26,44	2,81	19,08	28,62	4,22	28,62	42,93	3,56	24,18	36,26	5,34	36,26	54,40
23	1,38	9,40	14,10	2,08	14,10	21,15	2,25	15,26	22,90	3,37	22,90	34,34	2,85	19,34	29,01	4,27	29,01	43,51
24	1,97	13,39	20,08	2,96	20,08	30,13	3,20	21,74	32,62	4,80	32,62	48,93	4,06	27,55	41,32	6,09	41,32	61,99
25	3,33	22,58	33,87	4,99	33,87	50,81	5,40	36,68	55,01	8,10	55,01	82,52	6,84	46,47	69,70	10,27	69,70	104,55
26	1,31	8,90	13,35	1,97	13,35	20,02	2,13	14,45	21,67	3,19	21,67	32,51	2,70	18,31	27,46	4,04	27,46	41,19
27	2,07	14,04	21,06	3,10	21,06	31,59	3,36	22,80	34,20	5,04	34,20	51,31	4,26	28,89	43,33	6,38	43,33	65,00
28	2,21	15,00	22,50	3,31	22,50	33,75	3,59	24,36	36,54	5,38	36,54	54,80	4,55	30,86	46,29	6,82	46,29	69,43

Tabla 97 - Cálculo del área de descarga de los residuos reciclables recolectados, considerando un ordenamiento de los mismos en pirámides de 2 m de altura, para los cuadros contenerizados y día de recolección para los años 2030, 2040 y 2052.

	# Cuadro	2023			2025			2030					
								LUNES - MIERCOLES			*SÁBADO*		
		R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)	R_R (t/d)	V_R (m^3)	A (m^2)
Com.		15,01			47,02			14,97			22,46		
Domiciliario	13	7,49	50,88	76,31	18,79	127,57	191,35	7,48	50,75	76,13	11,21	76,13	114,20
	14	6,79	46,11	69,17	17,32	117,61	176,41	6,78	46,00	69,00	10,16	69,00	103,50
	15	7,49	50,89	76,33	18,79	127,59	191,38	7,48	50,76	76,15	11,22	76,15	114,22
	16	6,71	45,57	68,35	17,30	117,47	176,21	6,77	45,93	68,90	10,15	68,90	103,35
	17	6,51	44,17	66,25	16,63	112,91	169,36	6,44	43,75	65,63	9,67	65,63	98,45
		2040						2052					
Com.		24,31			36,47			30,80			46,21		
Domiciliario	13	10,32	70,07	105,11	18,21	123,64	185,46	13,08	88,78	133,17	23,07	156,65	234,97
	14	9,47	64,28	96,42	16,50	112,06	168,09	12,00	81,44	122,16	20,91	141,97	212,96
	15	10,32	70,09	105,13	18,21	123,66	185,49	13,08	88,79	133,19	23,08	156,68	235,01
	16	9,46	64,20	96,30	16,48	111,90	167,85	11,98	81,34	122,01	20,88	141,77	212,66
	17	9,07	61,55	92,32	15,70	106,59	159,88	11,49	77,98	116,96	19,89	135,04	202,56

A partir de las áreas estimadas para cada cuadro de recolección y en función de los respectivos esquemas, utilizando las expresiones descriptas a continuación, se construyó la *tabla 98*, en donde se detalla el área de descarga necesaria por día de la semana y por etapa del plan.

$A_{d(x)}$: Área ocupada en cada planta por los residuos recolectados del día d en el año x.

n: Número de plantas en funcionamiento.

i: n° del cuadro de recolección

$$A_{lunes(x)} = \frac{1}{n}\sum_{i=13}^{17} A_{D(i)}^{lunes} = \frac{1}{2}\sum_{i=13}^{17} A_{D(i)}^{lunes}$$

$$A_{martes(x)} = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{12} A_{D(i)}^{martes} + \sum_{i=18}^{28} A_{D(i)}^{martes}\right) = \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{12} A_{D(i)}^{martes} + \sum_{i=18}^{28} A_{D(i)}^{martes}\right)$$

$$A_{miércoles(x)} = \frac{1}{n}\sum_{i=13}^{17} A_{D(i)}^{miércoles} = \frac{1}{2}\sum_{i=13}^{17} A_{D(i)}^{miércoles}$$

$$A_{jueves(x)} = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{12} A_{D(i)}^{jueves} + \sum_{i=18}^{28} A_{D(i)}^{jueves}\right) = \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{12} A_{D(i)}^{jueves} + \sum_{i=18}^{28} A_{D(i)}^{jueves}\right)$$

$$A_{sábado(x)} = \frac{1}{n}\sum_{i=13}^{17} A_{D(i)}^{sábado} = \frac{1}{2}\sum_{i=13}^{17} A_{D(i)}^{sábado}$$

Tabla 98 - Área de descarga necesaria por planta por día de descarga para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.

Año		2023	2025	2030	2040	2052
Área (m^2)	lunes	-	-	135,56	123,84	156,90
	martes	-	-	643,12	783,33	992,45
	miércoles	x712,81	904,71	135,56	123,84	156,90
	jueves			428,74	522,22	661,63
	sábados	1290,41	1345,46	632,09	769,90	975,43

Por otro lado, se analizó, en función de la dinámica de cada planta, se estableció el área de los remanentes máximos del material (ver *tabla 99*). Además, en la misma tabla se calculó el área de descarga, considerando un factor de seguridad del 50%, dado que la dinámica de funcionamiento no es exactamente igual todos los días. Comparando ambos cuadros, se validan las dimensiones de las áreas de descarga para las respectivas etapas del plan.

Tabla 99 - Remanentes máximos en planta y el área de ocupación de los mismos para los años 2023, 2025, 2030, 2040 y 2052.

CÁLCULO DEL RECHAZO

Tomando una tasa del 41% de rechazo y una productividad máxima de cada planta de 21,417 t/d el rechazo máximo estaría definido por:

Z: rechazo en t/d $Z_{MAX} = 0{,}41\ \varsigma = 0{,}41 * 16{,}549 \frac{t}{día} = 6{,}785\ t/d$

Para calcular el volumen del material de rechazo, se tomó un promedio entre el peso específico de los RSU mezclados 0,227 t/m^3 y de la fracción inorgánica separada 0,147 t/m^3. Esto se consideró así teniendo en cuenta que una parte del rechazo es por error en la clasificación o recolección y otra por que los materiales reciclables no están en condiciones o están contaminados. Además, se contempló un margen de seguridad del 25%.

$$V_{rechazo} = \frac{Z_{MAX}}{(\frac{PE_{residuos} + PE_{FIRSU}}{2})} * 1{,}25 = \frac{6{,}785 \frac{t}{d}}{0{,}187 \frac{t}{m^3}} * 1{,}25 = 36{,}18\ \frac{m^3}{d}$$

MEMORIA DE CÁLCULO DEL CAPÍTULO 4 – DISEÑO DEL CCC.

DISEÑO DE LAS CAMAS DE COMPOSTAJE

En función de la bibliografía relevada y los requerimientos de la maquinaria las medidas de las camas de compostaje serán de:

Ancho Base Inferior (Bi) = 3,60 m
Ancho Base Superior (Bs) = 1,75 m
Alto (H) = 1,60 m
Largo (L) = 40,00 m

- Se calcula el área de base (A_{base}) y el volumen (V_{pila}) de cada cama de compostaje

$$A_{base} = B_i * L = 3{,}60\ m * 40{,}00\ m = 144{,}00\ m^2$$

$$V_{pila} = \frac{B_i + B_s}{2} * H * L = \frac{3{,}60\ m + 1{,}75\ m}{2} * 1{,}60\ m * 40{,}00\ m = 171{,}20\ m^3$$

Se toma como referencia el tiempo promedio de 180 días para el proceso de compostaje (t_c) obtenido en la bibliografía consultada.

- Teniendo en cuenta que se cuentan con 48 pilas (n) de compostaje y una relación del material de cobertura de 1 parte por cada 3 de residuos a compostar, se calculó la capacidad de compostaje (C_c).

$$C_c = \frac{n * (\frac{2}{3} V_{pila}) * PE_V}{t_c} = \frac{48\ pilas * (171{,}200\ m^3 * 0{,}66) * 0{,}101\ t/m^3}{180\ d}$$
$$= 3{,}04\ t/d$$

SISTEMA DE RIEGO

Tomando a Hernandez Perez (2013) como referencia, la necesidad de agua es de $0{,}300\ \frac{l}{h\ m^3}$ en jornadas de riego de 3 h/d.

- Se calculó el caudal de riego necesario (Q'_R) utilizado la tasa de riego de Hernandez Perez (2013), para residuos de las mismas características que los referentes en este CCC.

$$A_{expusta} = A_{base\ supr} + (2 * A_{lado})$$

$$A_{expusta} = (1{,}75\ m * 40\ m) + \left(2 * \left(40m * \sqrt{(1{,}6\ m)^2 + (\frac{3{,}6\ m - 1{,}75m}{2})^2}\right)\right) = 217{,}85\ m^2$$

$$Q'_R = 0{,}30\ \frac{l}{h * m^2} * A_{expusta} * 3\ \frac{h}{d} = 0{,}30\ \frac{l}{h * m^2} * 217{,}85\ m^2 * 3\ \frac{h}{d} = 196{,}07\ \frac{l}{pila\ d}$$

- Considerando que el rendimiento de riego para la zona según Bocanegra , Martinez , & Massone (2002) es de 65% se calculó el caudal de riego aplicado (Q_R)

$$Q'_R = 0{,}65 * Q_R => Q_R = \frac{Q'_R}{0{,}65} = \frac{196{,}07\ \frac{l}{pila\ d}}{0{,}65} = 301{,}64\ \frac{l}{pila\ d}$$

- Se tomó la tabla anual de precipitaciones de la zona, se realizó la conversión de mm a l/d m^2, considerando a esta precipitación uniforme en todo el territorio, y se la comparó con la demanda de agua de cada pila.

pp_i: precipitaciones del mes i
d_i: cantidad de días del mes i
pp_{pi}: precipitaciones caídas sobre cada pila en el mes i
D_i = diferencia de agua entre las precipitaciones y la demanda para el mes i

si D < 0 => necesita incorporación de agua.
si D = 0 => no necesita incorporación de agua, ni hay exceso.
si D > 0 => hay exceso de agua.

<u>*Enero*</u>

$$pp'_{i\ (\frac{l}{d\ m^2})} = \frac{pp_{i(mm)}}{d_i}$$

$$pp_{i(\frac{l}{d\ pila})} = pp'_i * A_{expuesta}$$

$$D_i = pp_i - Q'_R$$

En función de la aplicación de las fórmulas anteriores y tal como se reflejó en los resultados de la *tabla 100*, entre los meses de abril y noviembre será necesario el agregado de agua de manera artificial.

- Para el diseño del abastecimiento de agua del sistema de riego, se toma como referencia la demanda máxima del mes de agosto. (Q = 280,56 l/pila por día de riego)
- Se considera una ventana de 4 horas para las tareas de riego, es decir una tasa de riego de 12 pilas por hora.

$$Q_{diseño} = 280{,}56\ \frac{l}{pila} * 12\ \frac{pilas}{h} = 3.366{,}69\ \frac{l}{h} = 56{,}11\ \frac{l}{min} = 0{,}94\ \frac{l}{s} = 3{,}37\ \frac{m^3}{h} = 9{,}35x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$$

- En función del caudal de diseño, se calculó el tiempo necesario de riego para cada pila. Este tiempo se redondeó a tiempos fáciles de medir.

$t_{riego\ i}$: tiempo de riego en el mes i

$$t_{riego\ i} = \frac{-D_i}{Q_{diseño}}$$

Teniendo en cuenta el caudal de diseño y las especificaciones de espesor de pared y diámetro interno para cada medida, se realizó la elección del sistema de transporte de agua. Para ello se tomaron cuatro medidas de cañerías (D_N de 25, 32, 40 y 50 mm) y se verificó la velocidad del agua.

Tabla 100- espesor de pared (e) y diámetro interno (D_i) de cañería de PEAD de diámetro nominal (D_N) 25, 32, 40 y 50 mm.

Dn	e	Di
25	2	23,0
32	2,4	29,6
40	3	37,0
50	3,7	46,3

$$v_{(Dn)} = \frac{Q_{diseño}}{A} = \frac{Q_{diseño}}{\pi * \frac{D_i^2}{4}}$$

$$v_{(25)} = \frac{9{,}35\ x\ 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}}{\pi * \frac{(23{,}0\ x\ 10^{-3})^2}{4}} = 2{,}25\ \frac{m}{s}$$

$$v_{(32)} = \frac{9{,}35\ x\ 10^{-4}\frac{m^3}{s}}{\pi * \frac{(29{,}6\ x\ 10^{-3})^2}{4}} = 1{,}36\ \frac{m}{s} \qquad v_{(40)} = \frac{9{,}35\ x\ 10^{-4}\frac{m^3}{s}}{\pi * \frac{(37{,}0\ x\ 10^{-3})^2}{4}} = 0{,}87\ \frac{m}{s}$$

$$v_{(50)} = \frac{9{,}35\ x\ 10^{-4}\frac{m^3}{s}}{\pi * \frac{(46{,}3\ x\ 10^{-3})^2}{4}} = 0{,}56\frac{m}{s}$$

Considerando que los valores recomendados de velocidad para líquidos poco viscosos en líneas de conducción están entre los valores de 1,20 y 2,40 m/s y de entre 1,20 y 3,00 m/s a la salida de la bomba, **se selecciona la cañería de D_n de 25 mm. Para la conexión entre el tanque y la bomba se utilizará la cañería de D_n 50 mm**, ya que la velocidad recomendada en esta etapa va entre 0,30 y 0,80 m/s.

A partir de haber seleccionado la cañería y de haber definido los circuitos de circulación, para la selección de la bomba, se tomaron en consideración los puntos más distantes de los dos circuitos de circulación, y, además, la necesidad de contar con una presión en los extremos más distantes de 1,7 bar, presión requerida por un aspersor promedio para el tiempo de riego a aplicar en el CCC. En función a esto, se calcularon las alturas de bomba (H_B) para ambos extremos y las curvas del sistema ($H_{dis(Q)}$)

A continuación, en la *figura 43*, se esquematiza la situación de los dos circuitos de circulación de agua más distantes.

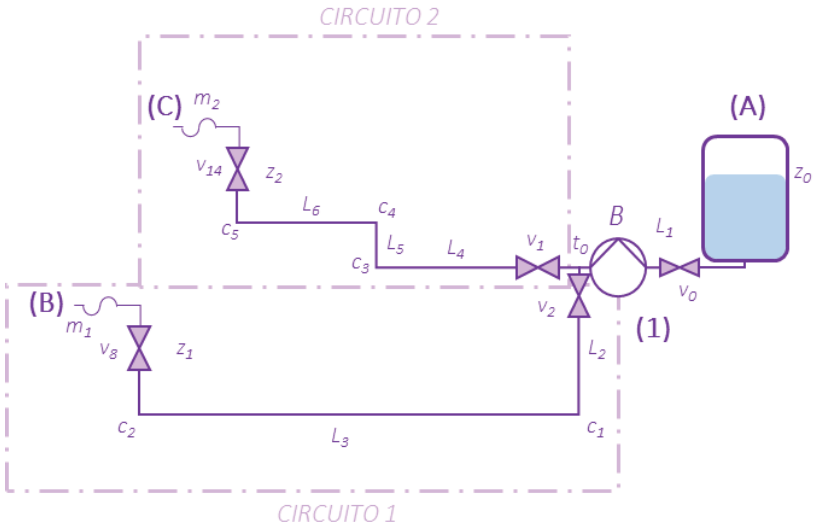


Figura 43 - Esquema de los circuitos de circulación más distantes.

L_1 = 1,00 m
V_0: válvula compuerta k_{v2} = 0,20

CIRCUITO 1

L_2 = 61,00 m
L_3= 205,10 m

C_1: Codo de radio largo K_{C1} = 0,60
C_2: Codo de radio corto K_{C2} = 0,90

V_2: válvula compuerta k_{v2} = 0,20
V_8: válvula de ángulo k_{v8} = 5,00

CIRCUITO 2

L_4 = 7,80 m
L_5 = 26,00 m
L_6= 194,10 m

C_3: Codo de radio largo K_{C1} = 0,6
C_4: Codo de radio largo K_{C1} = 0,6
C_5: Codo de radio corto K_{C2} = 0,9

V_1: válvula compuerta k_{v2} = 0,2
V_{14}: válvula de ángulo k_{v8} = 5

$$Z_A = \frac{V_{tanque}}{\pi * r^2} = \frac{10\ m^3}{\pi * (1{,}25m)^2} = 2{,}04\ m$$

$$P_A = \frac{\rho_{aire} * V_{aire} * g}{A} = \frac{\rho_{aire} * [\left(\frac{1}{8} * \left(\frac{4}{3} * \pi * r^3\right)\right) + (\pi * r^2 * (H_{tanque} - Z_A)] * g}{\pi * r^2}$$
$$= \frac{1.225\frac{kg}{m^3} * (1{,}02 + 1{,}57)m^3 + 9{,}8\frac{m}{s^2}}{4{,}90} = 6{,}3455\ kpa$$

CIRCUITO 1

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + Z_A + H_B - H_f = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + Z_B$$

$$H_B = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{v_B^2 - v_A^2}{2g} + (Z_B - Z_A) + H_f \quad v_C \gg v_A$$

$$H_B = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + (Z_B - Z_A) + H_f$$

$P_B = 1{,}72\ bar = 172\ kpa$

$\rho = 997\ \frac{kg}{m^3}$ $g = 9{,}8\ \frac{m}{s^2}$

$$H_f = H_{cañeria} + H_{accesorios} + H_{manguera}$$

$$H_{cañería} = \left(4f * \frac{L_2+L_3}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) + \left(4f * \frac{L_0}{D_{40mm}} * \frac{v_{50mm}^2}{2g}\right) = \left(4 * 0.0225 * \frac{(61+205{,}10)m}{(25x10^{-3})m} * \frac{\left(2{,}25\frac{m}{s}\right)^2}{2*9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) + \left(4 * 0.0260 * \frac{(1)m}{(50x10^{-3})m} * \frac{\left(0{,}56\frac{m}{s}\right)^2}{2*9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) = 0{,}270\ m$$

$$H_{manguera} = \left(4f * \frac{m_1}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) = \left(4 * 0.0225 * \frac{55\ m}{(25x10^{-3})m} * \frac{\left(2{,}25\frac{m}{s}\right)^2}{2*9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) = 0{,}056\ m$$

$$H_{accesorios} = \left(\sum k_{accesorios} * \frac{v_{25mm}^2}{2\ g}\right) + \left(k_{v0}\ \frac{v_{50mm}^2}{2\ g}\right) = \left((1{,}6 + 0{,}2 + 5 + 0{,}6 + 0{,}9) * \frac{\left(2{,}25\frac{m}{s}\right)^2}{2\ 9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) + \left(0{,}2 * \frac{\left(0{,}56\frac{m}{s}\right)^2}{2\ 9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) = 2{,}153\ m$$

$$H_f = 0{,}270\ m + 2{,}153\ m + 0{,}056\ m = 2{,}474\ m$$

$$H_B = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + Z_B - Z_A + H_f = \left(\frac{172.000{,}0 - 6.345{,}5}{997*9{,}8}\right)m + \left(\frac{2{,}25^2}{2*9{,}8}\right)m + (1 - 2{,}04)m + 2{,}474\ m = \mathbf{18{,}632\ m}$$

CIRCUITO 2

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + Z_A + H_B - H_f = \frac{P_C}{\rho g} + \frac{v_C^2}{2g} + Z_C$$

$$H_B = \frac{P_C - P_A}{\rho g} + \frac{v_C^2 - v_A^2}{2g} + (Z_C - Z_A) + H_f \quad v_C \gg v_A$$

$$H_B = \frac{P_C - P_A}{\rho g} + \frac{v_C^2}{2g} + (Z_C - Z_A) + H_f$$

$$P_C = 1{,}72\ bar = 172\ kpa$$

$$H_f = H_{cañeria} + H_{accesorios} + H_{manguera}$$

$$H_{cañería} = \left(4f * \frac{L_4+L_5++L_6}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) + \left(4f * \frac{L_0}{D_{50mm}} * \frac{v_{50mm}^2}{2g}\right) = \left(4 * 0.0225 * \frac{(7{,}80+26+194{,}10)m}{(25x10^{-3})m} * \frac{\left(2{,}25\frac{m}{s}\right)^2}{2*9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) + \left(4 * 0.0260 * \frac{(1)m}{(50x10^{-3})m} * \frac{\left(0{,}56\frac{m}{s}\right)^2}{2*9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) = 0{,}108\ m$$

$$H_{manguera} = \left(4f * \frac{m_2}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) = \left(4 * 0.0225 * \frac{55\ m}{(25x10^{-3})m} * \frac{\left(2{,}25\frac{m}{s}\right)^2}{2*9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) = 0{,}056\ m$$

$$H_{accesorios} = \left(\sum k_{accesorios} * \frac{v_{25mm}^2}{2\,g}\right) + \left(k_{v0}\ \frac{v_{50mm}^2}{2\,g}\right) = \left((1{,}6 + 0{,}2 + 5 + 0{,}6 + 0{,}6 + 0{,}9) * \frac{\left(2{,}25\frac{m}{s}\right)^2}{2\ 9{,}8\ \frac{m}{s^2}}\right) + \left(0{,}2 * \frac{\left(0{,}56\frac{m}{s}\right)^2}{2\ 9{,}8\ \frac{m}{s^2}}\right) = 2{,}304\ m$$

$$H_f = 0{,}232\ m + 2{,}304\ m + 0{,}056\ m = 2{,}591\ m$$

$$H_B = \frac{P_C - P_A}{\rho g} + \frac{v_C^2}{2g} + (Z_C - Z_A) + H_f = \left(\frac{172.000 - 6.345{,}5}{997*9{,}8}\right) m + \left(\frac{2{,}25^2}{2*9{,}8}\right) m + (1 - 2{,}04) m + 2{,}591 m = \mathbf{18{,}748\ m}$$

Para abastecer el sistema de riego, se necesita una bomba que provea 18,748 m de presión.
Se selecciona una Bomba Centrífuga marca MEC modelo CPM-158A-AT

Curva de la Bomba

Para la construcción de la curva de la bomba y proceder, luego a verificar el punto operativo, y validar la elección de la bomba se acudió a la hoja técnica del catálogo del fabricante (MEC). De la hoja técnica se extrajo la curva de rendimiento y su respectiva tabla (ver *figura 44*) y a partir de la información del modelo preseleccionado CPM-158A-AT (curva C de la curva de rendimiento y datos de la tercera fila de la tabla de rendimiento), se construyó la curva de la bomba (H_{DES}), que puede observarse en el gráfico de la *figura 45*.

CURVA DE RENDIMIENTO

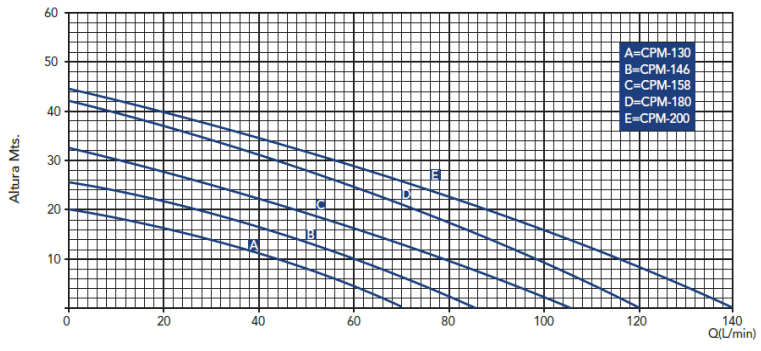


TABLA DE RENDIMIENTO

Modelo	Potencia		Corriente a 220V	Capacidad						Suc.Max. (Mts)	Peso (Kg.)	Diametro Asp/Desc
	HP	KW		Mts	l/Min	Mts	l/Min	Mts	l/Min			
CPM 130A - AT	0.5	0.37	2.7	20	10	14	40	5	75	6	9.5	1″
CPM 146A - AT	0.75	0.55	3.6	25	10	17	60	11	80	6	12.6	1″
CPM 158A - AT	1	0.75	5	30	10	22	60	11	100	6	14.7	1″
CPM 180A - AT	1.5	1.1	7.5	42	10	32	60	20	100	6	23	1″
CPM 200A - AT	2	1.5	9.6	44	10	37	60	28	100	6	26	1″

Figura 44 - Curva de rendimiento y tabla de rendimiento de las bombas MEC. Fte.: OMBEPOWER S.A., 2020

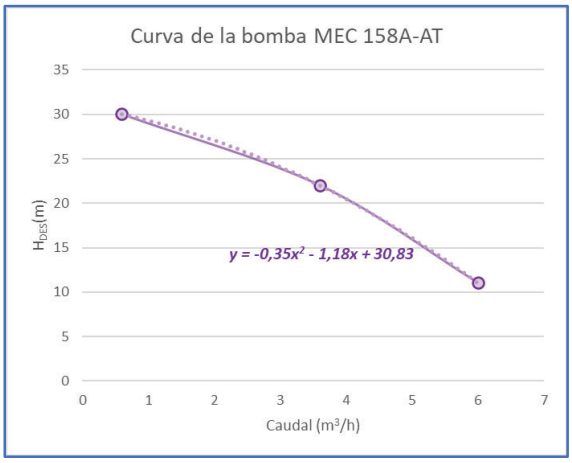


Figura 45 - Curva de la bomba MEC 158A – AT Fte: construcción propia en base a la información de *COMBEPOWER S.A., (2020)*

A partir de los datos aportados por el fabricante la curva de la bomba queda establecida por la siguiente ecuación:

$$H_{DES} = -0{,}35\,Q^2 - 1{,}18\,Q + 30{,}83$$

A partir de las ecuaciones y cálculos que se describen a continuación, se construyeron las curvas del sistema tanto para el *circuito 1* como para el *circuito 2,* curva que se reflejan en el gráfico de la figura 46, en donde también se puede ver el punto de operación, en la intersección de las curvas del sistema con la curva de la bomba.

$$H_{DIS\,C1} = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + (Z_B - Z_A) + H_f = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + (Z_B - Z_A) + \left(4f * \frac{L_2 + L_3}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) + \left(4f * \frac{m_1}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) + \sum k_{accesorios} * \frac{v_{25mm}^2}{2\,g} = Q^2 \left(\frac{1}{2gA_{25mm}^2} + 4\frac{L_2 + L_3 + m_1}{D_{cañeria}} \frac{f}{2g} \frac{1}{A_{25mm}^2} + \frac{\sum k_{accesorios}}{2gA_{25mm}^2}\right) + (Z_B - Z_A) + \frac{P_B - P_A}{\rho g}$$

$$H_{DIS\,C1} = Q^2 \left(3{,}18\,x\,10^6\,\frac{s^2}{m^5}\right) + (1 - 2{,}04)m + 16{,}95\,m = \left(0{,}25\,\frac{h^2}{m^5}\right) Q^2 + 16{,}95\,m$$

$$H_{DIS\,C2} = \frac{P_C - P_A}{\rho g} + \frac{v_C^2}{2g} + (Z_C - Z_A) + H_f = \frac{P_C - P_A}{\rho g} + \frac{v_C^2}{2g} + (Z_C - Z_A) + \left(4f * \frac{L_4 + L_5 + L_6}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) + \left(4f * \frac{m_2}{D_{25mm}} * \frac{v_{25mm}^2}{2g}\right) + \sum k_{accesorios} * \frac{v_{25mm}^2}{2\,g} = Q^2 \left(3{,}31\,x\,10^6\,\frac{s^2}{m^5}\right) + (1 - 2{,}04)m + 16{,}95\,m = \left(0{,}26\,\frac{h^2}{m^5}\right) Q^2 + 15{,}91\,m$$

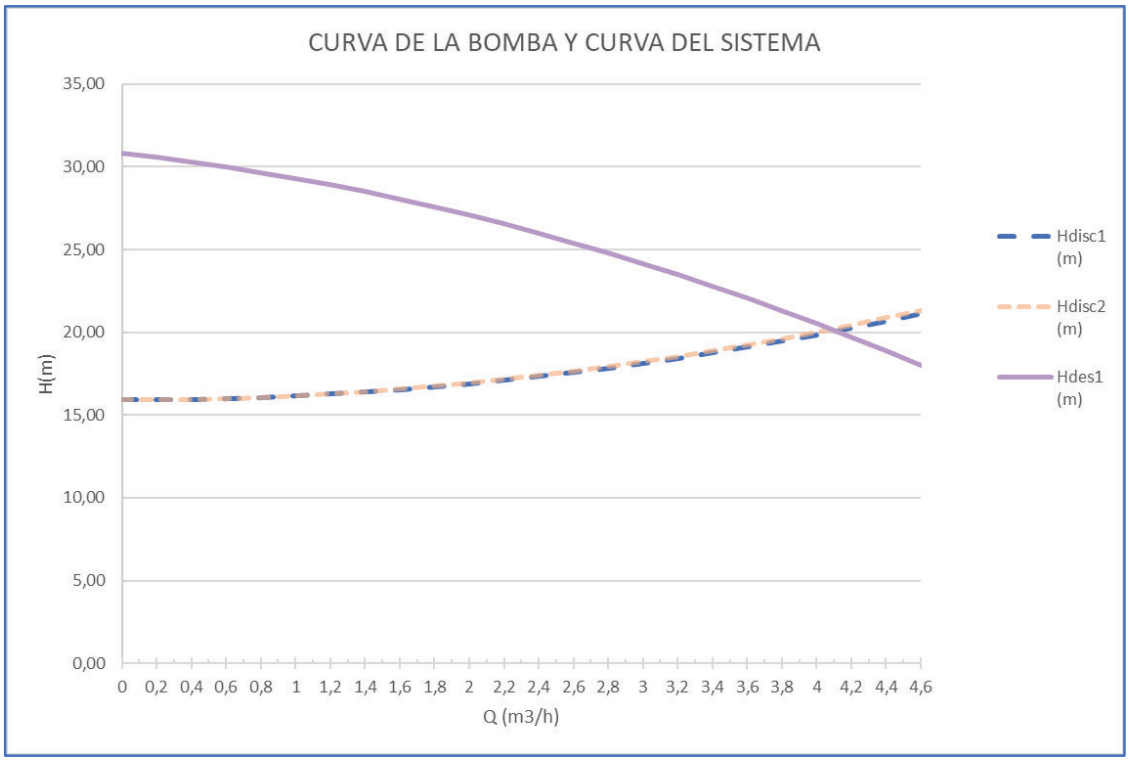


Figura 46 - Curva de alturas de la columna en función del caudal, Curva del circuito 1 (azul), curva del circuito 2 (amarilla) y curva de la bomba (violeta)

Punto Operativo: Q = 4,12 m3/h
H = 19,70 m

$$\frac{P_A}{\rho\, g} + \frac{v_A^2}{2\, g} + Z_A - H_{f(A-1)} = H_{SUCC} + \frac{v_1^2}{2\, g} + Z_1$$

$$\frac{P_A}{\rho\, g} + \left(\frac{v_A^2}{2\, g} - \frac{v_1^2}{2\, g}\right) + (Z_A - Z_1) - H_{f(A-1)} = H_{SUCC}$$

$$v_1 \gg v_A$$

$$H_{SUCC} = \frac{P_A}{\rho\, g} - \frac{v_1^2}{2\, g} + (Z_A - Z_1) - H_{f(A-1)} = \frac{P_A}{\rho\, g} - \frac{v_1^2}{2\, g} + (Z_A - Z_1) - \left(\left(4 * f * \frac{L}{D_{50mm}} * \frac{v_{50mm}^2}{2\, g}\right) + \left(k_{V0} * \frac{v_{50mm}^2}{2\, g}\right)\right) = 0{,}65m - \frac{\left(0{,}56\frac{m}{seg}\right)^2}{2 * 9{,}8\frac{m}{s^2}} + (2{,}04 - 0)m - \left(\left(4 * 0.026 * \frac{1}{0{,}05\, m} * \frac{(0{,}56\frac{m}{s})^2}{2 * 9{,}8\frac{m}{s^2}}\right) + \left(0{,}2 * \frac{\left(0{,}56\frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9{,}8\frac{m}{s^2}}\right)\right) = 2{,}67\ m$$

Según los datos del fabricante, la bomba soporta una succión máxima de hasta 6 m. Tomando un factor de seguridad del 30% queda:

$$1{,}30 * H_{SUCC} < 6\ m$$

$$1{,}30 * 2{,}67\ m < 6\ m$$
$$3{,}471\ m < 6\ m$$

SISTEMA DE LIXIVIADOS

Tomando a Moreno Reyes, Agudelo Manrique, & Vega Clavijo como referencia, una cama de compostaje de restos de jardinería genera un caudal de lixiviados de 0,29 litros diarios por m^3 de compost.

Q_{lix}: caudal de lixiviado generado

$$Q_{lix} = 0{,}29\ \frac{l}{día\ m^3} * 171{,}20\ \frac{m^3}{pila} = 49{,}65\ \frac{l}{pila * día} = 5{,}75\ x\ 10^{-7}\ \frac{m^3}{pila * s}$$

$$Q_{lix} = 49{,}65\ \frac{l}{pila * día} * 48\ pilas = 2.383{,}20\ \frac{l}{día} = 2{,}76\ x\ 10^{-5}\ \frac{m^3}{s}$$

Tomando un índice de seguridad del 50% queda:

$$Q'_{lix} = 1{,}5\ Q_{lix} = 1{,}5 * 5{,}75\ x\ 10^{-7}\ \frac{m^3}{pila * s} = 8{,}62\ x\ 10^{-7}\ \frac{m^3}{pila * s}$$
$$Q'_{lix} = 1{,}5\ Q_{lix} = 1{,}5 * 2{,}76\ x\ 10^{-5}\ \frac{m^3}{s} = 4{,}14\ x\ 10^{-5}\ \frac{m^3}{s}$$

En los meses de diciembre, enero y febrero, se da un excedente de agua producto de las precipitaciones, por lo que, para validar la capacidad de las líneas de conducción, se va a considerar, además del lixiviado generado por el propio proceso de compostaje, el excedente de precipitaciones. En este caso se tomará el mes de mayo excedente, es decir enero. El caudal aportado es en promedio de 330 litros diarios por pila.

$$Q_{lix}^{total} = Q'_{lix} + Q_{pp} = 8{,}62\ x\ 10^{-7}\ \frac{m^3}{pila*s} + 3{,}83\ x\ 10^{-6}\ \frac{m^3}{pila*s} = 4{,}69\ x\ 10^{-6}\ \frac{m^3}{pila*s}$$

$$Q_{lix}^{total} = 4{,}69\ x\ 10^{-6}\ \frac{m^3}{pila*s} * 48\ pilas = 2{,}25\ x\ 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$$

A partir de los caudales calculados y de los colectores seleccionados, se validó la capacidad de carga de los colectores secundarios y del colector principal. Esto se realizó utilizando el programa Hcanales versión 3.0. En las *figuras 47 y 48*, se muestran las capturas de pantalla de los resultados arrojados por el programa para ambos colectores.

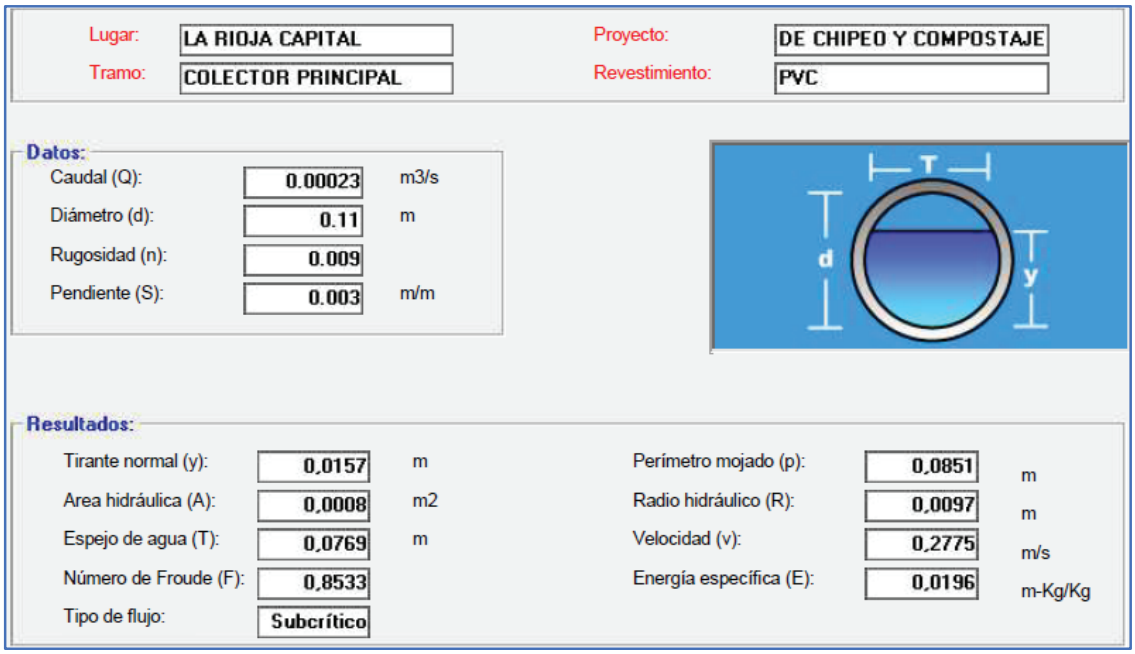


Figura 47 - Captura de pantalla del programa Hcanales V3.0, para la validación del colector principal de PVC, de 110 mm de diámetro con una pendiente de 3‰ y un caudal de 2,25 x 10^{-4} m^3/s

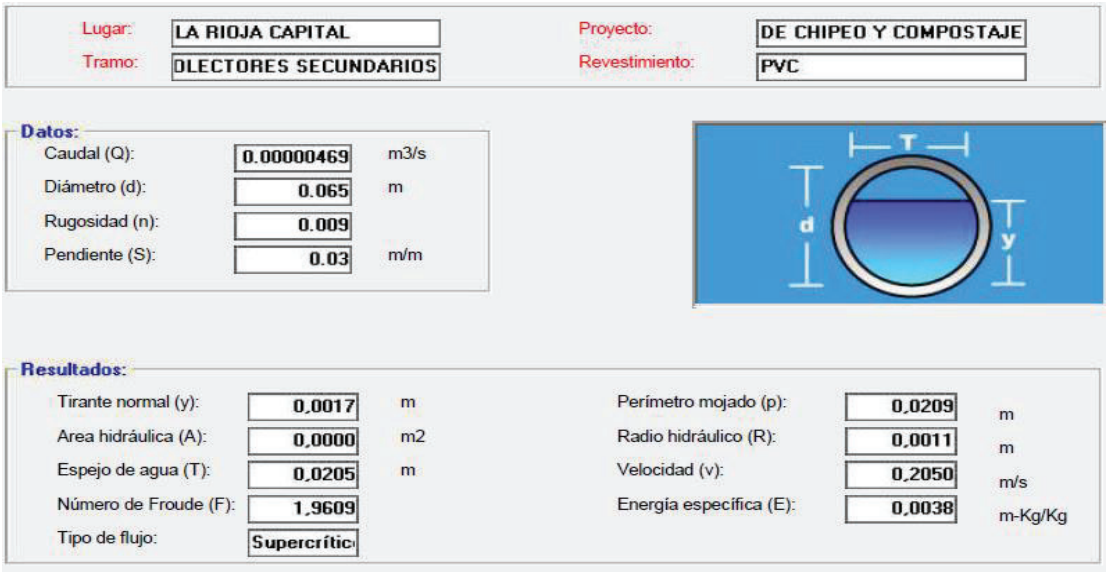


Figura 48 - Captura de pantalla del programa Hcanales V3.0, para la validación de los colectores secundarios de PVC, de 65 mm de diámetro con una pendiente de 3% y un caudal de 4,69 x 10^{-6} m^3/s

En función de los resultados arrojados, se puede verificar que, para ambos casos, se encuentran dentro de los límites de velocidad, considerando que el flujo se da por

gravedad, es decir los límites de velocidades son 0,15 y 0,30 m/s. Por último, se validó el porcentaje de carga de cada tipo de colector.

C: capacidad de carga utilizada
y: Tirante normal (m)
D: diámetro (m)

$$C_{colector\ ppal.} = \frac{y_{colector\ ppal.}}{D_{colector\ ppal.}} * 100\% = \frac{0{,}0157\ m}{0{,}1100\ m} * 100\% = 14{,}27\%$$

$$C_{colector\ 2°.} = \frac{y_{colector\ 2°}}{D_{colector\ 2°}} * 100\% = \frac{0{,}0017\ m}{0{,}0650\ m} * 100\% = 2{,}62\%$$

MEMORIA DE CÁLCULO DEL CAPÍTULO 5 – DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

FLUJO DE INGRESO.

Como punto de partida para el diseño del RS, se estimó, el flujo de ingreso de residuos, en las distintas etapas de implementación del plan GIRSU. Los materiales que ingresan al RS para disposición final están compuestos por la basura generada, los residuos reciclables no separados por la comunidad (en función de las diferentes metas establecidas en el plan) y el rechazo del CCAMR. El flujo de ingreso de residuos, tanto anual como el promedio diario, se puede validar en la *tabla 102*.

Teniendo en cuenta las diferentes etapas de implementación del plan, es decir, de la variación en la composición de los residuos, y según la bibliografía consultada, se decidió tomar la densidad de los residuos con un valor de 705 kg/m^3 hasta 2039 y de 810 kg/m^3 a partir de dicho año, en donde la presencia de los residuos orgánicos es casi la totalidad de los residuos que se destinan a la disposición final. Con estos índices, se calculó el volumen de los residuos ingresantes y tomando un factor de seguridad del 30% y un factor de relleno del 20%, se estimó el volumen total (ver *tabla 101*).

Tabla 101 - Flujo de ingreso anual y composición en peso y volumen de residuos al RS para disposición final durante toda la etapa de funcionamiento del RS

AÑO	Población ciudad (hab.)	Tasa de generación (kg/hab.d)	Residuos Totales Generados (t)	Orgánicos (t)	Otros (t)	Reciclables Generados (t)	Reciclables a RS (t)	Reciclables Rechazo del CCAMR (t)	Ingreso a RS Total (t)	Ingreso a RS Diario (t/d)	Densidad de los residuos compactados (kg/m³)	Volumen de Residuos Anual (m³)	Volumen de Residuos Diario (m³)	Volumen Total Anual (m³)	Volumen Total Diario (m³)
2023	214.621	0,88	68.784,36	42.027,25	1.582,04	21.735,86	17.388,69	1.782,34	62.780,31	172,00		89.050,09	243,97	133.575,14	365,96
2024	217.046	0,89	70.305,80	42.956,84	1.617,03	22.216,63	17.773,31	1.821,76	64.168,94	175,81		91.019,78	249,37	136.529,67	374,05
2025	219.500	0,90	71.861,37	43.907,30	1.652,81	22.708,19	13.624,92	3.724,14	62.909,17	172,35		89.232,86	244,47	133.849,29	366,71
2026	221.983	0,91	73.451,86	44.879,09	1.689,39	23.210,79	13.926,47	3.806,57	64.301,52	176,17		91.207,83	249,88	136.811,75	374,83
2027	224.495	0,92	75.078,05	45.872,69	1.726,80	23.724,67	14.234,80	3.890,85	65.725,13	180,07		93.227,14	255,42	139.840,70	383,13
2028	227.038	0,93	76.740,76	46.888,60	1.765,04	24.250,08	14.550,05	3.977,01	67.180,70	184,06		95.291,78	261,07	142.937,67	391,61
2029	229.610	0,94	78.440,80	47.927,33	1.804,14	24.787,29	14.872,38	4.065,12	68.668,96	188,13		97.402,78	266,86	146.104,17	400,29
2030	232.214	0,94	79.672,52	48.679,91	1.832,47	25.176,52	10.070,61	6.193,42	66.776,41	182,95		94.718,31	259,50	142.077,47	389,25
2031	234.848	0,95	81.285,47	49.665,42	1.869,57	25.686,21	10.274,48	6.318,81	68.128,28	186,65	705	96.635,85	264,76	144.953,78	397,13
2032	237.514	0,96	82.931,59	50.671,20	1.907,43	26.206,38	10.482,55	6.446,77	69.507,95	190,43		98.592,84	270,12	147.889,26	405,18
2033	240.212	0,97	84.611,58	51.697,68	1.946,07	26.737,26	10.694,90	6.577,37	70.916,01	194,29		100.590,09	275,59	150.885,13	413,38
2034	242.941	0,97	86.326,14	52.745,27	1.985,50	27.279,06	10.911,62	6.710,65	72.353,04	198,23		102.628,43	281,17	153.942,65	421,76
2035	245.704	0,98	88.075,98	53.814,42	2.025,75	27.832,01	11.132,80	6.846,67	73.819,65	202,25		104.708,72	286,87	157.063,08	430,31
2036	248.499	0,99	89.861,84	54.905,58	2.066,82	28.396,34	11.358,54	6.985,50	75.316,44	206,35		106.831,83	292,69	160.247,75	439,03
2037	251.327	1,00	91.684,46	56.019,20	2.108,74	28.972,29	11.588,92	7.127,18	76.844,04	210,53		108.998,65	298,63	163.497,97	447,94
2038	254.189	1,01	93.544,60	57.155,75	2.151,53	29.560,09	11.824,04	7.271,78	78.403,10	214,80		111.210,07	304,69	166.815,10	457,03
2039	257.086	1,02	95.443,04	58.315,70	2.195,19	30.160,00	12.064,00	7.419,36	79.994,25	219,16		113.467,02	310,87	170.200,54	466,30
2040	260.017	1,03	97.380,58	59.499,54	2.239,75	30.772,26	6.154,45	10.093,30	77.987,05	213,66		96.280,30	263,78	144.420,45	395,67
2041	262.982	1,04	99.358,03	60.707,75	2.285,23	31.397,14	6.279,43	10.298,26	79.570,68	218,00		98.235,40	269,14	147.353,10	403,71
2042	265.983	1,04	101.376,20	61.940,86	2.331,65	32.034,88	6.406,98	10.507,44	81.186,93	222,43		100.230,77	274,60	150.346,16	411,91
2043	269.020	1,05	103.435,95	63.199,37	2.379,03	32.685,76	6.537,15	10.720,93	82.836,48	226,95		102.267,25	280,18	153.400,88	420,28
2044	272.093	1,06	105.538,14	64.483,80	2.427,38	33.350,05	6.670,01	10.938,82	84.520,01	231,56		104.345,69	285,88	156.518,53	428,82
2045	275.203	1,07	107.683,65	65.794,71	2.476,72	34.028,03	6.805,61	11.161,19	86.238,23	236,27		106.466,95	291,69	159.700,43	437,54
2046	278.350	1,08	109.873,37	67.132,63	2.527,09	34.719,98	6.944,00	11.388,15	87.991,87	241,07	810	108.631,93	297,62	162.947,90	446,43
2047	281.534	1,09	112.108,22	68.498,12	2.578,49	35.426,20	7.085,24	11.619,79	89.781,64	245,98		110.841,54	303,68	166.262,31	455,51
2048	284.756	1,10	114.389,14	69.891,77	2.630,95	36.146,97	7.229,39	11.856,21	91.608,32	250,98		113.096,69	309,85	169.645,03	464,78
2049	288.016	1,11	116.717,09	71.314,14	2.684,49	36.882,60	7.376,52	12.097,49	93.472,64	256,09		115.398,33	316,16	173.097,49	474,24
2050	291.316	1,12	119.093,03	72.765,84	2.739,14	37.633,40	7.526,68	12.343,75	95.375,41	261,30		117.747,42	322,60	176.621,13	483,89
2051	294.655	1,13	121.517,96	74.247,47	2.794,91	38.399,68	7.679,94	12.595,09	97.317,42	266,62		120.144,96	329,16	180.217,44	493,75
2052	298.033	1,14	123.992,90	75.759,66	2.851,84	39.181,76	7.836,35	12.851,62	99.299,47	272,05		122.591,94	335,87	183.887,91	503,80

DISEÑO DE TRINCHERAS

Para establecer las dimensiones de las trincheras, se tomó el volumen diario, se consideró una vida útil de 30 días para cada una y a partir de estos parámetros se calculó el volumen necesario para la disposición mensual de los residuos. Estos datos para cada año, se pueden validar en la *tabla 102*. Con estas consideraciones, tomando una altura de 3 metros y a partir de la fórmula de volumen de una pirámide truncada, se propusieron diferentes dimensiones llegando a las medidas de:

Base inferior

Largo – L_m=150 m

Ancho – S_m = 27 m

Área – A_{Bm}= 4.050,00 m^2

Base superior

Largo – L_m=153 m

Ancho – S_m = 30 m

Área – A_{BM}= 4.590,00 m^2

Cabe aclarar, que estas medidas fueron ajustadas en función de considerar terraplenes con pendiente de 45° y luego redondeados por cuestiones constructivas. A partir de ello se recalculó el volumen y la pendiente.

$$V = \frac{h}{3}\left(A_{BM} + A_{Bm} + \sqrt{A_{BM} + A_{Bm}}\right)$$

$$= \frac{3\ m}{3}\left(4.590{,}00\ m^2 + 4.050{,}00\ m^2 + \sqrt{4.590{,}00\ m^2 + 4.050{,}00\ m^2}\right) = 12.951{,}55\ m^3$$

A partir de este volumen, se recalculó la vida útil de las trincheras, y consecuentemente se calculó la cantidad anual necesaria, dando el total para el periodo de los 30 años de diseño. Esto se refleja en las últimas dos columnas de la *tabla 102.*

Tabla 102 - Volumen de trincheras con vida útil 30 días, reajuste de vida útil a trincheras de 12.951,55 m3 y cálculos de trincheras necesarias para cada año del periodo de diseño.

AÑO	$V_{30días}$ (m^3)	Vida útil de la trinchera (d)	Cantidad de trincheras
2023	10.978,78	35,39	10,3
2024	11.221,62	34,62	10,5
2025	11.001,31	35,32	10,3
2026	11.244,80	34,55	10,6
2027	11.493,76	33,81	10,8
2028	11.748,30	33,07	11,0
2029	12.008,56	32,36	11,3
2030	11.677,60	33,27	11,0
2031	11.914,01	32,61	11,2
2032	12.155,28	31,97	11,4
2033	12.401,52	31,33	11,6
2034	12.652,82	30,71	11,9
2035	12.909,29	30,10	12,1
2036	13.171,05	29,50	12,4
2037	13.438,19	28,91	12,6
2038	13.710,83	28,34	12,9
2039	13.989,09	27,77	13,1
2040	11.870,17	32,73	11,2
2041	12.111,21	32,08	11,4
2042	12.357,22	31,44	11,6
2043	12.608,29	30,82	11,8
2044	12.864,54	30,20	12,1
2045	13.126,06	29,60	12,3
2046	13.392,98	29,01	12,6
2047	13.665,39	28,43	12,8
2048	13.943,43	27,87	13,1
2049	14.227,19	27,31	13,4
2050	14.516,81	26,77	13,6
2051	14.812,39	26,23	13,9
2052	15.114,07	25,71	14,2
		Total de celdas	359,2 **360**

Para el diseño de los módulos, se adoptó la configuración de 18 trincheras, ordenadas en 2 niveles, el nivel inferior, formado por 2 columnas de 5 filas de trincheras, con una separación de 5 metros cada una y una separación entre columnas de 10 metros. A partir de dicha configuración, y de la cantidad de trincheras necesarias, se instalarán 20 módulos. Considerando esto, se estimaron las medidas de cada módulo. En la *tabla 103*, se describe los parámetros de diseño de los módulos y las dimensiones calculadas a partir de dichos parámetros. En la misma también se calculó el área necesaria para el emplazamiento de los módulos.

Tabla 103 - Parámetros de diseño de los módulos del RS de la ciudad de La Rioja.

Cantidad de celdas		18	
Nivel		Inferior	Superior
Columnas		2	2
Filas		5	4
Distancia e/columnas	m	10	10
Distancia e/ filas	m	5	5
Espacios entre filas		6	5
Espacios entre columnas		3	3
Largo del módulo	**m**	**336**	
Ancho del módulo	**m**	**180**	
Área de módulo	m^2	60.480,00	
	ha	6,05	
Cantidad de módulos		20	
Área total para módulos	ha	120,96	

Tomando lo que propone la diferente bibliografía consultada, se calcula un 20% del área para el emplazamiento de infraestructura de operación y tareas complementarias. Además, se debe sumar el área del módulo destinado al reordenamiento de los residuos presentes actualmente en el predio. Por lo tanto, el predio del RS completo ocupará un área de:

$$A_{predio} = A_{módulos} + A_{infraestructura}$$
$$= A_{mód.nvos.} + A_{mód.reordenamiento} + (0{,}20 * A_{mód.nvos.})$$
$$= 1{,}2 * 126{,}96\ ha = 152{,}35\ ha \approx \mathbf{153\ ha}$$

AISLAMIENTO DEL SUELO

Para la determinación de las necesidades de materiales de aislamiento se tuvo en cuenta, las dimensiones de las trincheras planteadas en el apartado anterior, la configuración del módulo y las presentaciones de venta de la GLC y de la membrana de HDPE, reflejadas en la *tabla 104.*

P: perímetro a cubrir de ancho.

Y: Perímetro a cubrir de largo

n_{filas}: cantidad de filas.

$n_{columnas}$: cantidad de columnas

d_{filas}: distancia entre filas

$d_{columnas}$: distancia entre columnas

$$P = \left[n_{filas} * \left(s_m + \left(2 * \frac{h}{sen\ \alpha}\right)\right)\right] + \left[\left(\left(n_{filas} + 1\right) * d_{filas}\right] = \left[5 * \left(27\ m + \left(2 * \frac{3\ m}{sen\ 45°}\right)\right)\right] + [(5 + 1) * 5] = 207{,}43\ m\right.$$

$$Y = \left[n_{columnas} * \left(L_m + \left(2 * \frac{h}{sen\ \alpha}\right)\right)\right] + \left[\left(\left(n_{columnas} + 1\right) * d_{columnas}\right] = \left[2 * \left(150\ m + \left(2 * \frac{3\ m}{sen\ 45°}\right)\right)\right] + [(2 + 1) * 10] = 331{,}97\ m\right.$$

Tabla 104 - Parámetros de presentación comercial de las membranas GLC y HDPE.

Parámetro	Unidad	Membrana GLC	Membrana de HPDE
Ancho de rollo	m	5,1	8
Ancho de conexión	m	0,15	0,15
Ancho utilizable	m	4,8	7,7
Largo de rollo	m	40	50
Largo Utilizable	m	39,7	49,7

En función de las medidas a cubrir por módulos y de los datos de la presentación comercial de las membranas, se calculó la cantidad de rollos de ambas necesarias para cubrir cada módulo, llegando así al número de 362 rollos de GLC y 180 de HDPE, tal como se puede validar redondeando los valores totales de la tabla 105.

Tabla 105 - Cantidad de rollos de las membranas GLC y HDPE, para cubrir cada módulo de ancho de largo y suma total

		Membrana GLC	Membrana HPDE
Ancho	u	43,21	26,94
Largo	u	8,36	6,68
Total	u	361,35	179,94

CÁLCULO DEL MATERIAL DE COBERTURA

MATERIAL DE COBERTURA PARA TRINCHERAS.

h= 0,30 m
α= 45°
L= 153,00 m
S= 30,00 m

$$A_{BM} = S * L = 30\ m * 153\ m = 4.590{,}00\ m^2$$

$$x = h * \csc(\alpha) = 0{,}30\ m * \csc(45°) = 0{,}42\ m$$
$$l = L - (2 * x) = 153{,}00\ m - (2 * 0{,}42\ m) = 152{,}15\ m$$
$$s = S - (2 * x) = 30{,}00\ m - (2 * 0{,}42\ m) = 29{,}15\ m$$

$$A_{Bm} = s * l = 29{,}15\ m * 152{,}15\ m = 4.435{,}44\ m^2$$

$$V_{cob.sup.} = \frac{h}{3}\left(A_{BM} + A_{Bm} + \sqrt{A_{BM} + A_{Bm}}\right)$$
$$= \frac{0{,}3\ m}{3}\left(4.590{,}00\ m^2 + 4.435{,}44\ m^2 + \sqrt{4.590{,}00\ m^2 + 4{,}435{,}44\ m^2}\right) = 1.353{,}75\ m^3$$

MATERIAL DE COBERTURA PARA CELDAS.

h= 0,30 m
α= 45°
L= 150,00 m
S= 27,00 m

$$A_{BM} = S * L = 27\ m * 150\ m = 4.200{,}00\ m^2$$

$$x = h * \csc(\alpha) = 0{,}30\ m * \csc(45°) = 0{,}42\ m$$
$$l = L + (2 * x) = 150{,}00\ m - (2 * 0{,}42\ m) = 150{,}84\ m$$
$$s = S + (2 * x) = 27{,}00\ m - (2 * 0{,}42\ m) = 27{,}84\ m$$

$$A_{Bm} = s * l = 29{,}15\ m * 152{,}15\ m = 4.050{,}00\ m^2$$

$$V_{cob.sup.} = \frac{h}{3}\left(A_{BM} + A_{Bm} + \sqrt{A_{BM} + A_{Bm}}\right)$$
$$= \frac{0{,}3\ m}{3}\left(4.200{,}00\ m^2 + 4.050{,}00\ m^2 + \sqrt{4.200{,}00\ m^2 + 4.050{,}00\ m^2}\right) = 1.237{,}57\ m^3$$

MATERIAL DE COBERTURA PARCIAL.

$$V_{cobertura} = V_{cob.sup.} + V_{cob.par.} = 20\%\ V_{trinchera}$$
$$V_{cob.par.} = (0{,}20 * V_{trinchera}) - V_{cob.sup.} = (0{,}20 * 12.951{,}55\ m^3) - 1.353.75\ m^3$$
$$= 1.236{,}56\ m^3$$

MEMORIA DE CÁLCULO DEL CAPÍTULO 6 - DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

ECUALIZADOR

Para el diseño del ecualizador, primero, se realizó el balance de caudales de los lixiviados cloacales, los del CCC y los del RS.

Lixiviados cloacales

P_{CC}: Planta de personal del CCC

P_{RS}: Planta de personal del RS

$$Q_{cloacal} = (P_{CCC} + P_{RS}) * d = (18 + 14)per * 0.09 \frac{m^3}{per * d} = 2{,}88 \frac{m^3}{d}$$

Dimensionamiento de la laguna de ecualización

$$V_{eq} = Q_{max} * T_r = 91{,}46 \frac{m^3}{d} * 20\ d = 1.829{,}26\ m^3$$

Profundidad: h = 3,00 m
Revancha: r = 0,50 m
Pendiente del talud α = 30°

Largo en pelo de agua $L_{pa} = 45\ m$
Ancho en pelo de agua $S_{pa} = 0{,}5\ L_{pa} = 22{,}50\ m$
Área en pelo de agua $A_{pa} = L_{pa} * S_{pa} = 45\ m * 22{,}50\ m = 1.012{,}50\ m^2$

Largo inferior $L_i = L_{pa} - \frac{h}{\tan \alpha} = 45\ m - \frac{3\ m}{\tan 30°} = 39{,}80\ m$
Ancho inferior $S_{pa} = 0{,}5\ L_i = 19{,}90\ m$
Área inferior $A_{pa} = L_{pa} * S_{pa} = 39{,}80\ m * 19{,}90\ m = 792{,}17\ m^2$

Largo superior $L_s = L_{pa} + \frac{h+r}{\tan \alpha} = 45\ m + \frac{3{,}50\ m}{\tan 30°} = 51{,}06\ m$
Ancho superior $S_s = 0{,}5\ L_s = 25{,}53\ m$
Área superior $A_s = L_s * S_s = 51{,}06\ m * 25{,}53\ m = 1.303{,}67\ m^2$

Validación del volumen útil

$$V'_{eq} = \frac{h}{3} * (A_{pa} + A_i + \sqrt{A_{pa} + A_i}) = 1836{,}60\ m^3$$

LAGUNA ANAERÓBICA

A partir de los datos de temperatura de la *tabla 106* y tomando la mínima promedio se calculó la Carga Orgánica Volumétrica y el porcentaje de DBO removida.

Tabla 106 - Tabla de temperaturas mínimas, medias y máximas promedios mensuales. *Fuente: Alonzo, 2020, en base de datos del SMN 2001-2010.*

	T_{min}	T_{med}	T_{max}
Enero	21	27	34
Febrero	20	26	32
Marzo	19	24	29
Abril	15	20	26
Mayo	10	15	21
Junio	6	12	18
Julio	5	11	19
Agosto	8	14	22
Septiembre	12	18	25
Octubre	16	22	29
Noviembre	19	25	32
Diciembre	21	27	34
$T_{min\ promedio}$	**14**	**20**	**27**

$$COV\left(\frac{g_{DBO5}}{m^3 d}\right) = 16{,}5\ T_{min.promedio} - 100 = 16{,}5 * 14{,}33 - 100 = \ 136{,}5$$

$$\%DBO_{removida} = 0{,}1 * \left(20 + \left(2 * \ T_{min.promedio}\right)\right) = 0{,}1 * \left(20 + (2 * 14{,}33)\right) = 48{,}67$$

La carga orgánica de ingreso teniendo en cuenta el caudal máximo de 91,46 m^3 diarios resulta de:

$$CO = Q * DBO5_{ingreso} = 78{,}81\ \frac{m^3}{d} * 8.967{,}50\ \frac{mg}{l} = 706.716{,}31\ \frac{g_{DBO}}{d}$$

A partir de la relación entre el CO y la COV, se estimó el volumen

$$V = \frac{CO}{COV} = \frac{706.716{,}31\ \frac{g_{DBO}}{d}}{136{,}5\ \frac{g_{DBO}}{m^3 d}} = 5.177{,}41\ m^3$$

Por cuestiones operativas y de mantenimiento, se decide establecer un esquema de dos lagunas en paralelo, por lo cual el caudal y el volumen se dividen en las dos lagunas, que tendrán dimensiones idénticas. Tomando una profundidad de 4 m, una revancha de 0,5 m y un talud de 45° se adoptaron las siguientes dimensiones.

Largo espejo de agua $L_{espejo\ de\ agua}$ = 39,50 m

Largo inferior L_i = 35,50 m

Largo superior L_s = 40,00 m

Ancho espejo de agua $X_{espejo\ de\ agua}$= 19,50 m

Ancho inferior X_i= 15,50 m

Ancho superior A_s = 20,00 m

Área inferior A_i = 550,25 m^2

Área espejo de agua $A_{espejo\ de\ agua}$ =770,25 m^2

Área superior A_s = 800,00 m^2

A partir de estas dimensiones se validó el volumen trapezoidal de la laguna.

$$V_{laguna} = \frac{h}{3} * \left(A_i + A_s + \sqrt{A_i * A_s}\right)$$
$$= \frac{4m}{3} * \left(550{,}25\ m^2 + 770{,}25\ m^2 + \sqrt{550{,}25\ m^2 * 770{,}25\ m^2}\right)$$
$$= 2628{,}70\ m^3$$

$$V_{total} = n°_{lagunas}\, V_{laguna} = 2 * 2628{,}70\ m^3 = 5.257{,}39\ m^3 > 5.177{,}41\ \ m^3$$

Para el cálculo del tiempo de retención hidráulico (TRH), se consideró el caudal máximo, y las dos lagunas en paralelo.

$$TRH = \frac{V_{laguna}}{Q_{MAX}\ /\ n°_{lagunas}} = \frac{2 * 3.043{,}78\ m^3}{91{,}46\ \frac{m^3}{d}} = 66{,}71\ d$$

SISTEMA DE LODOS ACTIVOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA.

Los parámetros de entrada para esta etapa del Sistema LAAE son:

Caudal de Diseño Q = 78,81 m^3/d
DBO entrada S_0 = 4.603,32 mg/l
DBO salida S = 160 mg/l

A continuación, en la *tabla 107*, se pueden identificar los parámetros de diseño utilizados y el valor adoptado.

Tabla 107 - Parámetros de diseño del sistema de Lodos Activos con Aireación Extendida.

Parámetros de diseño		Unidad	Rango	valor adoptado	Valor
Tiempo de retención Celular	θc	d	20 - 30	20	
Sólidos Suspendidos volátiles en Licor de Mezcla	Xv	mg/l	3000 - 6000	4.500	
Coeficiente cinético	Y	-		0,5	
	Kd	-	1/d	0,055	
Biomasa de recirculación	Xr	mg/l		10.000	

A partir de los valores adoptados y del caudal de diseño se calculó el volumen del reactor aeróbico a partir de

$$V = \frac{\theta_c\ Y\ Q\ (S_0 - S)}{X_V\ (1 + K_d\ \theta_c)} = \frac{20\ d\ 0{,}5\ \ 78{,}81\frac{m^3}{d}\ \ (4.603{,}32\frac{mg}{l} - 160\frac{mg}{l})}{4500\ \frac{mg}{l}(1 + \ 0{,}055\ \frac{1}{d}\ 20\ d)} = 370{,}55\ m^3$$

Tomando el volumen resultante, se calculó la relación F/M, parámetro utilizado para determinar la concentración de volátiles (X_v) necesaria en el reactor a una tasa de carga (S_0)
particular, llegando al siguiente valor:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q\ S_0}{V\ X'_V} = \frac{78{,}81\frac{m^3}{d}\ \ 4.603{,}32\frac{mg}{l}}{370{,}55\ m^3\ 4500\ \frac{mg}{l}} = 0{,}22$$

Considerando que según lo manifestado en los valores de diseño el límite superior de esta relación es de 0,20, se ajustó el volumen del reactor a 400 m^3 y se recalculó la F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{Q\ S_0}{V\ X'_V} = \frac{78{,}81\frac{m^3}{d}\ \ 4.603{,}32\frac{mg}{l}}{400\ m^3\ 4.500\ \frac{mg}{l}} = 0{,}20$$

Validada la F/M, se define como el volumen del reactor a **400 m^3.** A partir del volumen se dimensiona el reactor teniendo en cuenta que el mismo será rectangular con una relación largo (L) ancho (S) de 2:1, con una revancha (r) de 0,50 m

Altura al pelo de agua (h) 4 m

$$Área = \frac{V}{h} = \frac{400\ m^3}{4\ m} = 100\ m^2$$

$$\mathrm{L} = \sqrt{2 * Área} = 14{,}14\ m$$

$$\mathrm{S} = L/2 = 7{,}07\ m$$

Por cuestiones constructivas se decide adoptar las siguientes medidas:

h=4 m
L=14,20 m
S=7,10 m
r=0,50 m

Con el volumen y las dimensiones del reactor definidas se estimó el tiempo de retención hidráulico (TRH).

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{370{,}55\ m^3}{78{,}81\ \frac{m^3}{d}} = 4{,}70\ d$$

El caudal de recirculado se calculó a partir de:

$$Q_r = Q\ \frac{X_V}{X_r + X_V} = 78{,}81\ \frac{m^3}{d} * \frac{4.500\ \frac{mg}{l}}{4.500\ \frac{mg}{l} + \ 10.000\ \frac{mg}{l}} = 64{,}48\ \frac{m^3}{d}$$

A partir de dicho caudal se valida que la relación entre el caudal de ingreso y el recirculado responda esté dentro del rango de diseño.

$$\frac{Q_r}{Q} = \frac{64{,}48\ \frac{m^3}{d}}{78{,}81\ \frac{m^3}{d}} = 0{,}82$$

Luego se determina la carga volumétrica:

$$COV = \frac{CO}{V} = \frac{362{,}78\ \frac{kg_{DBO}}{d}}{400\ m^3} = 0{,}91\ \frac{kg_{DBO}}{m^3\ d}$$

La purga de lodos (Q_P), la producción de volátiles (P_x) y la masa de sólidos volátiles purgados (X_p), se calculó a partir de las siguientes expresiones:

$$Q_P = \frac{V\ X'_V}{\theta_c\ X_r} = \frac{400\ m^3 * 4500\ \frac{mg}{l}}{20\ d * 10.000\ \frac{mg}{l}} = 9{,}00\ \frac{m^3}{d}$$

$$Px = \frac{Y_{obs}\ Q\ (S_0 - S)}{1.000\frac{g}{kg}} = \frac{\frac{Y}{1 + (K_d * \theta_c)}\ Q\ (S_0 - S)}{1.000\frac{g}{kg}}$$

$$= \frac{\frac{0{,}5}{1 + (0{,}055\frac{1}{d}\ 20\ d)} * 78{,}81\ \frac{m^3}{d}\ (4.603{,}32\frac{mg}{l} - 160\frac{mg}{l})}{1.000\frac{g}{kg}}$$

$$= 83{,}37\ kg/d$$

$$X_P = \ Q_P\ X_r = 9{,}00\ \frac{m^3}{d} * 10.000\ \frac{mg}{l} = 90\frac{kg}{d}$$

NITRIFICACIÓN

A continuación, se valida que, los tiempos de retención hidráulica (TRH) y retención celular obtenidos, cumplan con los requisitos para la nitrificación completa del amonio del efluente. Para ello se adoptaron los valores que figuran en la *tabla 108*.

Tabla 108 - Parámetros y valores adoptados para la verificación del proceso de nitrificación

Nitrógeno total de Keldahl en ingreso	NTK	mg/l	1.793
Nitrógeno amoniacal en ingreso	N0	mg/l	1.434
Nitrógeno amoniacal en salida	N	mg/l	60
Nitrógeno orgánico no biodegradable	SON	mg/l	5
Coeficiente de asimilación de N	ah	-	0,5-0,7

El nitrógeno a oxidar (NO_X) se estimó a partir de:

$$NO_x = NTK - N - \ N_{asim} - SON = \ NTK - N - (0{,}08 * (S_0 - S) * ah) - SON$$
$$= 1.793\frac{mg}{l} - 60\frac{mg}{l} - 213{,}28\ \frac{mg}{l} - 5\frac{mg}{l} = 1.514{,}93\ \frac{mg}{l}$$

Para el cálculo de la tasa de nitrificación específica se consideraron los valores representados en la *tabla 109.*

Tabla 109 - Parámetros y valores adoptados para el cálculo de la tasa de nitrificación especifica.

Parámetro		Unidad	Rango	Valor adoptado
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	2 - 4	4
Cte. De velocidad media de OD	K_{O2}	mg/l	0 - 1	0,20
Cte. De velocidad media de N	K_N	mg/l	0,4	0,4
Tasa de crecimiento celular	μ_m	$mg_{NH3-N}/(mg_{SSV} * d)$	0,3 - 3	1,50
Coeficiente de produccion	Y_N	mg_{NH4}/mg_{SSV}	0,1 - 0,3	1
Coeficiente de degradacion endógena	K_{dN}	1/d	0,02 - 0,06	0,05

$$\mu'_N = \mu'_{N,MAX} * \frac{N}{K_N + N} * \frac{OD}{K_{O_2} + OD}$$

$$= 1.50 \frac{mg_{NH_3-N}}{mg_{ssv} * d} * \frac{60 \frac{mg}{l}}{172 \frac{mg}{l} + 60 \frac{mg}{l}} * \frac{4 \frac{mg}{l}}{0.20 \frac{mg}{l} + 4 \frac{mg}{l}} = 1{,}42 \frac{1}{d}$$

Luego se calculó la fracción de bacterias nitrificantes:

$$f_N = \frac{0{,}15\ NO_x}{a_H(S_0 - S) + 0{,}15\ NO_x}$$

$$= \frac{0{,}15 * 1.514{,}93\ mg/l}{0{,}6\ (4.603{,}32 - 160)\ mg/l\ + (0{,}15\ *\ 1.514{,}93\ mg/l)} = 0{,}08$$

Velocidad de nitrificación:

$$RN = \mu'_N * f_N * X_V = 1{,}42 \frac{1}{d} * 0{,}08 * 4.500 \frac{mg}{l} = 501{,}57 \frac{mg}{l\ *\ d}$$

Tiempo de retención hidráulico para la nitrificación (TRH_N):

$$TRH_N = \frac{NO_X}{RN} = \frac{1.514{,}93 \frac{mg}{l}}{501{,}57 \frac{mg}{l\ *\ d}} = 3{,}02\ d$$

Los lodos producidos a partir de la nitrificación se calcularon a partir de:

$$P_{x,N} = \left(\frac{Q\ Y_n NO_x}{1 + k_{dN}\theta_c}\right) * \frac{1}{1000} = \left(\frac{78{,}81 \frac{m^3}{d} * 1 * 1.514{,}93 \frac{mg}{l}}{1 + \left(0{,}05 \frac{1}{d}\ 20\ d\right)}\right) * \frac{1}{1000} = 59{,}69 \frac{kg}{d}$$

El tiempo de retención mínima para la nitrificación se calculó a partir de:

$$\theta_{c,N} = \frac{X_V * TRH_N}{P_{x,N} * \left(\frac{1.000}{Q}\right)} = \frac{4.500\frac{mg}{l} * \frac{1.514,93\frac{mg}{l}}{501,57\frac{mg}{l*d}}}{59,69\frac{kg}{d} * \frac{1.000}{78,81\frac{m^3}{d}}} = 17,94\ d$$

Tal como se manifestó anteriormente, el tiempo de retención celular adoptado es de 20 días por lo cual cumple con el tiempo mínimo para la nitrificación.

DESNITRIFICACIÓN

Para validar la desnitrificación, se utilizaron los parámetros de diseño de la *tabla 110,* y los respectivos valores adoptados.

Tabla 110 - Parámetros y valores adoptados para validar el proceso de desnitrificación.

Parámetros de diseño		Unidad	Rango de diseño	Valor típico
Tasa de desnitrificación específica	μ_{DN}	Kg_{NO3}-N/Kg_{SSV} d	0,03-0,11	0,30
Fraccion de nitrógeno a nitrificar	f	-	0,5-0,9	0,75
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	<1	0,3
Vol. De reactor anóxico sobre el volumen	V_{anox}/V_{total}	%	10-40	30,00
Potencia de mezcla requerida	pe_{AI}	W/m^3	5-10	7,5
Tmín promedio agua residual		°C		25,06

Tasa de desnitrificación (μ'_{DN})

$$\mu'_{DN} = \mu_{DN} * 1,09^{T-20} * [1 - OD] = 0,30 * 1,09^{25,06-20} * [1 - 0,3] = 0,32\frac{1}{d}$$

Tiempo de residencia hidráulica para la desnitrificación (TRH_{DN}):

$$TRH_{DN} = TRH_N * \frac{\mu'_N * f_N * f}{\mu'_{DN}(1 - f_N)} = 3,02\ d * \frac{1.42\frac{1}{d} * 0,08 * 0,75}{0,32\frac{1}{d} * (1 - 0,08)} = 0,84\ d$$

El tiempo de retención total es:

$$TRH_{total} = TRH_N + TRH_{DN} = 3,02\ d + 0,84\ d = 3,86\ d$$

Luego se calculó el volumen del reactor anóxico (V_{NX}) a partir de:

$$V_{NX} = TRH_{DN} * Q = 0{,}84\ d * 78{,}81 \frac{m^3}{d} = 66{,}50\ m^3$$

Nitrógeno a disnitrificar (N_{DN})

$$N_{DN} = TRH_{DN} * \mu'_{DN} * X_V * (1 - f_N) = 0{,}84\ d * 0{,}32 \frac{1}{d} * 4.500 \frac{mg}{l} * (1 - 0{,}08)$$
$$= 1.136{,}20 \frac{mg}{l}$$

Nitrato a la salida ($NO_{3,s}$):

$$NO_{3,s} = NO_x - N_{DN} = 1.514{,}93 \frac{mg}{l} - 1.136{,}20 \frac{mg}{l} = 378{,}73 \frac{mg}{l}$$

DBO removida (S_{DN}):

$$S_{DN} = N_{DN} * \frac{3\ mg_{DBO}}{mg_N} = 3.408{,}59 \frac{mg}{l}$$

DBO a remover en el reactor aeróbico (S_{RA}):

$$S_{RA} = S_0 - S - S_{DN} = 4.603{,}32 \frac{mg}{l} - 160 \frac{mg}{l} - 3.408{,}59 \frac{mg}{l} = 1.034{,}72 \frac{mg}{l}$$

Tasa de recirculación (R_g):

$$R_g = \frac{1}{1 - f} - 1 = \frac{1}{1 - 0{,}75} - 1 = 3$$

Recirculación interna (R_{int}):

$$R_{int} = R_g - R_L = 3 - 0{,}82 = 2{,}18$$

Potencia de mezcla (P):

$$P = Pe_{A1} * V = 7{,}5 \frac{W}{m^3} * 66{,}50\ m^3 = 498{,}73\ W$$

Relación entre el tiempo de retención hidráulica total y el tiempo de retención hidráulica para la desnitrificación:

$$\frac{TRH_{DN}}{TRH_{total}} = \frac{0{,}84\ d}{3{,}86\ d} = 0{,}22$$

Es decir, el tiempo de residencia hidráulico estimado para la desnitrificación corresponde a un 22% del total, lo cual se encuentra dentro de los rangos típicos para sistemas de nitrificacion-desnitrificacion y remoción biológica de nutrientes.

La relación entre el volumen del reactor anóxico con respecto al volumen total se calculó a partir de:

$$\frac{V_{DN}}{V} = \frac{66{,}50\ m^3}{400\ m^3} = 0{,}17$$

Teniendo en cuenta que el reactor tiene un alto de 4 m y un ancho de 7,10 m, el largo del reactor anóxico (l_{rxa}) se determina como:

$$l_{rxa} = \frac{V_{DN}}{S * h} = \frac{66{,}50\ m^3}{7{,}10\ m * 4\ m} = 2{,}34\ m$$

SISTEMA DE AIREACIÓN

A modo práctico se resumen en la *tabla 111* los datos de entrada para el diseño del sistema de aireación, y en la siguiente (*tabla 112*) los parámetros de diseño y sus respectivos valores.

Tabla 111 - Datos de entrada para el diseño del sistema de aireación.

Parámetros de diseño		Unidad	Valor adoptado
Caudal de diseño	Q	m3/d	78,81
Caga orgánica al ingreso	S_0	mg/l	4.603,32
Carga orgánica a la salida	S	mg/l	160,00
Nitrógeno a Oxidar	Nox	mg/l	1.514,93
Temperatura del líquido en invierno	T_i	°C	17,61
Temperatura del líquido en verano	T_v	°C	30,73
Altura Sobre el nivel del mar	h	msnm	429
Salinidad	Sal	ppm	20,00
Producción de lodos	P_x	kg/d	83,37

Tabla 112 - Datos de entrada para el diseño del sistema de aireación.

Parámetro		Unidad	Diseño	adoptado
Factor de conversión DBO5 en DBOL	f_{RO}	-	0,45 - 0,7	1
Concentración de O2 disuelto en el efluer	Cs	mg O2/l	-	9,17
Solubilidad de O2 a T invierno	δi	mg/l	-	10,66
Solubilidad de O2 a T verano	δv	mg/l	-	8,11
Factor de corrección a 435 m	f_{co}	-	-	0,95
Concentración de oxígeno en condiciones	C_l	mg O2/l	1,5 -3	2,00
Factor de conversión de trasnferencia de	a	-	0,40 - 0,80	0,6
Factor de correccion por salinidad y tensi	β	-	0,90 - 0,95	0,90

$$RO = \frac{Q(S_0 - S)}{f_{R0} * \frac{1.000kg}{g}} - 1{,}42P_x$$

$$= \frac{78{,}81\ \frac{m^3}{d}(4.603{,}32 - 160{,}00)\frac{mg}{l}}{1 * \frac{1.000kg}{g}} - \left(1{,}42 * 83{,}37\frac{kg}{d}\right)$$

$$= 581{,}95\frac{kg}{d}$$

Requerimiento de oxígeno contemplando la nitrificación (RO_N)

$$RO_N = RO + 4{,}57\ \frac{QNO_X}{1.000} - 2{,}86\ \frac{QN_{DN}}{1.000}$$

$$= 581{,}95\frac{kg}{d} + 4{,}57\ \frac{78{,}81\frac{m^3}{d}\ 1.514{,}93\frac{mg}{l}}{1.000}$$

$$- 2{,}86\ \frac{78{,}81\frac{m^3}{d}\ 1.136{,}20\frac{mg}{l}}{1.000} = 871{,}47\frac{mg}{l}$$

Concentración de O_2 disuelto en el efluente a T_i, altura y salinidad (C_{wi})

$$C_{wi} = \delta_i * f_{co} = 10{,}66\frac{mg}{l} * 0{,}95 = 10{,}13\ \frac{mg_{o2}}{l}$$

Concentración de O_2 disuelto en el efluente a T_v, altura y salinidad (C_{wv})

$C_{wv} = \delta_v * f_{co} = 8{,}11\frac{mg}{l} * 0{,}95 = 7{,}70\frac{mg_{o2}}{l}$Se calculó el Requerimiento Estandar de Oxigeno (SOR) tanto para el invierno (SOR_i) como para el verano (SOR_v)

$$SOR = \frac{RO_N * C_s}{(\beta C_w - C_i) * 1{,}024^{T-20} * \alpha}$$

$$SOR_i = \frac{RO_N * C_s}{(\beta C_{wi} - C_i) * 1{,}024^{T_i-20} * \alpha}$$

$$= \frac{871{,}47\,\frac{kg}{d} * 9{,}17\,\frac{mg_{O2}}{l}}{\left(0{,}90 * 10{,}13\,\frac{mg_{o2}}{l} - 2{,}00\,\frac{mg_{O2}}{l}\right) * 1{,}024^{12{,}69-20} * 0{,}6}$$

$$= 1.981{,}33\,\frac{kg}{d} = 82{,}56\,\frac{kg}{h}$$

$$SOR_v = \frac{RO_N * C_s}{(\beta C_{wv} - C_i) * 1{,}024^{T_v-20} * \alpha}$$

$$= \frac{871{,}47\,\frac{kg}{d} * 9{,}17\,\frac{mg_{O2}}{l}}{\left(0{,}90 * 7{,}70\,\frac{mg_{o2}}{l} - 2{,}00\,\frac{mg_{O2}}{l}\right) * 1{,}024^{36{,}47-20} * 0{,}6}$$

$$= 2.092{,}90\,\frac{kg}{d} = 87{,}20\,\frac{kg}{h}$$

SEDIMENTACIÓN

Como última instancia del tren de tratamiento secundario se instala de un sedimentador circular para realizar la separación de la biomasa solida del efluente liquido tratado. El tanque constara de una zona de entrada y dispersión del efluente, la zona de sedimentación donde ocurre el proceso físico buscado, la zona de salida donde se recolecta el líquido clarificado y la zona de lodos donde los sólidos depositados se acumulan. En la tabla 113, se describen los valores de diseño adoptados para el desarrollo del sedimentador.

Tabla 113 - *Parámetros y valores adoptados para* el diseño del sedimentador.

Parámetro		Unidad	Rango de Diseño	Valor adoptado
Altura de sedimentador	H_{sed}	m	3 - 5	-
Tiempo de retención	TRH_{sed}	h	2 - 5	5
Carga superficial	C_s	m3/m2/d	8 - 16	16,00
Ángulo de tolva	σ	°	10 - 45	35
Diámetro canaleta tolva	D_{ct}	m	0,1 - 0,5	0,30

Se calcularon las dimensiones del sedimentador considerando el caudal de 78,81 m^3/d

Área del sedimentador $A_{sed} = \frac{Q}{C_s} = \frac{78{,}81\ \frac{m^3}{d}}{16{,}00\ \frac{m^3}{m^2 * d}} = 4{,}93\ m^2$

Volumen del sedimentador $V_{sed} = \frac{Q * TRH_{sed}}{\frac{24h}{d}} = \frac{78{,}81\ \frac{m^3}{d} * 5\ h}{24\frac{h}{d}} = 16{,}42\ m^3$

El sedimentador tiene una geometría circular con una la estructura de entrada (ascendente, central) que distribuirá uniformemente el afluente, evitando que se provoquen corrientes o altas velocidades.

Altura del sedimentador $H_{sed} = \frac{V_{sed}}{A_{sed}} = \frac{16{,}42\ m^3}{4{,}93\ m^2} = 3{,}33\ m$

Radio del sedimentador $r_{sed} = \sqrt{\frac{A_{sed}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4{,}93\ m^2}{\pi}} = 1{,}25\ m$

Altura de la tolva $H_{tolva} = \frac{(2 * r_{sed}) - D_{ct}}{2} * \tan\sigma = \frac{(2 * 1{,}25m) - 0{,}30m}{2} * \tan 35° = 0{,}52\ m$

Volumen de la tolva $V_{tolva} = \pi * \frac{H_{tolva}}{3} * \left[r_{sed}^2 + (\frac{D_{ct}}{2})^2 + \left(r_{sed}^2 * (\frac{D_{ct}}{2})^2\right)\right] = \pi * \frac{0{,}52\ m}{3} * \left[(1{,}25m)^2 + (\frac{0{,}30m}{2})^2 + ((1{,}25m)^2 * (\frac{0{,}30m}{2})^2)\right] = 0{,}89\ m^3$

$$H_{sed} + H_{tolva} = 3{,}33\ m + 0{,}52\ m = 3{,}85\ m$$

Considerando un 10% de revancha la altura total del sedimentador queda en 4,25 m

ZONA DE ENTRADA

Para la zona de entrada se utilizaron los parámetros y valores presentes en la *tabla 114.*

***Tabla 114** - Parámetros y valores adoptados para* el diseño de la zona de entrada del sedimentador.

Parámetro		Unidad	Rango de Diseño	Valor adoptado
Velocidad de Entrada	V_{in}	m/s	0,2 - 0,4	0,30
relación Diámetro deifusor / diámetro tot	D_{dif}/D_{sed}	%	15-20	15%
Altura de difusor	h_{dif}	m	1 - 3	1,00
Altura de difusor con orificios	$h_{dif,or}$	m	0,5 - 1	0,5
Diámetro orificios difusor	D_{or}	m	0,01 - 0,02	0,02

Difusor cilíndrico concéntrico

Área total de paso es decir el área total de los orificios

$$A_{tp} = \frac{Q}{86.400\frac{s}{d} * v_{in}} = \frac{78{,}81\,\frac{m^3}{d}}{86.400\frac{s}{d} * 0{,}30\frac{m}{s}} = 3{,}04\,x10^{-3}\,m^2$$

Cantidad de orificios ($n_{orifcios}$)

$$n_{orificios} = \frac{A_{tp}}{A_{orificio}} = \frac{3{,}04\,x\,10^{-3} m^2}{\pi * (\frac{D_{ori}}{2})^2} = \frac{3{,}04\,x\,10^{-3} m^2}{2{,}04\,x\,10^{-4} m^2} = 17{,}21 => 18\,orificios$$

ZONA DE SALIDA

Para la salida del efluente, se dispondrán vertederos del tipo triangular. Estos se diseñaron teniendo en cuenta los parámetros y valores de la *tabla 115.*

Tabla 115 *- Parámetros y valores adoptados para* el diseño de la zona de salida del sedimentador.

Variable		Unidad	Rango	Valor empleado
Velocidad de Salida	v_{out}	m/s	0,1- 0,4	0,10
Caudal de recolección lineal	q	l/s/m	2 - 5	5
Altura de canaleta recolectora	h_c	m	0,2 - 1	0,20
Altura de vena liquida	h_v	m	0,07 - 0,15	0,07
Angulo de vertedero	Ω	°	45-90	0,45

Área de la canaleta $A_c = \frac{Q}{v_{out}} = \frac{78{,}81\frac{m^3}{d}}{0{,}10\frac{m}{s}} = 0{,}01\,m^2$

Ancho de la canaleta $a_c = \frac{A_c}{h_c} = \frac{0{,}01\,m^2}{0{,}07\,m} = 0{,}05\,m$

Largo de la canaleta $l_c = \frac{Q}{q} = \frac{78{,}81\frac{m^3}{d}}{5\,\frac{l}{s*m}} * \frac{1.000\frac{l}{m^3}}{86.400\frac{s}{d}} = 0{,}18\,m$

Caudal del vertedero $q_{v\left(\frac{m^3}{s}\right)} = 1{,}34\,h_v^{2{,}47} = 1{,}34 * (0{,}07)^{2{,}47} = 0{,}0019 => 6{,}77\,\frac{m^3}{h}$

Ancho de los vertederos $a_v = 2 * \tan\left(\frac{\Omega}{2}\right) * h_v = 0{,}058\,m = 5{,}8\,cm$

Número de vertederos $n_v = \frac{l_c}{a_v} = \frac{0{,}18\ m}{0{,}058\ m} = 3{,}15 => 4\ vertederos$

Distancia entre los vertederos $d_v = \frac{p_{sedimentador} - l_c}{n_v} = \frac{(2\pi * r_{sed}) - 0{,}18m}{4} = 1{,}92\ m$

VERIFICACIÓN DE CARGA DE SÓLIDOS

Se verifica que la carga de sólidos esté dentro de los parámetros recomendados (entre 0,97 y 4,88 Kg/m^{2}h) por la bibliografía especializada (Metclaf et al., 1996)

$$\text{Carga de sólidos} = C_s * X_T = 16\ \frac{m^3}{m^2 * d} * 5.625\ \frac{mg}{l} * \frac{kg\ *\ 1.000\ \frac{l}{m^3}}{\left(1x10^6 mg * 24\ \frac{h}{d}\right) *}$$

$$= 3{,}75\ \frac{kg}{m^2 * h}$$

CLORACIÓN.

La cámara de cloración se diseñó a partir de los parámetros presentes en la *tabla 116.*

Tabla 116 - *Parámetros y valores adoptados para* el diseño de la cámara de cloración.

Variable		Unidad	Valor
Tiempo de contacto	t_c	min	30
Altura	h	m	1,00
Caudal	Q	m^3/d	78,81
Ancho del canal	A_{canal}	m	0,30

Volumen de la cámara de contacto (V_{cc})

$$V_{cc} = t_c * Q = 0{,}5\ h * \frac{78{,}81\ \frac{m^3}{d}}{24\ \frac{h}{d}} = 1{,}64\ m^3$$

Tomando un tirante de 1 m, la superficie de la cámara de contacto (S_{cc}) es de 1,64 m^2.

Largo total del canal (L_c)

$$L_c = \frac{S_{cc}}{A_{canal}} = \frac{1{,}64\ m^2}{0{,}30\ m} = 5{,}47\ m$$

Cantidad de Tabiques $n_{tabiques} = 10$

Largo individual de cada canal (l_c)

$$l_c = \frac{L_c}{n_{tabiques}} = \frac{5{,}47\ m}{10} = 0{,}55\ m$$

Ancho de la cámara (A_{CC}):

$$A_{cc} = l_c = 0{,}55\ m$$

Considerando que la división de los tabiques va a estar dada por una pared de un ancho de 5 cm, el largo total de la cámara de cloración (X_{cc}):

$$X_{CC} = \left(n_{tabiques} * A_{canal}\right) + \left(\left(n_{tabiques} - 1\right) * a_{pared}\right)$$
$$= (10 * 0{,}30\ m) + (9 * 0{,}05\ m) = 3{,}45\ m$$

Verificación de la velocidad del efluente (v_{efl})

$$v_{efl} = \frac{Q}{h * A_{canal}} = \frac{9{,}12\ x\ 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}}{1\ m * 0{,}30\ m} = 3{,}04\ x10^{-3} m/s\ < 0{,}075 \frac{m}{s}$$

Para el cálculo de la dosis de cloro a aplicar se tomó como referencia la concentración de coliformes relevada por AYSA (2008), de los afluentes a la planta de la Ciudad de Buenos Aires. Por otro lado, se consideró el límite establecido por el decreto 773/93, reglamentario de la ley provincial 4741.

Coliformes admisibles N_e = 5.000 NMP/100 ml

Coliformes del efluente cloacal (N_0)

$$N_0 = \frac{4{,}6\ x\ 10^7 NMP * Q_{cloaacal}}{Q_{total}} = \frac{4{,}6\ x\ 10^7 NMP * 2{,}88\ \frac{m^3}{d}}{78{,}81\ \frac{m^3}{d}} = 2{,}16\ x\ 10^6 NMP$$

Se calculó del cloro residual (C_r) a partir de la relación entre N_0 y N_e

$$\frac{N_0}{N_e} = (1 + 0{,}23\ C_r t_c)^3$$

$$C_{r(\frac{mg}{l})} = \frac{\sqrt[3]{\frac{2{,}16\ x\ 10^6 NMP}{5.000\ NMP}} - 1}{0{,}23 * 30\ min} = 0{,}95 \frac{mg}{l}$$

A partir de la curva de Dosis de Cloro vs Cloro Residual (ver *figura 49*) se estimó que la dosis de aplicar es de 2 mg/l.

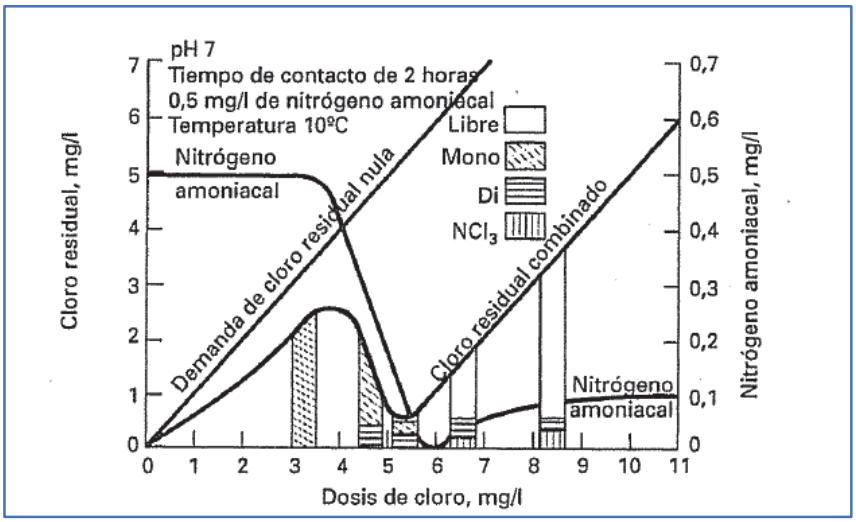


Figura 49 - Curva Dosis de Cloro vs Cloro Residual.

$$Dosis\ de\ cloro\ total = 2\frac{mg}{l} * Q_{total} = 2\frac{mg}{l} * 78{,}81\ \frac{m^3}{d} * \frac{kg*l}{1000\ m^3*mg} = 0{,}16\ kg/d$$

Considerando una concentración de cloro activo de 100 gramos por litro, se calculó el volumen diario de hipoclorito de sodio. Es importante considerar que la cantidad de cloro presente en la solución de hipoclorito de sodio se reduce con el tiempo debido a pérdidas hacia el ambiente. Por este motivo, en soluciones estandarizadas de 100 gramos de cloro activo por litro se suele tomar como base de cálculo una concentración de 80 g/L.

$$q_{NaClO} = \frac{Q * 2\ mg/l}{80\ g/l} = \frac{78{,}81\frac{m^3}{d} * 2\frac{mg}{l}}{80\frac{g}{l}} = 1{,}97\frac{l}{h}$$

LAGUNA DE VUELCO.

Para el diseño de la laguna de vuelco se utilizó el balance hídrico determinado a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_r = Q_A + (PP * A) + I - E - Pe$$

En donde:

Q_r: es el caudal resultante del balance hídrico.

A: superficie de la laguna de evaporación

Q_A: Caudal entrante a la laguna.

PP: precipitaciones caídas sobre la laguna.

I: Caudal aportado por infiltración. -> en el caso de la laguna en esta zona se considerado despreciable en función de que la capa freática está muy por debajo del nivel base de la laguna.

E: Caudal de lixiviado perdido por evaporación.

$$E = EVP * A * días$$

Pe: Caudal perdido por percolación. -> Tasa de percolación mensual = 90 m^3/ha = 0,009 m^3/m^2

$$Pe = 0{,}009 \frac{m^3}{m^2} * A$$

Para el cálculo del lixiviado perdido por evaporación, se utilizaron los parámetros de diseño presentes en la *tabla 117*. Cabe aclarar que tanto en la radiación como en la velocidad del viento se ha considerado el valor promedio anual.

***Tabla 117** - Parámetros y valores adoptados para* el cálculo del proceso de evaporación en la zona del RS de la ciudad de la Rioja.

Variable		Unidad	Valor
Radiación	Rn	MJ/m^2d	21,60
Velocidad del viento	u	m/s	3,33
Presión de vapor saturado	e_s	kpa	2,34
Constante psicrométrica	γ	kpa	0,06

La tasa de evaporación (EVP) para cada mes se calculó en función de la siguiente fórmula (Pinto Pozo, 2021)y arrojó los resultados que se visualizan en la *tabla 118.*

$$EVP = \frac{\Delta}{\lambda * (\Delta + \gamma)} * R_n + \frac{\gamma}{\lambda * (\Delta + \gamma)} * f_u * e_s$$

Donde el calor latente (λ), el gradiente de presión (Δ) y la función del viento (f_u), están definidos por:

$$\lambda = 2{,}501 - (0{,}002341 * T) \Delta = \frac{4098 * e_s}{(273{,}3+T)^2}$$

$$f_u = 6{,}43 * (1 + 0{,}536 * U)$$

***Tabla 118** - Resultados de los valores calculados de Temperatura de diseño, Calor Latente, Gradiente de presión de saturación de calor y Tasa de Evaporación, para la locación del RS de la ciudad de La Rioja.*

Calor latente	λ	MJ/kg	2,44	2,44	2,44	2,45	2,46	2,47	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,44
Gradiente de presión de saturación de vapor	Δ	kpa/°C	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
Tasa de evporación	**EVP**	**mm/ d*m²**	**5,74**	**5,76**	**5,77**	**5,81**	**5,85**	**5,88**	**5,88**	**5,86**	**5,82**	**5,79**	**5,76**	**5,74**

Se propuso una laguna de 1 m de profundidad, con una revancha de 0,30 m, 140 m de largo y 70 m de ancho, la cual va a ser ampliada a partir del primer año añadiendo una laguna de 110 m por 55 m de largo y ancho respectivamente.

Superficie inicial $A_0 = 9.800\ m^2$

Superficie añadida a partir del primer año $A_1 = 6.050\ m^2$

Superficie total $A_T = 15.850\ m^2$

Volumen total $V_T = 15.850\ m^3$

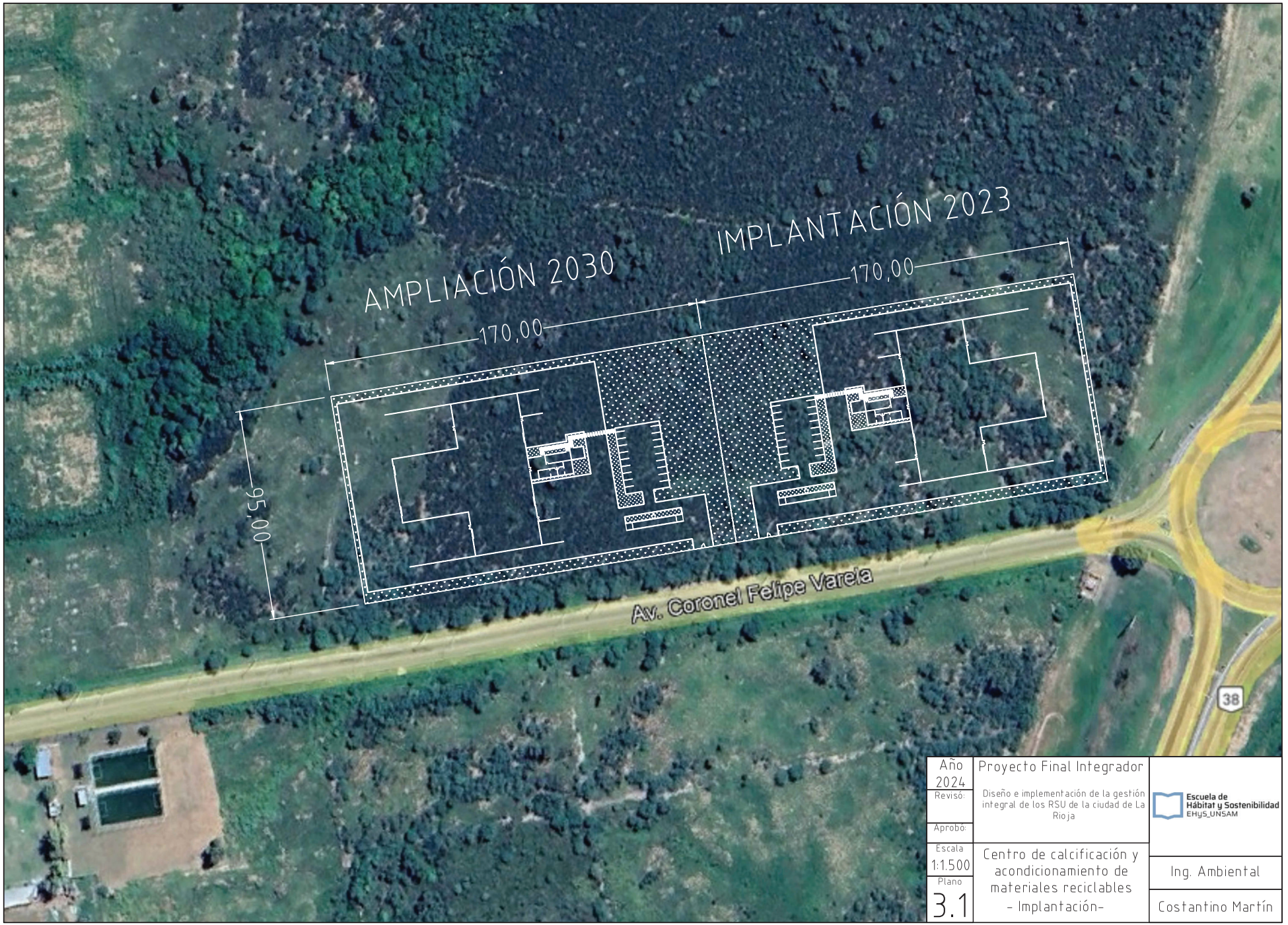
En función de las superficies y volúmenes anteriores se calcularon las diferentes variables que componen la fórmula de Q_r y el repectivo volumen acumulado (V_r), considerando las diferentes etapas de la construcción de la laguna de evaporación, para los primeros tres años. Estos valores se pueden ver reflejados en la *tabla 119*.

$$V_R = Q_{R(mes)} + Q_{R(mes-1)}$$

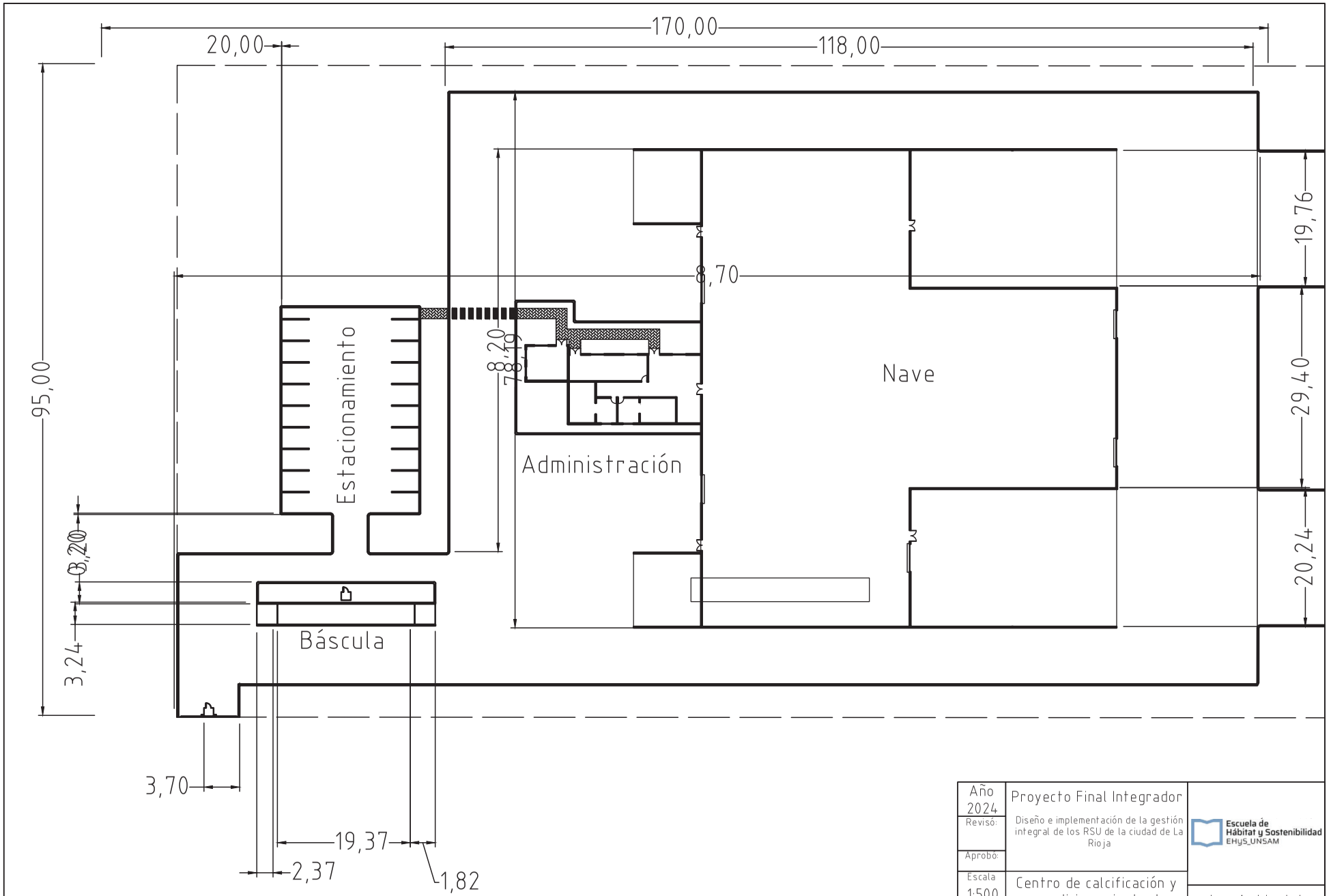
Tabla 119 - *Valores mensuales de precipitación, efluente percolados, evaporación y lixiviado afluente a las lagunas de vuelco y el balance hídrico y el respectivo volumen de líquido acumulado en el sistema de lagunas en función de la construcción de las mismas y la puesta en funcionamiento del sistema completo, para los tres primeros años de operación, en donde se estabiliza el sistema.*

Año	Mes	Precipitaciones		Percolado	Evaporacion	Afluente	Balance Hídrico	Volumen Acumulado
		PP	PP*A	Pe	E	Q_A	Q_r	V_r
		mm	m^3/mes	m^3/mes	m^3/mes	m^3/mes	m^3 /mes	m^3
1	Ene	90	882,00	88,20	1.744,27	2.443,07	1.492,60	1.492,60
	Feb	60	588,00	88,20	1.579,19	2.443,07	1.363,67	2.856,27
	Mar	55	539,00	88,20	1.753,90	2.443,07	1.139,97	3.996,24
	Abr	35	343,00	88,20	1.706,69	2.443,07	991,18	4.987,42
	May	10	98,00	88,20	1.777,47	2.443,07	675,39	5.662,81
	Jun	3	29,40	88,20	1.729,60	2.443,07	654,67	6.317,48
	Jul	5	49,00	88,20	1.787,25	2.443,07	616,61	6.934,09
	Ago	3	29,40	88,20	1.778,87	2.443,07	605,40	7.539,49
	Sept	5	49,00	88,20	1.712,05	2.443,07	691,81	8.231,31
	Oct	10	98,00	88,20	1.758,04	2.443,07	694,83	8.926,13
	Nov	30	294,00	88,20	1.693,32	2.443,07	955,54	9.881,68
	Dic	75	735,00	88,20	1.744,27	2.443,07	1.345,60	11.227,27
2	Ene	90	1.426,50	142,65	2.821,09	2.443,07	905,83	12.133,10
	Feb	60	951,00	142,65	2.554,10	2.443,07	697,31	12.830,41
	Mar	55	871,75	142,65	2.836,66	2.443,07	335,50	13.165,92
	Abr	35	554,75	142,65	2.760,30	2.443,07	94,87	13.260,78
	May	10	158,50	142,65	2.874,79	2.443,07	-415,87	12.844,91
	Jun	3	47,55	142,65	2.797,36	2.443,07	-449,40	12.395,51
	Jul	5	79,25	142,65	2.890,61	2.443,07	-510,94	11.884,57
	Ago	3	47,55	142,65	2.877,05	2.443,07	-529,08	11.355,49
	Sept	5	79,25	142,65	2.768,99	2.443,07	-389,32	10.966,17
	Oct	10	158,50	142,65	2.843,36	2.443,07	-384,44	10.581,73
	Nov	30	475,50	142,65	2.738,69	2.443,07	37,23	10.618,95
	Dic	75	1.188,75	142,65	2.821,09	2.443,07	668,08	11.287,03
3	Ene	90	1.426,50	142,65	2.821,09	2.443,07	905,83	12.192,85
	Feb	60	951,00	142,65	2.554,10	2.443,07	697,31	12.890,17
	Mar	55	871,75	142,65	2.836,66	2.443,07	335,50	13.225,67
	Abr	35	554,75	142,65	2.760,30	2.443,07	94,87	13.320,54
	May	10	158,50	142,65	2.874,79	2.443,07	-415,87	12.904,66
	Jun	3	47,55	142,65	2.797,36	2.443,07	-449,40	12.455,27
	Jul	5	79,25	142,65	2.890,61	2.443,07	-510,94	11.944,33
	Ago	3	47,55	142,65	2.877,05	2.443,07	-529,08	11.415,25
	Sept	5	79,25	142,65	2.768,99	2.443,07	-389,32	11.025,93
	Oct	10	158,50	142,65	2.843,36	2.443,07	-384,44	10.641,48
	Nov	30	475,50	142,65	2.738,69	2.443,07	37,23	10.678,71
	Dic	75	1.188,75	142,65	2.821,09	2.443,07	668,08	11.346,78

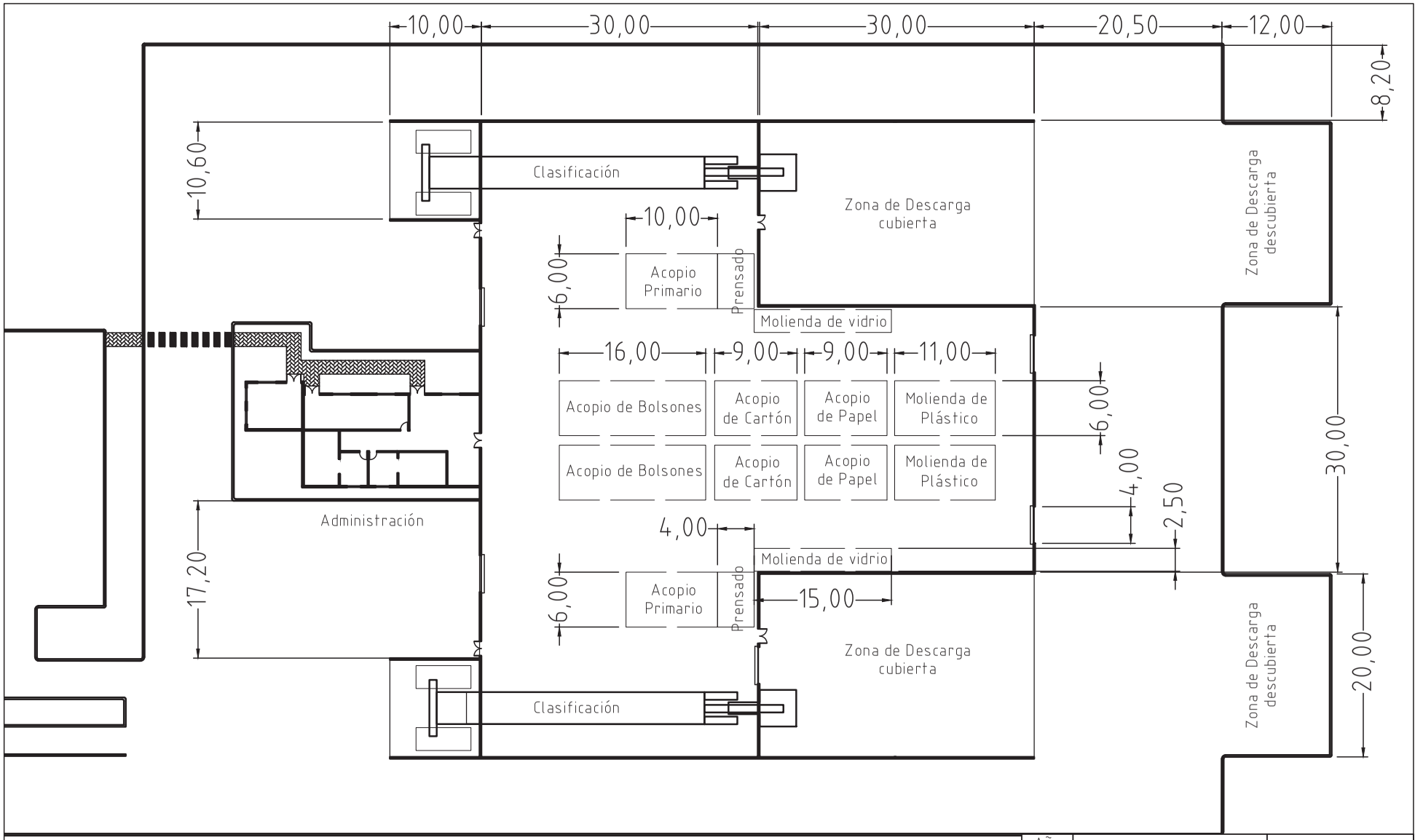
ANEXO II - PLANOS



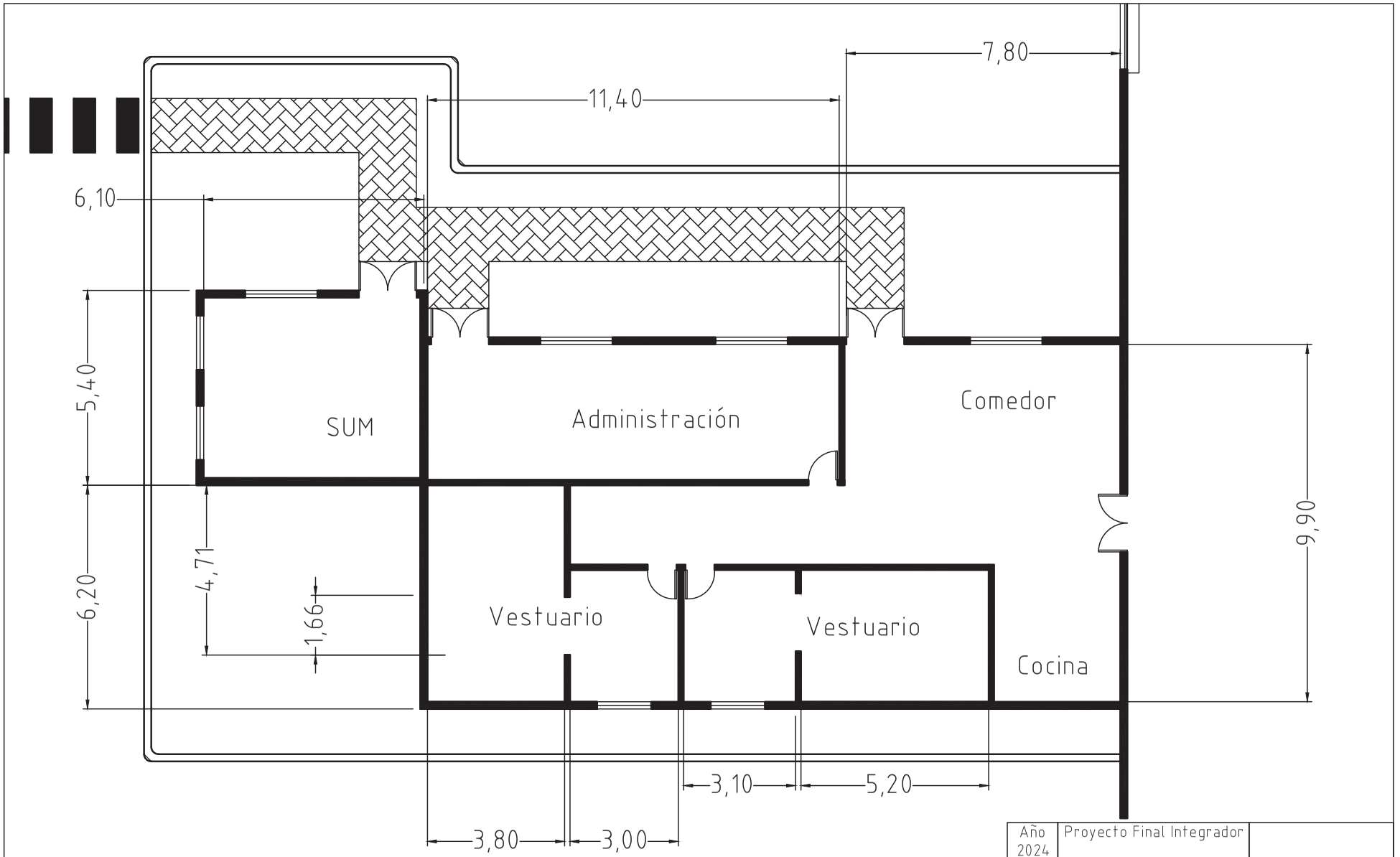
Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:1.500	Centro de calcificación y acondicionamiento de materiales reciclables - Implantación-	Ing. Ambiental
Plano 3.1		Costantino Martín



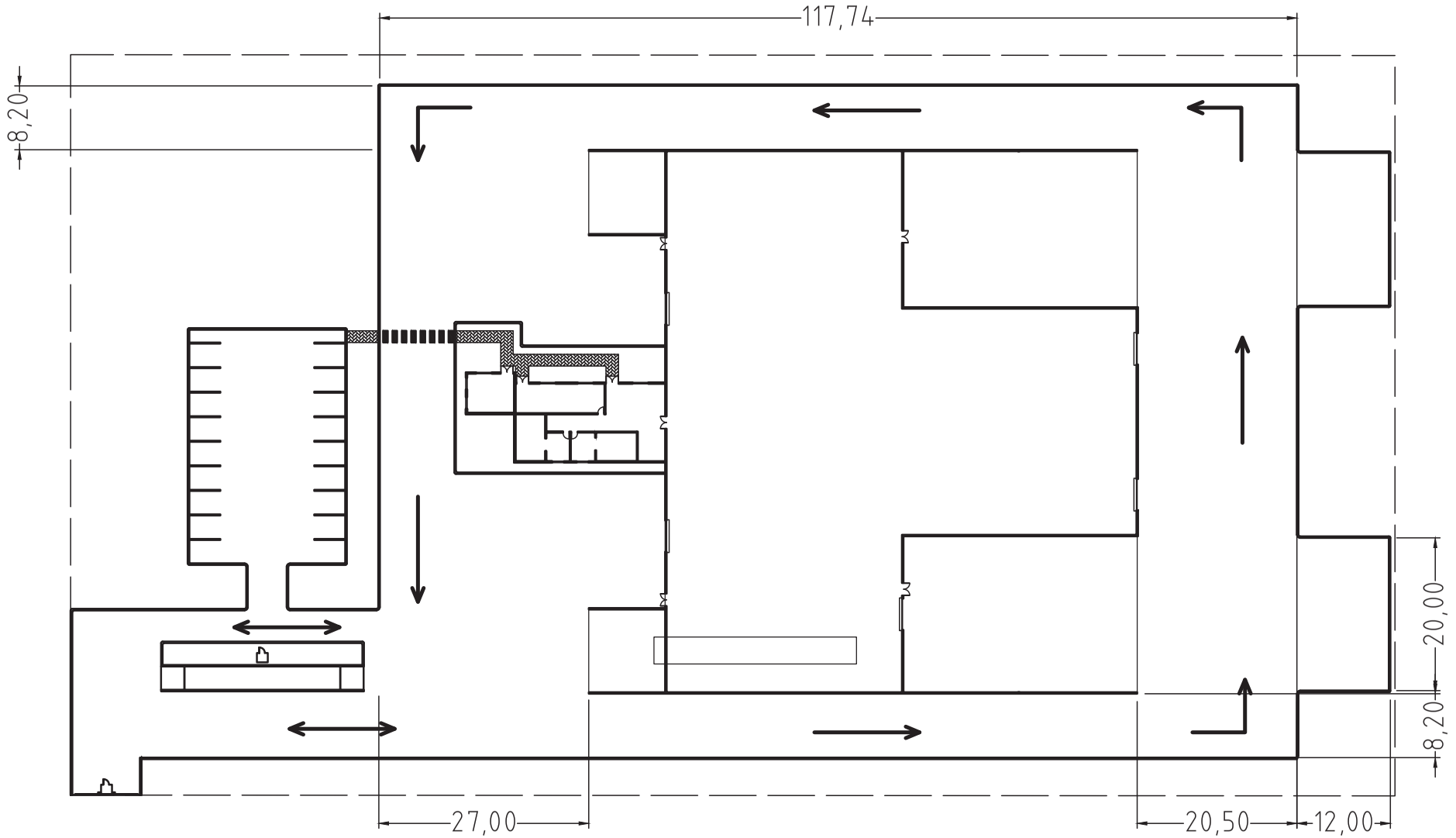
Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:500	Centro de calcificación y acondicionamiento de materiales reciclables - Lay out-	Ing. Ambiental
Plano 3.2		Costantino Martín



Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:400	Centro de calcificación y acondicionamiento de materiales reciclables - Lay outnave-	Ing. Ambiental
Plano 3.3		Costantino Martín



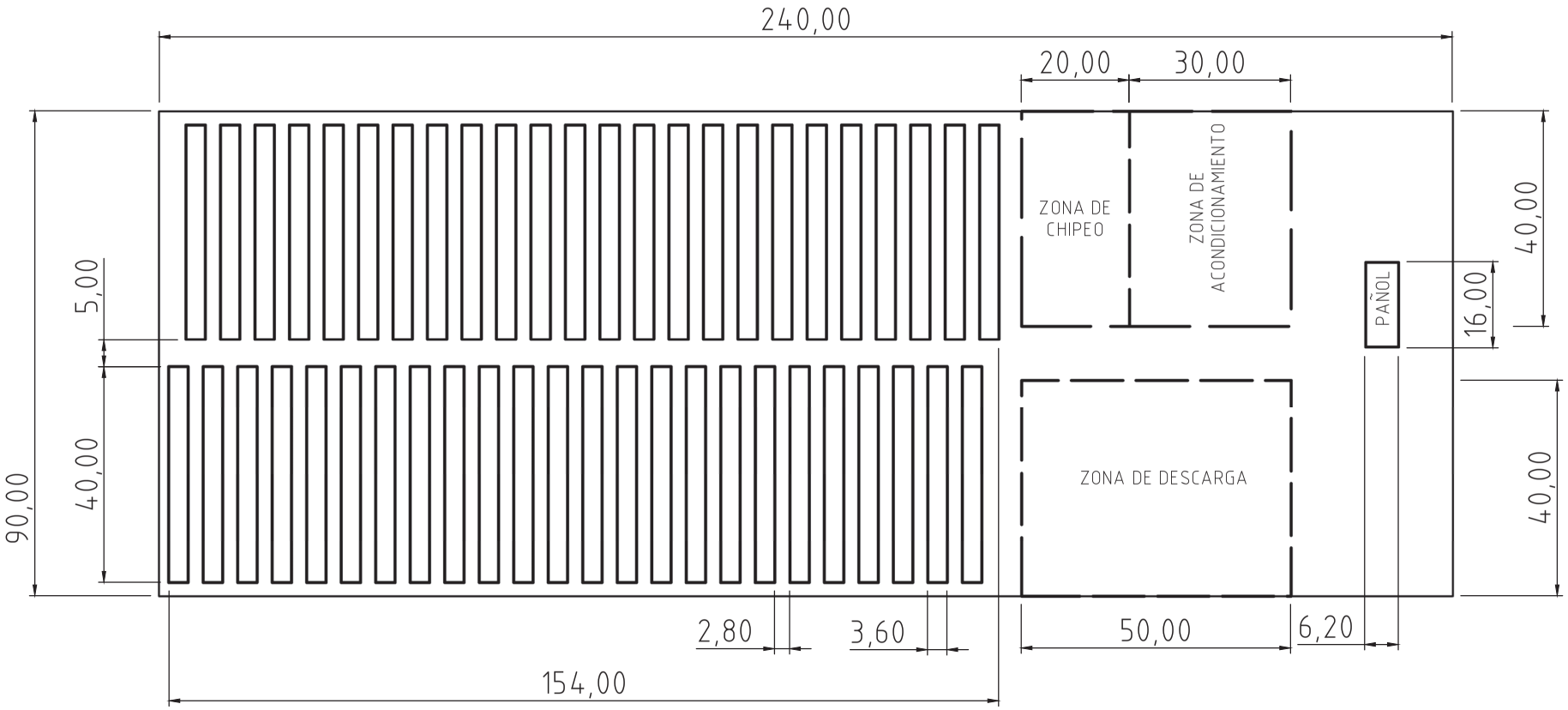
Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:100	Centro de calcificación y acondicionamiento de materiales reciclables	Ing. Ambiental
Plano 3.4	- Lay out administración-	Costantino Martín



Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:500	Centro de calcificación y acondicionamiento de materiales reciclables	Ing. Ambiental
Plano 3.5	- Circulación vehicular-	Costantino Martín

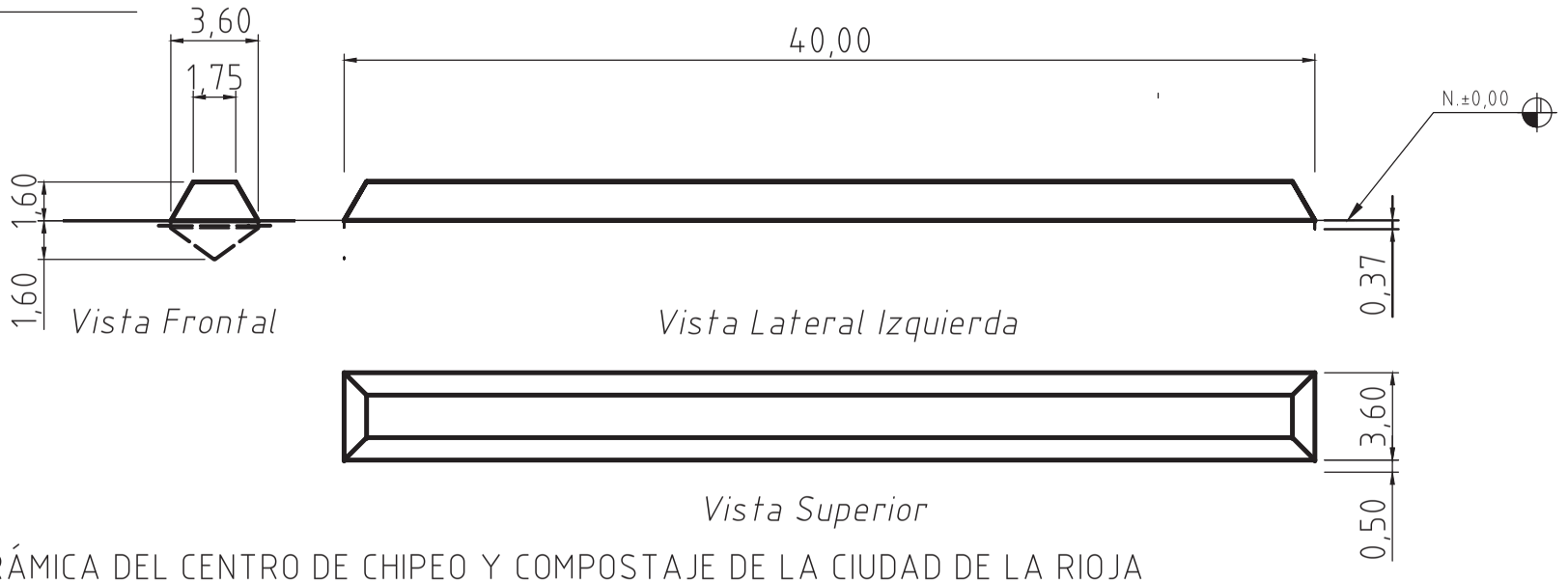
Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:2.000	Centro de Chipeo y Compostaje -Implantación-	Ing. Ambiental
Plano 4.1		Costantino Martín

CENTRO DE CHIPEO Y COMPOSTAJE DE LA CIUDAD DE LA RIOJA

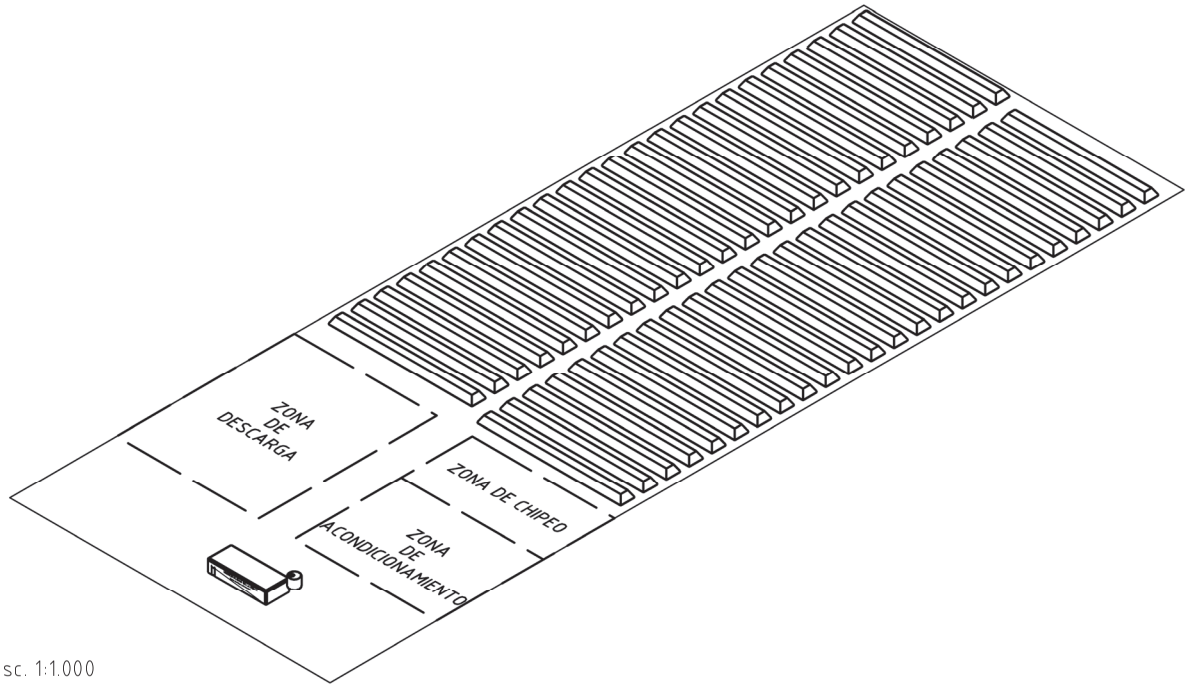


Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:800	Centro de Chipeo y Compostaje -Lay out-	Ing. Ambiental
Plano 4.2		Costantino Martín

CAMA DE COMPOSTAJE



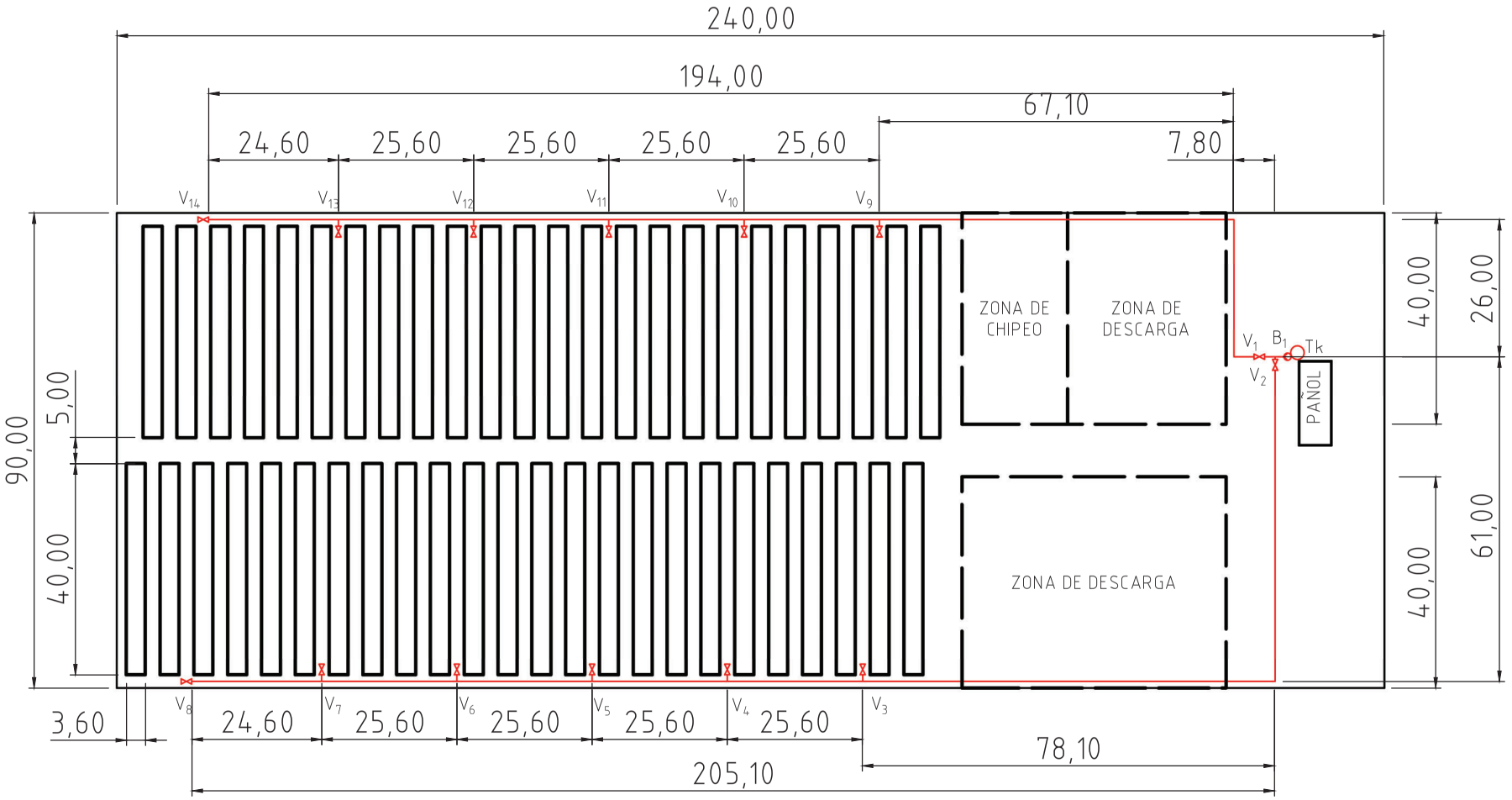
VISTA PANORÁMICA DEL CENTRO DE CHIPEO Y COMPOSTAJE DE LA CIUDAD DE LA RIOJA



Esc. 1:1.000

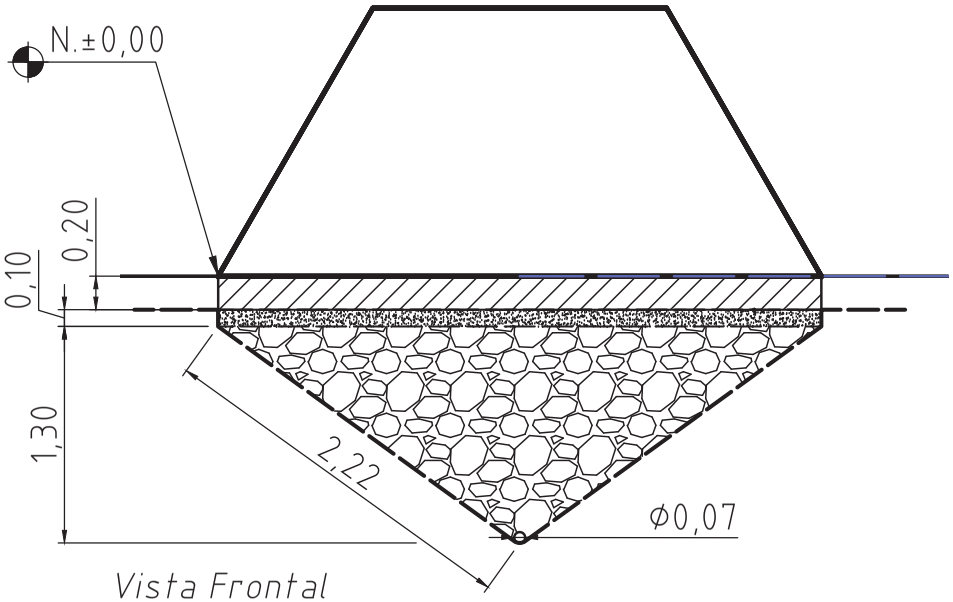
Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:800	Centro de Chipeo y Compostaje –Camas de compostaje–	Ing. Ambiental
Plano 4.3		Costantino Martín

SISTEMA DE RIEGO

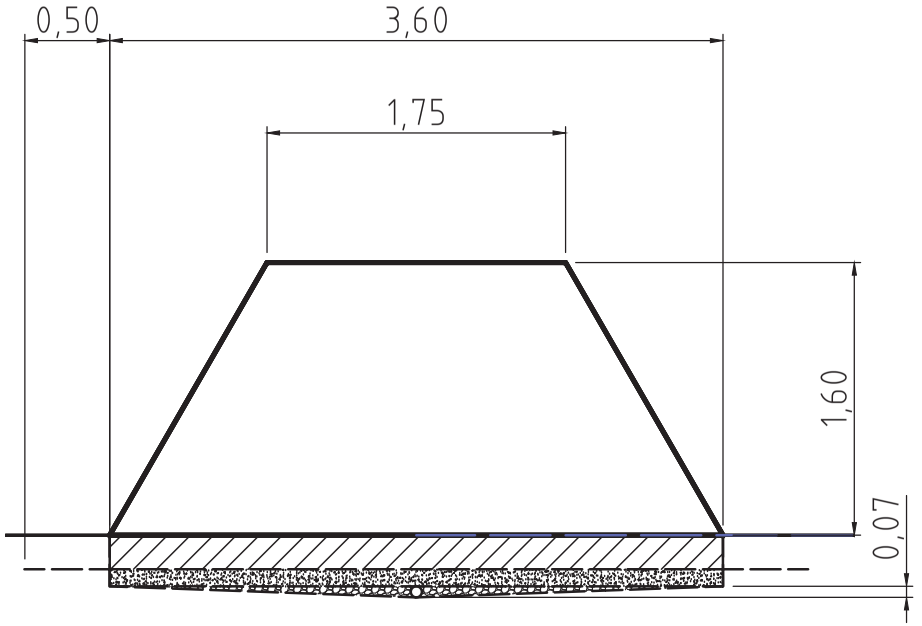


Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:800	Centro de Chipeo y Compostaje	Ing. Ambiental
Plano 4.4	–Sistema de Riego–	Costantino Martín

PERFIL DE CAMA DE COMPOSTAJE Y DETALLE DE BALSAS DE LIXIVIADOS



Vista Frontal

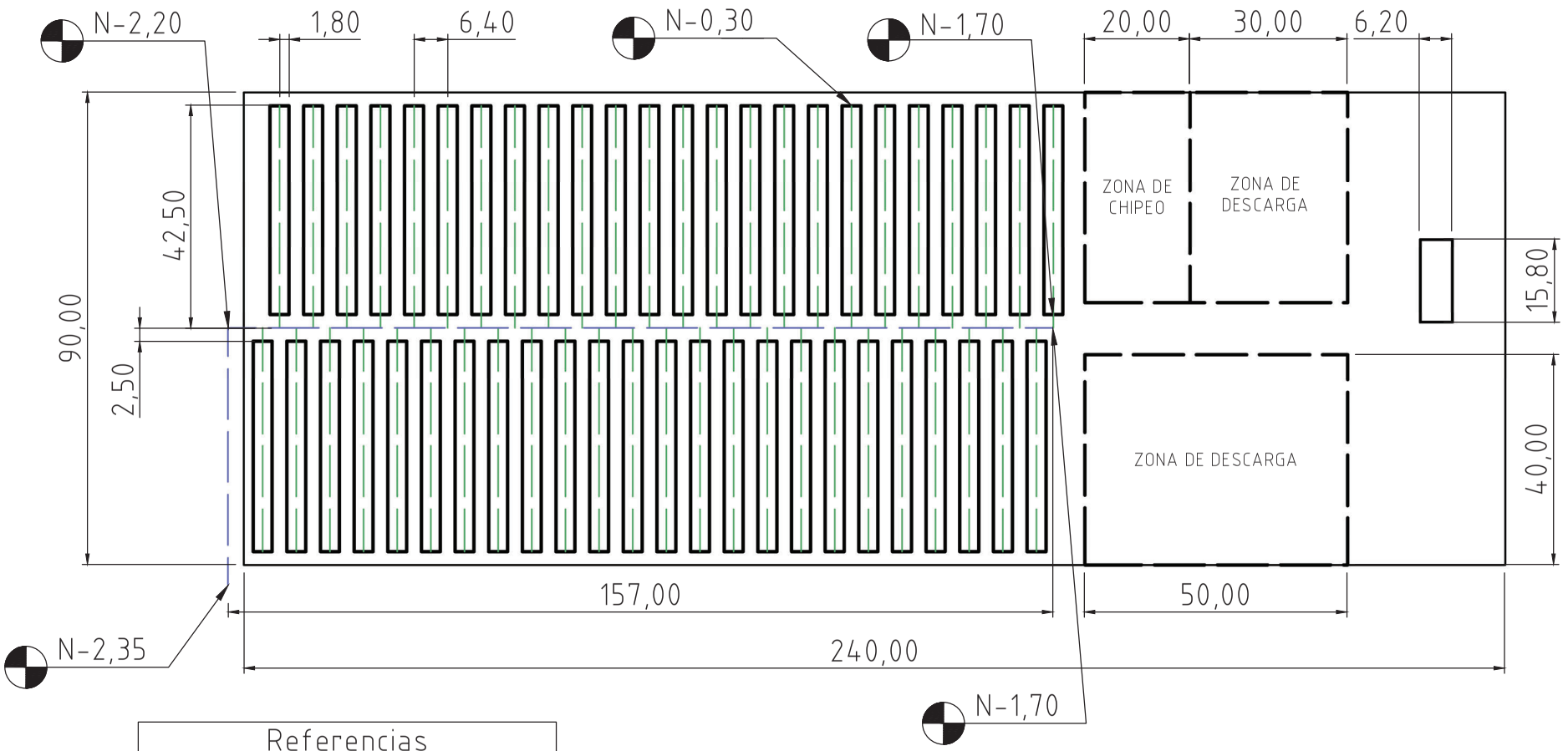


Vista Posterior

Tierra
Arena
Grava

Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:30	Centro de Chipeo y Compostaje	Ing. Ambiental
Plano 4.5	-Camas de Compostaje-	Costantino Martín

SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS



Referencias

Colectores secundarios

Colector Principal

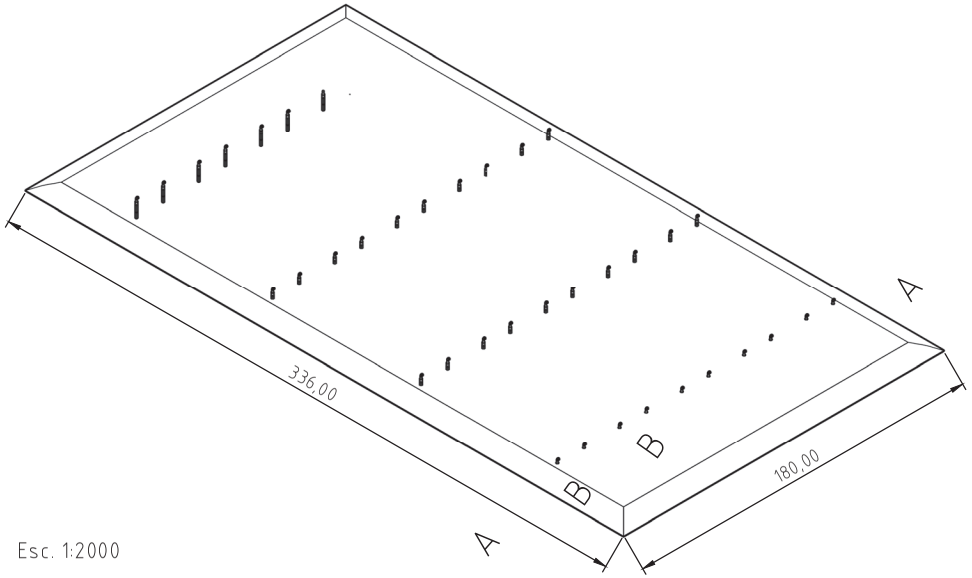
Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala 1:800	Centro de Chipeo y Compostaje -Sistema de recolección de lixiviados-	Ing. Ambiental
Plano 4.6		Costantino Martín

Referencias

- Predio actual
- Predio ampliado del Relleno Sanitario
- Sector de módulos de disposición final
- Sistema de tratamiento de lixiviados

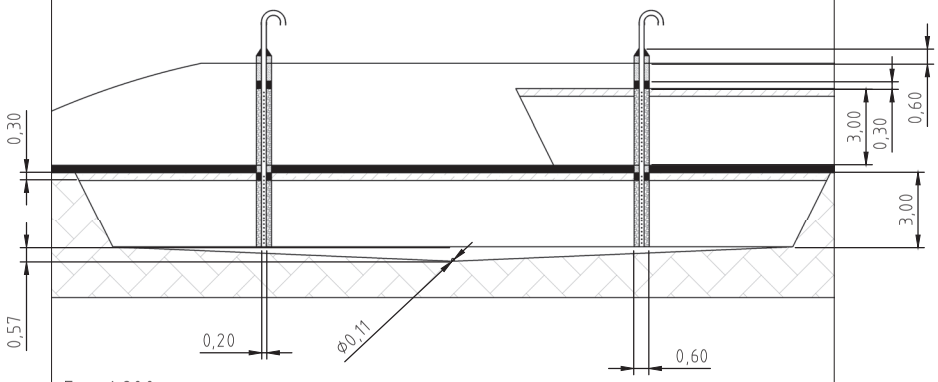
Año 2024	Proyecto Final Integrador Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:		
Aprobó:		
Escala 1:7000	Relleno Sanitario -IMPLANTACIÓN -	Ing.Ambiental
Plano 5.1		Costantino Martín

Vista Isométrica SO módulo de disposición



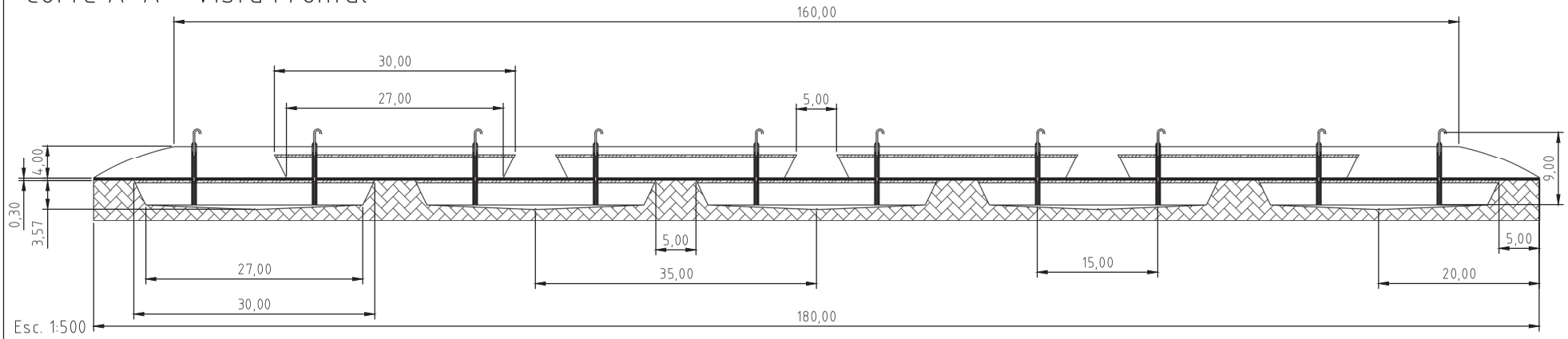
Esc. 1:2000

Corte B-B - Vista Frontal



Esc. 1:200

Corte A-A - Vista Frontal



Esc. 1:500

Año 2024	Proyecto Final Integrador	Escuela de Hábitat y Sostenibilidad EHyS_UNSAM
Revisó:	Diseño e implementación de la gestión integral de los RSU de la ciudad de La Rioja	
Aprobó:		
Escala	Relleno Sanitario -Módulos y Celdas-	Ing.Ambiental
Plano 5.2		Costantino Martín