

# Trabajo Fin de Máster

## ANÁLISIS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE LOS CABALLEROS (REPÚBLICA DOMINICANA). PROPUESTA DE ACTUACIONES DE MEJORA AMBIENTAL.

**Intensificación:**

TRATAMIENTOS DE AGUAS

**Autor:**

ROSANGELA MIGUELINA FRANCISCO MONCIÓN

**Tutor:**

DR. JAVIER RODRIGO ILARRI

**Cotutora:**

MARÍA ELENA RODRIGO CLAVERO

Septiembre, 2019



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**



### Datos del proyecto

**Título del TFM en español:** Análisis del sistema de gestión de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Santiago de los Caballeros (República Dominicana). Propuestas de actuaciones de mejora ambiental.

**Título del TFM en inglés:** Analysis of the municipal solid waste management system of Santiago de los Caballeros (Dominican Republic). Proposal of environmental improvement activities.

**Título del TFM en Valenciano:** Anàlisi del sistema de gestió de residus sòlids urbans de la ciutat de Santiago de los Caballeros (República Dominicana). Propostes d'actuacions de millora ambiental.

**Alumno:** Rosangela Miguelina Francisco Monción

**Tutor:** Dr. Javier Rodrigo Ilarri

**Fecha de Lectura:** Septiembre, 2019

### Resumen

En la República Dominicana, se constata mediante un análisis efectuado en octubre del 2014 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales con el aval de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), que la administración pública, es decir, los ayuntamientos, entidades encargadas de gestionar los residuos sólidos en el país, no cuentan en su mayoría con recursos suficientes para asistir de manera eficaz tal función. Esta situación se debe principalmente a ciertas debilidades de carácter institucional, financiero, legal, técnico-operativo, entre otras. Una de las problemáticas fundamentales es la eficiencia y cobertura en la recolección y transporte de residuos, la mezcla de residuos peligrosos y no peligrosos, así como su disposición final de forma incontrolada y la falta de educación ambiental de la ciudadanía.

En la ciudad de Santiago de los Caballeros los diferentes residuos urbanos, sanitarios, peligrosos, industriales, de construcción, entre otros, son mezclados en origen y en ocasiones en destino y conducidos de forma indiscriminada al vertedero. Para mitigar los impactos ambientales y reducir con ello el volumen de residuos sólidos urbanos

que llega al sitio de disposición final se incorpora al sistema una planta de valorización de residuos sólidos urbanos no orgánicos que, genera materia prima para la industrialización con una producción de 300 toneladas diarias.

Además, en los vertederos se ha venido implementando una metodología japonesa conocida con el nombre del método Fukuoka de cara a transformar el vertedero de Rafey en relleno sanitario. En este caso, se puede optar por utilizar una de las áreas circundantes al vertedero para convertirla en un vertedero controlado.

La entidad gubernamental (Ayuntamiento) mediante un análisis llevado a cabo para la instalación del Complejo de tratamiento de RSU ecoparque Rafey, estima que según crecimiento poblacional se tendría una generación per cápita de 1,15 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos (RSU). No obstante, el área en la que está emplazado el vertedero de Rafey tiene una vida útil de 10 años, aunque con la incorporación del sistema de valorización para residuos inorgánicos se incrementaría la vida útil del mismo.

El objetivo base de este trabajo es identificar el comportamiento del sistema en función de la gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) en la ciudad de Santiago de los Caballeros, por lo que, se efectuó un análisis DAFO, en el cual se identificaron las principales debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades que lo caracterizan, especialmente en el tema ambiental. En base a los resultados de este análisis se hacen propuestas medioambientales en miras a mejorar las condiciones del sistema de gestión, incorporando otras medidas de alternativas, tales como: proyectos de reutilización, reducción y aprovechamiento de residuos orgánicos.

Como propuestas de mejora al sistema, se lleva a cabo el prediseño de varias plantas de compostaje dividiendo la ciudad en varias zonas de planificación zonal, estableciendo el número de habitantes correspondiente a cada plan zonal, con la finalidad de incrementar la vida útil del vertedero municipal (Rafey), reduciendo con

ello el volumen de residuos orgánicos y en efecto la producción de biogás y lixiviados. Para ello, se utilizan métodos de deducción e inducción tomando en cuenta aspectos como: porcentaje de línea materia orgánica (M.O.), porcentaje de línea de rechazos y porcentaje de subproductos recuperables.

Respecto a la composición de RSU en las zonas correspondiente a su plan zonal, se observa que el mayor porcentaje, corresponde a residuos orgánicos (restos de comida), siendo en la zona Centro de 53,64%, en la zona Oeste de 48% y en la zona Este de un 63%.

Planteando dos escenarios en los cuales están presentes el sistema de tratamiento de los residuos sólidos previamente a ser vertidos al sitio de disposición final. En adición a esto, se plantea además el prediseño y nuevo emplazamiento de un vertedero controlado en el área de influencia del vertedero de la zona.

La vida útil del sitio de disposición final incrementa de 10 años a 25 años para residuos de baja densidad, a 39 años para residuos en balas y 53 años para residuos de alta densidad, gracias a la reducción del volumen de residuos orgánicos que llega al sitio de disposición final, reduciendo con ello la producción de biogás y lixiviados, y por la contribución de la reutilización de un porcentaje de ellos, es decir, de subproductos que luego irían a reciclaje. Esta implementación de medidas al sistema de gestión integral de residuos sólidos mitigaría los impactos ambientales en la zona, causados principalmente por estos vectores.

### **Resum**

A la República Dominicana, es constata mitjançant una anàlisi efectuada a l'octubre del 2014 pel Ministeri de Medi Ambient i Recursos Naturals amb l'aval de la Agència de Cooperació Internacional de Japó (JICA), que l'administració pública, és a dir, els ajuntaments, entitats encarregades de gestionar els residus sòlids al país, no compten majoritàriament amb recursos suficients per a assistir de manera eficaç tal funció. Aquesta situació es deu principalment a certes debilitats de caràcter institucional, financer, legal, tècnic-operatiu,

entre d'altres. Una de les problemàtiques fonamentals és l'eficiència i cobertura en la recollida i transport de residus, la barreja de residus perillosos i no perillosos, així com la seva disposició final de forma incontrolada i la falta d'educació ambiental de la ciutadania.

A la ciutat de Santiago dels Cavallers dels diferents residus urbans, sanitaris, perillosos, industrials, de construcció, entre d'altres, són barrejats en origen i en ocasions en destí i conduïts de manera indiscriminada a l'abocador. Per mitigar els impactes ambientals i reduir amb això el volum de residus sòlids urbans que arriba al lloc de disposició final s'incorpora al sistema una planta de valorització de residus sòlids urbans no orgànics que, genera matèria primera per a la industrialització amb una producció de 300 tones diàries.

A més, en els abocadors s'ha implementat una metodologia japonesa coneguda amb el nom del mètode Fukuoka de cara a transformar l'abocador de Rafey en abocadors. En aquest cas, es pot optar per utilitzar una de les àrees circumdants a l'abocador per convertir-la en un abocador controlat. L'entitat governamental (Ajuntament) mitjançant una anàlisi dut a terme per la instal·lació del complex de tractament de RSU ecoparc Rafey, estima que segons creixement poblacional es tindria una generació per càpita de 1,15 kg/hab/dia de RSU. No obstant això, l'àrea on en què està emplaçat l'abocador de Rafey té una vida útil de 10 anys, encara que amb la incorporació del sistema de valorització per residus inorgànics s'incrementaria la vida útil d'aquest abocador.

Com l'objectiu base d'aquest treball és identificar el comportament del sistema mitjançant la seva anàlisi, es va a efectuar al sistema GIRSU de la ciutat de Santiago dels Cavallers una Anàlisi DAFO en el qual es van a identificar les principals debilitats, forteses, amenaces i oportunitats que el caracteritzen, especialment en el tema ambiental. En base als resultats d'aquesta anàlisi es fan propostes mediambientals en mires a millorar les condicions del sistema de gestió, incorporant altres mesures d'alternatives com ara: projectes de reutilització, reducció i aprofitament de residus orgànics.

Com a propostes de millora al sistema es porta a terme el predisseny de diverses plantes de compostatge dividint la ciutat en diverses zones de planificació zonal, establint el nombre d'habitants corresponent a cada pla zonal, amb la finalitat d'incrementar la vida útil de



l'abocador municipal (Rafey), reduint amb això el volum de residus orgànics i en el seu efecte la producció de biogàs i lixiviats. Per a això, s'utilitzen mètodes de deducció i inducció tenint en aspectes com: percentatge de línia matèria orgànica (M.O.), percentatge línia de rebutjos, percentatge de subproductes recuperables.

La composició de RSU a les zones corresponent al seu Pla Zonal s'observa que el major percentatge, corresponen a residus orgànics (restes de menjar), sent a la zona Centre de 53,64%, a la zona Oest de 48% ia la zona Aquest d'un 63%. Plantejant dos escenaris en els quals estan presents el sistema de tractament de els residus sòlids prèviament a ser abocats al lloc de disposició final. en addició a això, es planteja a més el predisseny i nou emplaçament d'un abocador controlat en l'àrea d'influència d'abocador de la zona.

La vida útil del lloc de disposició final s'incrementa de 10 anys a 25 anys per a residus de baixa densitat, a 39 anys per a residus en bales i 53 anys per a residus d'alta densitat, gràcies a la reducció del volum de residus orgànics que arriba al lloc de disposició final, reduint amb això la producció de biogàs i lixiviats, i també a la reutilització d'un percentatge d'ells, és a dir, de subproductes que després anirien a reciclatge. Aquestes mesures al sistema de gestió integral de residus sòlids mitigarien els impactes ambientals a la zona causats principalment per aquests vectors.

### Summary

In the Dominican Republic, it is verified through an analysis carried out in October 2014 by the Ministry of Environment and Natural Resources with the endorsement of the Japan International Cooperation Agency (JICA), that the public administration, that is, the municipalities, entities responsible for managing solid waste in the country, do not have enough resources to effectively assist such a function. This situation is mainly due to certain weaknesses of an institutional, financial, legal, technical and operational nature, among others. One of the fundamental problems is the efficiency and coverage in the collection and transport of waste, the mixture of hazardous and non-hazardous waste, as well as its final disposal in an uncontrolled manner and the lack of environmental education of the citizenry.



In the city of Santiago de los Caballeros the different urban, sanitary, dangerous, industrial, construction, among others, are mixed in origin and sometimes in destination and conducted indiscriminately to the landfill. To mitigate environmental impacts and thereby reduce the volume of urban solid waste that arrives at the final disposal site, a non-organic urban solid waste recovery plant is incorporated into the system, generating raw material for industrialization with a production of 300 tons daily.

In addition, a known Japanese methodology with the name of the Fukuoka method has been implemented in landfills in order to transform the Rafey landfill into a landfill. In this case, you can choose to use one of the areas surrounding the landfill to make it a controlled landfill.

The government entity (City Hall), through an analysis carried out for the installation of the Rafey Ecopark Park RSU Treatment Complex, estimates that according to population growth there would be a per capita generation of 1,15 kg / hab / day of MSW. However, the area where the Rafey landfill is located has a useful life of 10 years, although the incorporation of the inorganic waste recovery system would increase the life of the landfill.

As the basic objective of this work is to identify the behavior of the system through its analysis, a SWOT analysis was carried out in the GIRSU system of the city of Santiago de los Caballeros in which the main weaknesses, strengths, threats and opportunities that characterize it were identified. , especially on the environmental issue. Based on the results of this analysis, environmental proposals are made with a view to improving the conditions of the management system, incorporating other measures of alternatives such as: projects for the reuse, reduction and use of organic waste.

As proposals for improvement of the system, the pre-design of several composting plants is carried out by dividing the city into several zones of zonal planning, establishing the number of inhabitants corresponding to each Zonal Plan, with the purpose of increasing the useful life of the municipal landfill (Rafey), thereby reducing the volume of organic waste and in its effect the production of biogas and leachate. For this, deduction and induction methods are used, considering aspects such as: percentage of organic matter line (M.O.), percentage of rejection line, percentage of recoverable by-products.

The composition of MSW in the zones corresponding to its Zonal Plan shows that the highest percentage corresponds to organic waste (food remains), being in the Central zone of 53.64%, in the West zone of 48% and in the East zone of 63%.

Posing two scenarios in which, the solid waste treatment system is present before being discharged to the final disposal site. In addition to this, the pre-design and new location of a controlled landfill in the area of landfill influence in the area is also proposed.

The useful life of the final disposal site increases from 10 years to 25 years for low-density waste, to 39 years for bullet waste and 53 years for high-density waste, thanks to the reduction in the volume of organic waste that reaches the site of final disposal, thereby reducing the production of biogas and leachate, and also the reuse of a percentage of them, that is, by-products that would then go to recycling. These measures to the system of integral management of solid waste would mitigate the environmental impacts in the area caused mainly by these vectors.

**Palabras clave español:** residuos sólidos, tratamiento, eliminación, aprovechamiento, reciclaje.

**Palabras clave valenciano:** residus sòlids, tractament, eliminació, aprofitament, reciclatge.

**Palabras clave inglés:** solid waste, treatment, disposal, use, recycling.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	1
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	Objetivo general.....	3
1.2.2.	Objetivos específicos.....	3
2.	LEGISLACIÓN ADJUDICABLE .....	3
2.1.	Legislación dominicana.....	3
2.2.	Legislación española.....	9
	Conclusiones legales.....	20
3.	ASPECTOS BÁSICOS QUE CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	20
3.1.	Generalidades.....	20
3.2.	Componentes de un sistema de tratamiento integral de residuos sólidos urbanos.....	22
3.3.	Producción.....	22
3.4.	Recogida y transporte.....	23
3.5.	Pretratamiento.....	24
3.6.	Valorización energética por compostaje.....	25
3.7.	Eliminación en vertedero.....	29
4.	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO GENERAL Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA ACTUAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE LOS CABALLEROS (REPÚBLICA DOMINICANA).....	30
4.1.	Introducción.....	30
4.1.1.	Producción.....	35
4.1.2.	Recogida y transporte.....	36
4.1.3.	Pretratamiento.....	37
4.1.4.	Valorización.....	37
4.1.5.	Eliminación en vertedero.....	39
4.1.6.	Problemática ambiental.....	40
4.2.	Análisis y diagnóstico en la zona de Santiago de los Caballeros.....	42
4.2.1.	Metodología actual de recolección y disposición final.....	42
4.2.2.	Recogida y transporte.....	44



4.2.3. Disposición de residuos en el vertedero municipal. ....	45
4.2.4. Recolección y tratamiento de lixiviados. ....	46
4.2.5. Recolección y quema de biogás producido en el interior del relleno.....	47
4.2.6. Análisis del sistema mediante la matriz DAFO.....	48
4.3. Alternativas de Propuestas de Mejora. ....	49
4.3.2. Consideraciones datos de partida.....	52
4.3.3. Caracterización de los RSU en las zonas bajo estudio. ....	52
4.3.4. Consideraciones previas sobre el Sistema de Valorización Compost.....	56
4.3.5. Propuesta de mejora del Plan Zonal de la zona Centro-Sureste-Sur.....	57
4.3.6. Planta de compostaje del plan zonal de la zona centro- sureste-sur. ....	57
4.3.7. Resultados del Escenario I con las propuestas de mejora de cada Plan Zonal y con la implementación del Sistema de Valorización del Compost mediante el diseño de las diferentes Plantas de compostaje.....	70
4.3.8 Resultados Escenario II .....	75
4.3.9. Análisis y propuestas de mejoras al vertedero de Rafey.....	80
4.3.10. Elementos fundamentales del relleno sanitario.....	88
4.3.11. Ratio económica para el Escenario I en la producción de compost y la generación de subproductos.....	95
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
6. LÍNEAS FUTURA DE INVESTIGACIÓN .....	100
7. BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS .....	101
8. ANEXOS .....	103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Protección del suelo y de las aguas para rellenos no peligrosos.....	18
Ilustración 2: Esquema de un sistema de tratamiento integral de RSU. ....	22
Ilustración 3: Esquema del proceso de compostaje. ....	26
Ilustración 4: Esquema de una planta de Compostaje.....	29
Ilustración 5: Ubicación geográfica de la República Dominicana. ....	33
Ilustración 6: Ubicación geográfica del casco urbano del municipio de Santiago de los Caballeros.....	34
Ilustración 7: Mapa regional de la República Dominicana y su respectiva producción de RSU (t/día), año 2015. ....	35
Ilustración 8: Vista en planta de la instalación Cilpen Global en vertedero de Rafey. ....	38
Ilustración 9: Plano arquitectónico de la instalación Cilpen Global. ....	39
Ilustración 10: Aspecto actual del paisaje de la ciudad de Santiago de los Caballeros. ....	44
Ilustración 11: Medio de recolección y transporte.....	44
Ilustración 12: Ubicación del vertedero frente al asentamiento poblacional. ....	46
Ilustración 13: Canaletas para recolección de lixiviados en el vertedero de Rafey.....	47
Ilustración 14: Usos preferentes del suelo de la ciudad de Santiago de los Caballeros.....	49
Ilustración 15: Unidades zonales de planificación del área de acción.....	50
Ilustración 16: Unidades del Plan Zonal de la zona Centro-Sureste-Sur.....	50
Ilustración 17: Unidades del Plan Zonal de la zona Norte-Nordeste-Este.....	51
Ilustración 18: Unidades del Plan Zonal de la zona Suroeste-Oeste.....	51
Ilustración 19: Vista en planta de un bloque de hileras.....	68
Ilustración 20: Área de estudio. ....	81



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis DAFO aplicado al sistema de gestión de residuos sólidos en la ciudad de Santiago de los Caballeros.....	48
Tabla 2: Resultados análisis de la composición RSU de la zona céntrica de la ciudad de Santiago de los Caballeros, año 2006.....	53
Tabla 3: Análisis de composición de RSU de la zona Suroeste-Oeste de la ciudad de Santiago de los Caballeros.....	54
Tabla 4: Análisis de la composición de los RSU de la zona Norte, Nordeste y Este de la ciudad de Santiago de los Caballeros. ....	55
Tabla 5: Composición de los RSU. ....	58
Tabla 6: Características de RSU de entrada a la planta. ....	59
Tabla 7: Porcentaje de residuos por cada línea de tratamiento.....	60
Tabla 8: Línea de materia orgánica (Compost Verde). ....	61
Tabla 9: Línea de Rechazos. ....	62
Tabla 10: Elementos recuperados. ....	63
Tabla 11: Resultados relación C/N aplicado al peso seco de la línea de M.O.....	63
Tabla 12: Fracción Orgánica Biodegradable de RSU. ....	64
Tabla 13: Fracción Orgánica No Biodegradable de RSU. ....	65
Tabla 14: Características del Compost Verde. ....	65
Tabla 15: Pérdidas del Compost Fermentado.....	66
Tabla 16: Características del Compost Fermentado. ....	66
Tabla 17: Producción mensual del Compost.....	67
Tabla 18: Dimensionamiento del Área de Compostaje. ....	68
Tabla 19: Cálculo del Compost Maduro y Afino.....	70
Tabla 20: Resumen de resultados del diseño de las plantas de compostaje en cada Plan Zonal (Escenario I). ....	71
Tabla 21: Porcentaje de residuos por cada línea de tratamiento.....	76
Tabla 22: Resumen resultados del diseño de las plantas de compostaje en cada Plan Zonal (Escenario II). ....	77
Tabla 23: Porcentaje del material de recubrimiento en función del tipo de residuo.....	83



Tabla 24: Volumen de RSU según su tipo. ....	83
Tabla 25: Volumen total de capas.....	83
Tabla 26: Volumen total necesario por cada tipo de residuo.....	84
Tabla 27: Cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en el Plan Zonal de la zona Centro-Sureste-Sur.....	85
Tabla 28: Cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en el Plan Zonal de la zona Norte-Nordeste-Este. ....	85
Tabla 29: Cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en el Plan Zonal de la zona Suroeste-Oeste.....	86
Tabla 30: Producción anual a vertedero por zonas. ....	87
Tabla 31: Volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en la zona Centro-Sureste-Sur. ....	87
Tabla 32: Volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en la zona Norte-Nordeste-Este.....	87
Tabla 33: Volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en la zona Suroeste-Oeste.	87
Tabla 34: Volumen total a ocupar en el relleno sanitario bajo estudio por tipos de residuos generados en los diferentes Planes Zonales.....	88
Tabla 35: Cálculo de la vida útil por cada tipo de residuo. ....	88
Tabla 36: Caracterización de los RSU habiendo implementado el Sistema de Tratamiento en la zona Centro-Sureste-Sur. ....	90
Tabla 37: Caracterización de los RSU habiendo implementado el Sistema de Tratamiento en la zona Norte-Nordeste-Este. ....	ANEXO I
Tabla 38: Caracterización de los RSU habiendo implementado el Sistema de Tratamiento en la zona Suroeste-Oeste. ....	ANEXO I
Tabla 39: Composición química del biogás generado por la biodegradación anaerobia de los RSU en vertedero. ....	91
Tabla 40: Análisis químico de los RSU generados en la zona Centro-Sureste-Sur a gestionar en el relleno sanitario bajo estudio de Rafey. ....	92
Tabla 41: Análisis químico de los RSU generados en la zona Norte-Nordeste-Este a gestionar en el relleno sanitario bajo estudio de Rafey. ....	92
Tabla 42: Análisis químico de los RSU generados en la zona Suroeste-Oeste a gestionar en el relleno sanitario bajo estudio de Rafey. ....	93



Tabla 43: Composición química y peso molecular de los RSU a gestionar en vertederos procedentes de cada Plan Zonal. ....	93
Tabla 44: Valores de los componentes químicos.....	94
Tabla 45: Peso molecular de los componentes de la materia orgánica biodegradable. ....	94
Tabla 46: Kg presentes en la materia orgánica.....	94
Tabla 47: Volumen producido por cada 100 kg de residuos. ....	95
Tabla 48: Volumen de biogás producido por los RSU depositados en el relleno sanitario bajo estudio. ...	95
Tabla 49: Generación en coste de los subproductos recuperados para reciclaje. ....	96
Tabla 50: Generación en coste de la producción diaria del compost.....	96
Tabla 51: Vida útil por cada tipo de residuo, sin implementar tratamientos.....	ANEXO I



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Producción de RSU por región.....	35
Gráfica 2: Residuos sólidos producidos en República Dominicana (t/día), año 2015. ....	36
Gráfica 3: Caracterización de los RSU en la Zona Centro.....	53
Gráfica 4: Caracterización de los RSU en la Zona Suroeste-Oeste.....	54
Gráfica 5: Caracterización de los RSU en la Zona Norte-Nordeste-Este. ....	55
Gráfica 6: Análisis de la composición de los RSU de la zona Norte, Nordeste y Este de la ciudad de Santiago de los Caballeros. ....	56
Gráfica 7: Contenido de humedad de los residuos sólidos urbanos previo al proceso de compost.....	72
Gráfica 8: Cantidad de rechazo primario generado en plantas de compostaje. ....	72
Gráfica 9: Resultados de la relación C/N antes de iniciar el proceso de compostaje.....	73
Gráfica 10: Resultados de evolución en las diferentes fases de un proceso de compostaje. ....	74
Gráfica 11: Producción diaria de Compost. ....	74
Gráfica 12: Cantidad de superficie que ocupan las Eras de compostaje. ....	75
Gráfica 13: Contenido de humedad de residuos sólidos urbanos previo al proceso de compost (Escenario II). ....	77
Gráfica 14: Cantidad de rechazo primario generado en plantas de compostaje (Escenario II). ....	78
Gráfica 15: Resultado de la relación C/N antes de iniciar el proceso de compostaje (Escenario II).ANEXO II	
Gráfica 16: Resultados evolución en las diferentes fases de un proceso de compostaje. ....ANEXO II	
Gráfica 17: Producción diaria de compost.....ANEXO II	
Gráfica 18: Cantidad de superficie que ocupan las Eras de Compostaje.....ANEXO II	
Gráfica 19: Resultados comparativos entre las variables más relevantes del diseño de una planta de compostaje en los escenarios I y II. ....	79



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1. Introducción

La gestión integral de residuos sólidos está conformada por un conjunto de operaciones y por la conjugación de varios procesos tales como: el almacenamiento temporal, el barrido, la recolección, la separación, el reciclaje, la reutilización, el transporte, el tratamiento, la valorización y la disposición final.

En este caso en particular se ha de efectuar un análisis al sistema actual de gestión integral de residuos sólidos en la ciudad de Santiago de los Caballeros (República Dominicana), en el cual se establece la exclusión de restos hospitalarios (restos humanos y químicos); escombros o desechos de construcción; así como los lodos o restos de procesos industriales que ameriten manejo de metales pesados. La decisión de omitir este prototipo de desechos se debe a que a dichos residuos se le ha de aplicar una gestión especializada.

Si bien, la gestión de desechos sólidos tanto comunes como especiales, requiere de una estructuración basada en un servicio adecuado que, a su vez, este avalado por una estructura administrativa, técnica y financiera. El propósito de tomar en consideración cada uno de estos aspectos o procedimientos en el análisis del sistema actual, es constatar que de forma paralela cada uno de estos aspectos se cumplan y que, a su vez, no afecte de manera significativa al medio ambiente y los grupos sociales involucrados.

Se han de tener en cuenta la forma en que está planificado tal sistema, así como las estrategias para llevar a cabo la gestión de residuos. Además, se considerará, los principios básicos de gestión empleados actualmente (prevención, minimización, reutilización, reciclaje recuperación de energía y disposición final) y aspectos fundamentales del sistema de la GRSU en dicha ciudad e identificación de parámetros claves que describen al sistema en cuanto a aspectos medioambientales, operacionales y económicos. Y los indicadores óptimos que permiten caracterizar el sistema.

El propósito de esta investigación es analizar de forma minuciosa como se maneja el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos, tomando consideración tanto los aspectos técnicos como estatutarios que se están aplicando, para con ello comprobar si los mismos mantienen la viabilidad del sistema.

Cada día, la gestión de los residuos se encuentra en permanente conflicto por la incidencia del crecimiento desmedido de la población, continuo desplazamiento hacia los espacios urbanos, cambios en los hábitos de consumo; y la correlación existente entre, una mejor calidad de vida y la producción de desechos

sólidos. Regularmente la falta de control o desconocimiento por parte de las autoridades, acerca de los factores antes mencionado, han hecho que los problemas de gestión de los desechos sólidos se agraven en todas las ciudades.

Las secuelas de estos factores se constatan en la organización de almacenamiento temporal, bajas cobertura de barrido y recolección, la nula actividad de reciclaje, el desconocimiento de tecnologías que puedan ayudar en la transformación de la basura en energía y las dificultades para promover la elaboración del compostaje.

En vista de esta situación es factible implementar un Plan de zona que se distribuya entre las distintas zonas de la ciudad, las cuales serán propuestas para instaurar plantas de compostaje. Con esta decisión, se busca reducir de forma significativa el volumen de residuos sólidos que llega al vertedero de Rafey, incrementando la vida útil de este y minimizando los GEI's y lixiviados que se generan allí, producto de la descomposición y oxidación de la materia orgánica biodegradable. En el caso particular del Plan Zonal que se extiende por las zonas Norte-Nordeste-Este de la ciudad, donde la principal actividad económica es la agricultura, la producción de abono a través del compostaje ayudará a un mejor desarrollo de su cultivo mejorando así, la calidad de sus suelos.

En base al caso de estudio, y en virtud de las necesidades en estas zonas; de los recursos disponibles, así como de las condiciones ambientales, se optará por desarrollar el diseño de tres plantas de compostaje, las cuales estarán estructuradas por un sistema abierto y que funcione mediante pilas o hileras volteadas.

Por otra parte, se estudiará la posibilidad o conveniencia de hacer un relleno sanitario en el área de influencia del vertedero de Rafey, de cara a proteger el suelo, las aguas superficiales y subterráneas y la atmósfera, haciendo con ello que se minimice el impacto al medio ambiente, producto del manejo inadecuado en el sitio de disposición final de los RSU.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Hacer un análisis exhaustivo al sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santiago de los Caballeros (República Dominicana), para determinar cuáles son los aspectos básicos que se están tomando en cuenta y que tan factible son los mismos a la sostenibilidad ambiental. En base a los resultados de este análisis se busca proponer medidas medioambientales orientadas a las mejoras del sistema.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar como está estructurado el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santiago de los Caballeros y con ello determinar los principios básicos de gestión y constatar si las normas de gestión referentes a dicho caso tienen coherencia con la realidad actual.
- Hacer un análisis en base al diseño del sistema actual de gestión integral de residuos sólidos urbanos tomando en cuenta las características y restricciones que presenta y con ello, determinar qué tan eficiente y sostenible es el sistema.
- Estudiar la conveniencia o ventajas de implantar sistemas de valorización energética de residuos que permitan disminuir el volumen gestionado en vertederos, considerando las limitaciones y particularidades de la ciudad de Santiago de los Caballeros.

## 2. LEGISLACIÓN ADJUDICABLE

Para llevar a cabo y dar pie al presente trabajo se hace ineludible la inclusión de normas y leyes referente a residuos sólidos, para con ello tener presente los diferentes lineamientos y recomendaciones que se deben efectuar tanto técnica como legal.

### 2.1. Legislación dominicana.

A continuación, se enlistan los principales artículos referentes a manejo de residuos sólidos:

#### **MARCO LEGAL REGULATORIO DE LA GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS**

El marco legal que regula la gestión integral de los desechos sólidos en República Dominicana se especifica en los siguientes artículos:

En la *“Constitución de la República Dominicana respecto a la gestión de los desechos sólidos”* se estipula mediante:

“Art. 66: Derechos colectivos y difusos. El Estado reconoce los derechos e intereses colectivos y difusos, los cuales se ejercen en las condiciones y limitaciones establecidas en la ley. En consecuencia, protege:

- 1) La conservación del equilibrio ecológico, de la fauna y la flora;
- 2) La protección del medio ambiente;”

“Art. 67: Protección del medio ambiente. Constituyen deberes del Estado prevenir la contaminación, proteger y mantener el medio ambiente en provecho de las presentes y futuras generaciones. En consecuencia:

1. Toda persona tiene derecho, tanto de modo individual como colectivo, al uso y goce sostenible de los recursos naturales; a habitar en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y adecuado para el desarrollo y preservación de las distintas formas de vida, del paisaje y de la naturaleza;
2. Se prohíbe la introducción, desarrollo, producción, tenencia, comercialización, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares y de agroquímicos vedados internacionalmente, además de residuos nucleares, desechos tóxicos y peligrosos;
3. El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías y energías alternativas no contaminantes;
4. En los contratos que el Estado celebre o en los permisos que se otorguen que involucren el uso y explotación de los recursos naturales, se considerará incluida la obligación de conservar el equilibrio ecológico, el acceso a la tecnología y su transferencia, así como de restablecer el ambiente a su estado natural, si éste resulta alterado;
5. Los poderes públicos prevendrán y controlarán los factores de deterioro ambiental, impondrán las sanciones legales, la responsabilidad objetiva por daños causados al medio ambiente y a los recursos naturales y exigirán su reparación. Asimismo, cooperarán con otras naciones en la protección de los ecosistemas a lo largo de la frontera marítima y terrestre.”

#### ***Ley de Salud Pública de la República Dominicana***

A través de la “*Ley de Salud Pública de la República Dominicana*” en sus líneas de acción en pro de salvaguardar la salud de la población, estipula lo siguiente:

“Art. 29: Serán obligaciones de la población con relación a la salud:

- a) Respetar la salud de otras personas, evitando realizar actos, efectuar o intervenir en actividades perjudiciales para la salud de los terceros; ya sea por la naturaleza de dichas acciones o por la forma en que se ejecutan.
- b) Velar, mejorar y conservar su salud personal, familiar y de sus dependientes, especialmente si éstos son menores, ancianos o discapacitados; así como por la salud comunitaria.
- c) Velar por las condiciones de salubridad del medio en que viven y desarrollan sus actividades.
- d) Cumplir con las prescripciones generales de carácter sanitario comunes a toda la población, así como también con las prescripciones específicas señaladas por las autoridades sanitarias.
- e) Participar activamente en el proceso de construcción de mejores condiciones de vida y salud, desde la concepción misma de las acciones hasta la prestación de los servicios.”

En el “CAPITULO V, de la presente ley, nos habla de la salud ambiental; y en la SECCIÓN I, de las disposiciones comunes”, como se puede ver en el siguiente artículo:

“Art. 41: La Secretaria de Estado de Salud Pública y Asistencia Social (SESPAS), en coordinación con la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales y las instituciones y organizaciones correspondientes al sector de agua potable y saneamiento básico, ayuntamientos, DIGENOR y otros sectores relacionados con este campo, promoverá y colaborará en el desarrollo de programas de saneamiento ambiental.”

La “**Ley No. 64-00. Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales**”, establece mediante los capítulos VI y VII que se desarrollan a continuación; y respecto a la gestión de residuos lo siguiente:

#### “CAPITULO VI

##### De las basuras y los Residuos Domésticos y Municipales

Art. 106: Los ayuntamientos municipales operarán sistemas de recolección, tratamiento, transporte y disposición final de desechos sólidos no peligrosos dentro del municipio, observando las normas oficiales emitidas por la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, juntamente con la Secretaría de Estado de Salud Pública y Asistencia Social, para la protección del medio ambiente y la salud.

Art. 107: Se prohíbe la colocación, lanzamiento y disposición final de desechos sólidos o líquidos, tóxicos o no, en lugares no establecidos para ello por la autoridad competente.

Párrafo I. En ninguna circunstancia se permitirá la operatividad de vertederos municipales en cercanía de lechos, fuentes, cuerpos de aguas, ni en aquellos lugares donde la escorrentía y la infiltración pueda contaminarla.

Art. 108: En todas las instituciones públicas se implantarán sistemas de clasificación de los desechos sólidos, previo a su envío a los sitios de disposición final.”

## “CAPITULO VII

### De los Asentamientos Humanos y Contaminación Sónica

Art. 110: Los asentamientos humanos no podrán autorizarse:

1. En lechos, cauces de ríos o zonas de deyección, zona expuesta a variaciones marinas, terrenos inundables, pantanosos o de relleno, cerca de zonas industriales, bases militares, basureros, vertederos municipales, depósitos o instalaciones de sustancias peligrosas;
2. En lugares donde existan probabilidades ciertas de la ocurrencia de desbordamiento de aguadas, deslizamientos de tierra y cualquier condición que constituya peligro para la vida y la propiedad de las personas.”

### ***Ley General de Educación 66-97 de la República Dominicana***

En cuanto a la “*Ley General de Educación 66-97 de la República Dominicana*” promueve mediante:

“Art. 6: La educación dominicana procurará los siguientes propósitos respecto al orden de la calidad de vida, tales como:

- a) Promover la conservación, el desarrollo y la difusión del patrimonio científico y tecnológico y de los valores culturales del país y sus regiones, así como los universales, de tal modo que se armonicen tradición e innovación;
- b) Promover en la población una conciencia de la protección y aprovechamiento racional de los recursos naturales, así como de la defensa de la calidad del ambiente y el equilibrio ecológico.”

### ***Ley No. 1-12***

En la “*Ley No. 1-12 establecida por la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030. G.O. No. 10656 del 26 de enero de 2012*” se hace referencia al manejo sostenible del medio ambiente, estipulando la forma en que se debe desarrollar la gestión integral de desechos, sustancias contaminantes y fuentes de contaminación:

“Manejo Sostenible de Medio Ambiente

Objetivo específico. 4.1.3 Desarrollar una gestión integral de desechos, sustancias contaminantes y fuentes de contaminación. Dentro de las líneas de acción en este ámbito se establecen las siguientes:

1. Desarrollar un marco normativo para la gestión, recuperación y correcta eliminación de los desechos, incorporando el enfoque preventivo.
2. Ampliar la cobertura de los servicios de recolección de residuos sólidos, asegurando un manejo sostenible de la disposición final de los mismos y establecer regulaciones para el control de vertidos a las fuentes de agua.
3. Promover la articulación de encadenamientos de ciclos productivos entre empresas y proveedores, mediante el establecimiento, entre otros mecanismos, de una red o bolsa de comercialización o transferencia de residuos o subproductos.
4. Fomentar las prácticas de reducción, reúso y reciclaje de residuos.
5. Garantizar la efectiva implementación de la legislación sobre compuestos orgánicos persistentes y contaminantes.
6. Incentivar la reutilización de las aguas servidas para su aprovechamiento en sistema de riego en algunos cultivos de valor económico y para la autosuficiencia, en estándares adecuados de sanidad ambiental y sanitaria.
7. Elaborar mapas de ruido y de calidad de aire e implementar planes de reducción de la contaminación en colaboración con los gobiernos locales.”

La “Ley No. 120-99 de la República Dominicana”, establece el manejo de los residuos sólidos mediante los artículos:

“Art. 1: Se prohíbe a toda persona física o moral tirar desperdicios sólidos y de cualquiera naturaleza en calles, aceras, contenes, parques, carreteras, caminos, balnearios, mares, ríos, cañadas, arroyos y canales de riego, playas, plazas y otros sitios de esparcimiento y demás lugares públicos.

Párrafo. Se prohíbe tirar basuras en las cañadas excepto en aquellas que los ayuntamientos determinen y acondicionen para tales fines.

Art. 2: Se prohíbe a los propietarios e inquilinos de hogares y establecimientos comerciales sacar basura, desechos o desperdicios en hora distintas a las establecidas por las disposiciones municipales correspondientes.

Art. 3: Una vez colocada la basura en los recipientes y en los lugares donde debe ser recogida, se prohíbe desorganizarla, rebuscar en ella, virar los zafacones, romper los recipientes en donde hayan sido depositados.

Art. 4: Las personas que sean sorprendidas tirando basura, desechos o desperdicios de cualquier tipo, del tamaño que fuere, en los lugares públicos, serán condenados a las penas de dos (2) hasta diez (10) días de prisión o multas de quinientos (RD\$500,00) a mil (RD\$ 1.000,00) pesos, o ambas penas a la vez.”

### ***Norma para la gestión ambiental de residuos sólidos no peligrosos***

Esta norma contempla en su capítulo 6, las especificaciones que se han de tener en cuenta en la disposición final de los residuos sólidos, estableciendo en el subcapítulo 6.1 las prohibiciones y requisitos generales que son aplicados bajo este criterio.

6.1.11 Las distancias mínimas para instalar rellenos sanitarios de asentamientos humanos:

c) Deberán estar alejados a una distancia mínima de 1,500 metros, a partir del límite de los asentamientos humanos por servir. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.

6.2 Aspectos hidrológicos para la instalación de vertederos controlados o rellenos sanitarios referentes a:

6.2.1 El vertedero o relleno sanitario deberá estar localizado fuera de las zonas de inundación con períodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior se debe demostrar que no existe la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.

6.2.3 La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1,000 m (mil metros), como mínimo. De la misma manera, debe contar con una zona de amortiguamiento que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos diez años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.

6.3.5 Todo vertedero controlado o relleno sanitario deberá estar situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados. La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas de superficie se realizará mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento inferior durante la fase activa o de explotación, y mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento superior durante la fase pasiva o posterior a la clausura.

6.3.6 Cuando por las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes se deba garantizar y prevenir un riesgo potencial de contaminación del suelo y las aguas subterráneas, se utilizará una capa inicial de revestimiento o compuesto o material geosintético de una conductividad hidráulica adecuada y un sistema de recolección de lixiviados diseñado para que los mismos corran sobre el revestimiento.

6.4. Aspectos de Control, Manejo y Monitoreo Ambiental en la Operación de Instalaciones de Disposición Final.

En el subcapítulo 6.4.1, se establecen las medidas pertinentes con respecto a las características del vertedero y a las condiciones meteorológicas para el control de aguas y la gestión de lixiviados, incluyendo:

- Control y monitoreo de aguas de escorrentía pluvial.
- Control y monitoreo de aguas superficiales o subterráneas.
- Control y monitoreo de lixiviados.
- Tratamiento de aguas y los lixiviados de forma que cumplan con los parámetros requeridos para su vertido por las normas ambientales correspondientes.

6.4.4. En el caso particular de la recogida, tratamiento y uso de gases de vertederos controlados o rellenos sanitarios se pretende llevar a cabo de forma tal que reduzca al mínimo el daño o deterioro del medio ambiente y el riesgo para la salud humana.

## 2.2. Legislación española.

A continuación, se compilan los principales artículos y normas referentes al manejo de residuos sólidos.

### **Ley 22/2011**

*En la “Ley 22/2011 de la legislación española respecto a los residuos y suelos contaminados”, estipula dos vertientes fundamentales:*

- “El objeto regular la gestión de residuos, a través de un régimen jurídico el cual servirá para monitorear su producción y gestión mediante la jerarquización de estos, así como también, para proponer medidas y planes que busquen reducir su generación.
- En su ámbito de actuación se encuentran los residuos domésticos y similares (origen urbano), peligrosos, de construcción y demolición, agrarios e industriales no peligrosos.”

Dentro de los artículos que se destacan en la presente ley y que, a su vez, guardan relación con el manejo de la gestión inicial de los residuos:

*“Art. 7: Protección de la salud humana y el medio ambiente*

1. Las autoridades competentes adoptaran las medidas necesarias para asegurar que la gestión de los residuos se realice sin poner en peligro la salud humana y sin dañar al medio ambiente y, en particular:

- a) No generarán riesgos para el agua, el aire o el suelo, ni para la fauna y la flora;
- b) no causarán incomodidades por el ruido o los olores; y
- c) no atentarán adversamente a paisajes ni lugares de especial interés legalmente protegidos.

2. Las medidas que se adopten en materia de residuos deberán ser coherentes con las estrategias de lucha contra el cambio climático.”

*“Art. 8: Jerarquía de residuos*

1. Las administraciones competentes, en el desarrollo de las políticas y de la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, aplicaran para conseguir el mejor resultado ambiental global, la jerarquía de residuos por el siguiente orden de prioridad:

- a) Prevención;
- b) Preparación para la reutilización;
- c) Reciclado;
- d) Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética; y
- e) Eliminación.

2. No obstante, si para conseguir el mejor resultado medioambiental global en determinados flujos de residuos fuera necesario apartarse de dicha jerarquía, se podrá adoptar un orden distinto de prioridades previa justificación por un enfoque de ciclo de vida sobre impactos de la generación y gestión de esos residuos.”

*“Art. 9: Autosuficiencia y proximidad.*

1. El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino en colaboración con las Comunidades Autónomas, y si fuera necesario con otros Estados miembros, tomará las medidas adecuadas, sin perjuicio de la aplicación de la jerarquía de residuos en su gestión, para establecer una red

integrada de instalaciones de eliminación de residuos y de instalaciones para la valorización de residuos domésticos mezclados, incluso cuando la recogida también abarque residuos similares procedentes de otros productores, teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles.

2. La red deberá permitir la eliminación de los residuos o la valorización de los residuos mencionados en el apartado 1, en una de las instalaciones adecuadas más próximas, mediante la utilización de las tecnologías y los métodos más adecuados para asegurar un nivel elevado de protección del medio ambiente y de la salud pública.”

*“Art. 12: Competencias administrativas*

*Corresponde a las Comunidades Autónomas:*

- a) La elaboración de los programas autonómicos de prevención de residuos y de los planes autonómicos de gestión de residuos.
- b) La autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de residuos.
- c) El registro de la información en materia de producción y gestión de residuos en su ámbito competencial.”

*En cuanto a “Programas de Gestión y Prevención la presente ley establece que se tomará en consideración la inclusión de desarrollar por medio a la autoridad competente, planes autonómicos y locales; y que los mismos deberán contemplar:*

- La estrategia general de la política de residuos.
- Estructura para el desarrollo de planes autonómicos.
- Objetivos mínimos de prevención, preparación para la reutilización, reciclado, valorización y eliminación.
- Tipo, cantidad y fuente de los residuos sólidos producidos.
- Sistemas existentes de recogida e instalaciones de eliminación y valorización.
- Evaluación de la necesidad de nuevos modelos de gestión de residuos.

*Todas estas actividades se proponen con la finalidad de reducir en un 10% del peso de los residuos generados en 2020 respecto a los generados en 2010.”*

**Sección 1ª Obligaciones en la gestión de residuos**

*“Art. 20: Obligaciones de los gestores de residuos.*

1. Las entidades o empresas que realicen una actividad de tratamiento de residuos deberán:

- a) Llevar a cabo el tratamiento de los residuos entregados conforme a lo previsto en su autorización y acreditarlo documentalmente.
- b) Gestionar adecuadamente los residuos que produzcan como consecuencia de su actividad.

2. Las entidades o empresas que recogen o transportan residuos con carácter profesional deberán:

- a) Recoger los residuos y transportarlos cumpliendo las prescripciones de las normas de transportes, las restantes normas aplicables y las previsiones contractuales.
- b) Mantener durante su recogida y transporte, los residuos peligrosos envasados y etiquetados con arreglo a las normas internacionales y comunitarias vigentes.
- c) Entregar los residuos para su tratamiento a entidades o empresas autorizadas, y disponer de una acreditación documental de esta entrega.

3. Los negociantes y agentes deberán cumplir con lo declarado en su comunicación de actividades y con las cláusulas y condiciones asumidas contractualmente. Los negociantes estarán obligados a asegurar que se lleve a cabo una operación completa de tratamiento de los residuos que adquieran y a acreditarlo documentalmente al productor u otro poseedor inicial de dichos residuos.

4. Con carácter general los gestores de residuos están obligados a:

- a) Mantener los residuos almacenados en las condiciones que fije su autorización. La duración del almacenamiento de los residuos no peligrosos será inferior a dos años cuando se destinen a valorización y a un año cuando se destinen a eliminación. En el caso de los residuos peligrosos, en ambos supuestos, la duración máxima será de seis meses; en supuestos excepcionales, el órgano competente de las Comunidades Autónomas donde se lleve a cabo dicho almacenamiento, por causas debidamente justificadas y siempre que se garantice la protección de la salud humana y el medio ambiente, podrá modificar este plazo. Durante su almacenamiento los residuos peligrosos deberán estar envasados y etiquetados con arreglo a las normas internacionales y comunitarias vigentes.

Los plazos mencionados empezarán a computar desde que se inicie el depósito de residuos en lugar de almacenamiento.

- b) Constituir una fianza en el caso de residuos peligrosos y cuando así lo exijan las normas que regulan la gestión de residuos específicos o las que regulan operaciones de gestión. Dicha fianza tendrá por objeto responder frente a la Administración del cumplimiento de las obligaciones que se deriven del ejercicio de la actividad y de la autorización o comunicación.
- c) Suscribir un seguro o constituir una garantía financiera equivalente en el caso de entidades o empresas que realicen operaciones de tratamientos de residuos peligrosos y cuando así lo exijan las normas que regulan la gestión de residuos específicos o las que regulan operaciones de gestión, para cubrir las responsabilidades que deriven de estas operaciones. Dicha garantía deberá cubrir, en todo caso:
  - 1.º Las indemnizaciones debidas por muerte, lesiones o enfermedad de las personas.
  - 2.º Las indemnizaciones debidas por daños en las cosas.
  - 3.º Los costes de reparación y recuperación del medio ambiente alterado. Esta cuantía se determinará con arreglo a las previsiones de la legislación sobre responsabilidad medioambiental.
- d) No mezclar residuos peligrosos con otras categorías de residuos peligrosos ni con otros residuos, sustancias o materiales. La mezcla incluye la dilución de sustancias peligrosas.

El órgano competente podrá permitir mezclas solo cuando:

- 1.º la operación de mezclado sea efectuada por una empresa autorizada;
- 2.º no aumenten los impactos adversos de la gestión de residuos sobre la salud humana y el medio ambiente, y
- 3.º la operación se haga conforme a las mejores técnicas disponibles”

### **Sección 2ª. Objetivos y medidas en la gestión de los residuos**

“Art. 21: Recogida, preparación para la reutilización, reciclado y valorización de residuos.

- 1. Las autoridades ambientales en su respectivo ámbito competencial y en atención a los principios de prevención y fomento de la reutilización y el reciclado de alta calidad, adoptarán las medidas necesarias para que se establezcan sistemas prioritarios para fomentar la reutilización

de los productos y las actividades de preparación para la reutilización. Promoverán, entre otras medidas, el establecimiento de lugares de almacenamiento para los residuos susceptibles de reutilización y el apoyo al establecimiento de redes y centros de reutilización. Así mismo, se impulsarán medidas de promoción de los productos preparados para su reutilización a través de la contratación pública y de objetivos cuantitativos en los planes de gestión.

2. Para fomentar la prevención y promover la reutilización y el reciclado de alta calidad, se podrán adoptar medidas destinadas a facilitar el establecimiento de sistemas de depósito, devolución y retorno en los términos previstos en el artículo 31.3 para:

- a) Envases industriales,
- b) envases colectivos y de transporte,
- c) envases y residuos de envases de vidrio, plástico y metal,
- d) otros productos reutilizables.

En este supuesto se tendrá en cuenta la viabilidad técnica y económica de estos sistemas, el conjunto de impactos ambientales, sociales y sobre la salud humana, y respetando la necesidad de garantizar el correcto funcionamiento del mercado interior, facilitando especialmente los mecanismos de amplia participación previstos en la disposición adicional duodécima, debiendo incorporarse a los trabajos de la Comisión de Residuos las entidades y organizaciones representativas de todos los sectores afectados por la eventual adopción de dichos sistemas. El gobierno remitirá a las Cortes Generales los informes preceptivos de viabilidad técnica, ambiental y económica que se realicen con carácter previo a la implantación de un sistema de depósito, devolución y retorno.

3. Las autoridades ambientales en su respectivo ámbito competencial tomarán medidas para fomentar un reciclado de alta calidad y, a este fin, se establecerá una recogida separada de residuos, entre otros de aceites usados, cuando sea técnica, económica y medioambientalmente factible y adecuada, para cumplir los criterios necesarios para los sectores de reciclado correspondientes.”

### ***Real Decreto 1481/2001***

El RD 1481/2001 designa las líneas básicas para la regulación de los vertederos dividiéndose en tres categorías: vertederos de residuos peligrosos, vertederos de residuos no peligrosos y vertederos de residuos inertes considerando la definición de los distintos tipos de residuos en cada una de las categorías. Así como también, los requisitos técnicos demandados a las instalaciones, la necesidad de gestionar los vertederos después de su clausura y la atribución de los costes de las actividades del vertido de residuos.

Además, es el encargado de dar las pautas técnicas mínimas para su proyecto constructivo, su explotación, clausura y mantenimiento; y con ello, dar las instrucciones para proceder al acondicionamiento de los vertederos actuales a las exigencias del RD junto con los nuevos retos medioambientales que se presenten.

El objeto de “*Real Decreto 1481/2001*” es:

“establecer un marco jurídico y técnico adecuado para las actividades de eliminación de residuos, mediante depósito en rellenos y regular las características de éstos y su correcta gestión y explotación, tomando en cuenta el principio de jerarquía en la gestión de residuos con la finalidad de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.”

*La autorización de vertido en la presente ley estará condicionada:*

“el cumplimiento de restricciones y limitaciones que determinarán la posibilidad de ubicación en función de los procesos naturales, la conservación de los valores ambientales del territorio y del ámbito territorial al que da servicio la instalación.”

*El ámbito de aplicación del presente decreto será:*

“en rellenos cuyo periodo de almacenamiento de residuos será mayor a: 1 año si su destino es eliminación y de 2 años si su destino es de valorización.”

Dentro del decreto, existe una clasificación de residuos admisibles y no admisibles para ser depositados en el relleno, entre los cuales se tiene los siguientes:

Residuos No Admisibles:

- Líquidos
- Explosivos
- Corrosivos
- Oxidantes
- Inflamables
- Infecciosos
- Neumáticos (excepto con fines constructivos)

Residuos Admisibles:

- Inertes
- No peligrosos, incluye a urbanos, industriales y peligrosos no reactivos.

El “*Real Decreto 1481/2001*” establece las directrices para el “diseño”, “construcción” y “operación de rellenos”, que son las siguientes:

- “Los residuos han sido admitidos para su eliminación de acuerdo con los criterios fijados para la clase de relleno que se trate.”
- “Los procesos dentro del relleno se producen de forma deseada.”
- “Los sistemas de protección ambiental funcionan adecuadamente.”
- “Se cumplen las condiciones de la autorización para el relleno.”

#### Suelo contaminado:

El Gobierno de España en la “(Ley 22, 2011) *distingue como suelo contaminado*”:

“a todo aquel cuyas características físicas, química y biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente.”

Dentro de las Normas para la disposición de desechos sólidos no peligrosos se distinguen varios aspectos:

#### Ubicación:

“Para la ubicación de un vertedero deberían tomarse en consideración los requisitos siguientes:

- a) Las distancias entre el límite del relleno y las zonas residenciales y recreativas, vías fluviales, masas de agua y otras zonas agrícolas o urbanas.
- b) La existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales en la zona.
- c) Las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona.
- d) El riesgo de inundaciones, hundimientos, corrimientos de tierras o aludes en el emplazamiento del relleno.
- e) La protección del patrimonio natural o cultural de la zona.

El vertedero sólo podrá ser autorizado si las características del emplazamiento con respecto a los requisitos mencionados, o las medidas correctoras que se tomen, indican que aquel no planteará ningún riesgo grave para el medio ambiente.”

#### Control de aguas y gestión de lixiviados:

“Se tomarán medidas oportunas con respecto a las características del relleno y a las condiciones meteorológicas, con objeto de: controlar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso del relleno; impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos vertidos; recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados; tratar las aguas contaminadas y los

lixiviados recogidos del relleno de forma que se cumpla la norma adecuada requerida para su vertido, o de forma que se evite su vertido, aplicando técnicas adecuadas para ello.”

Protección del suelo y de las aguas:

- a) “Todo relleno deberá ser situado y diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados en las condiciones establecidas previamente. La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales durante la fase activa o de explotación del relleno se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de los residuos.”
- b) “Existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un relleno tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas.  
La base y los lados del vertedero dispondrán de una capa mineral con sus condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado en materia de protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las superficiales sea por lo menos equivalente a  $k \leq 1.0 \times 10^{-9}$  m/s y el espesor  $\geq 1$  m. Cuando la barrera geológica natural no cumpla las condiciones antes mencionadas, podrá complementarse mediante una barrera geológica artificial, que consistirá en una capa mineral de un espesor no inferior a 0.5 m.”
- c) “Además de las barreras geológicas anteriormente descritas, deberá añadirse un revestimiento artificial impermeable bajo la masa de residuos y, con el fin de mantener en un mínimo la acumulación de lixiviados en la base del relleno, un sistema de recogida de lixiviados mediante una capa de drenaje de espesor mayor o igual a 0.5 m.”

Con la finalidad facilitar la interpretación de los requisitos antes establecido en los apartados b) y c) del presente anexo. En este caso se colocará un “*geotextil protector encima del geosintético de refuerzo*” como se muestra en la Ilustración 1:



*Ilustración 1: Protección del suelo y de las aguas para rellenos no peligrosos.*

Fuente: (RD 1481,2001)

En cuanto al manejo y control de gases la presente ley estipula:

“Se tomarán las medidas adecuadas para controlar la acumulación y emisión de gases de vertedero.

En todos los vertederos que reciban residuos biodegradables se recogerán los gases de relleno, se tratarán y se aprovecharán. Si el gas recogido no puede aprovecharse para producir energía, se deberá quemar.

La recogida, tratamiento y aprovechamiento de gases de relleno se llevará a cabo de forma tal que se reduzca al mínimo el daño o deterioro del medio ambiente y el riesgo para la salud humana.”

En cuanto a molestias y riesgos la presente ley establece:

“Se tomarán las medidas para reducir al mínimo inevitable las molestias y riesgos procedentes del relleno debido a: emisión de olores y polvo, materiales transportados por el viento, ruido y tráfico, aves, parásitos e insectos, formación de aerosoles, incendios.

En relleno sanitario deberá estar equipado para evitar que la suciedad originada en la instalación se disperse en la vía pública y en las tierras circundantes.”

Respecto a la estabilidad:

“La colocación de los residuos en el relleno se hará de manera tal que garantice la estabilidad de la masa de residuos y estructuras asociadas, en particular para evitar los deslizamientos. Cuando se instale una barrera artificial, deberá comprobarse que el sustrato geológico, teniendo en cuenta la morfología del relleno, es suficientemente estable para evitar asentamientos que puedan ocasionar daños a la barrera.”

En la fase de cerramientos:

“El relleno deberá disponer de medidas de seguridad que impidan el libre acceso a las instalaciones.

Las entradas estarán cerradas fuera de las horas de servicio. El sistema de control de acceso deberá incluir un programa de medidas para detectar y disuadir el vertido ilegal en la instalación.”

Fase de Vigilancia y Control:

“Dentro de la legislación vigente en el Real Decreto 1481/2001 se describe la necesidad de contar con un programa de clausura y post clausura para cumplir con los requerimientos ambientales mínimos una vez se comience el proceso de cierre técnico del relleno sanitario.

La clausura y post clausura incluirá costos de las actividades las cuales permitan al sitio de emplazamiento lograr su integración al paisaje circundante y su aprovechamiento para fines recreativos u otros, para lo cual se necesita mantener un control periódico de los gases y lixiviados producidos por el relleno, para de esta manera evitar contaminación ambiental y eventuales trabajos de saneamiento.

Dentro de las tareas o actividades mínimas para el programa post clausura tenemos la revisión de los siguientes elementos:

- Cunetas y bajantes.
- Red de lixiviados.
- Control de gases.
- Taludes.
- Sellado superior.
- Plantaciones.
- Señalización.

- Cerramiento.”

### Conclusiones legales.

La legislación dominicana en comparación con la legislación española contempla más normas y decretos respecto a la “gestión de los residuos sólidos”. Sin embargo, en España, la gestión de los residuos sólidos se realiza de una manera más integral, ya que se toma en cuenta los reglamentos y normas establecidos desarrollando de esta manera una gestión óptima, eficiente y con mayor sostenibilidad y valorización de los residuos sólidos.

En cuanto a los lineamientos técnicos que se deben tomar en cuenta para el dimensionamiento y diseño de un relleno sanitario, la legislación y normativa dominicana, no considera estos criterios por lo que se hace necesario la inclusión de un documento que abarque cada uno de estos aspectos, a través de una normativa que se adapte a la realidad del país. No obstante, establece los aspectos básicos (control, manejo y monitoreo ambiental) y operacionales que deben ejecutarse en las instalaciones de disposición final, y que, a su vez, se adapten a las características propias del lugar.

Por otra parte, si bien es cierto que, la legislación española cuenta con un documento técnico que abarca los aspectos de diseño de operacionales, éstos sólo funcionan como encomiendas. Es decir que, no tienen carácter de normativa, la cual deba de ser usada de forma obligatoria, ya que es algo subjetivo y declinado a voluntad de los consultores, el criterio de tomarlo en consideración para llevar a cabo la operación, el diseño y mantenimiento de rellenos sanitarios.

### 3. ASPECTOS BÁSICOS QUE CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

#### 3.1. Generalidades.

Desde la perspectiva histórica, la evacuación de “Residuos Sólidos Urbanos (RSU)” no planteaba problemas inicialmente, debido a que, en aquel momento se contaba con:

- Poblaciones pequeñas.
- Terreno disponible.
- Productos naturales.
- Capacidad de autodepuración del medio.

Los problemas en la gestión de residuos surgen con las aglomeraciones humanas y como efecto de los cambios en sus prácticas habituales de vida.

En la Edad Media (s. XIV), se produjo un arrojado incontrolado de comida y otros residuos orgánicos que, llevados a las peores condiciones higiénicas, trajo como consecuencia epidemias, las cuales produjeron la muerte a la mitad de la población europea.

En el siglo XIX, surge la necesidad de recoger y evacuar los residuos de comida. Además, surge, la Revolución Industrial, este proceso de transformación social, económica y tecnológica, generó incremento en los problemas procedentes de la mala gestión de residuos) y la aparición de nuevos productos artificiales no biodegradables.

En siglo XX, aparecen los materiales sintéticos (plásticos); con el auge de la industrialización (contaminación de suelos); la cultura de “usar y tirar” y los “residuos radiactivos”.

Actualmente (s. XXI), se lleva a cabo la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU). Este siglo es denominado el siglo de la economía circular. Este tipo de economía es un modelo basado en la reparación, reutilización, reciclaje y devolución de productos al sistema para su vuelta al ciclo económico.

Además, es necesario tener en cuenta que los residuos sólidos se clasifican: según su origen y su grado de peligrosidad.

Cabe puntualizar que, para implementar el diseño de un sistema de gestión se hace necesario conocer la cantidad de RSU generada, haciendo una distinción entre las cantidades producidas, las recogidas y las tratadas. Teniendo como resultado ineludible que, la cantidad recogida es menor a la cantidad producida, debido a estos factores:

- “La eficacia del servicio de recogida.
- La cantidad eliminada en el lugar de producción.”

### 3.2. Componentes de un sistema de tratamiento integral de residuos sólidos urbanos.

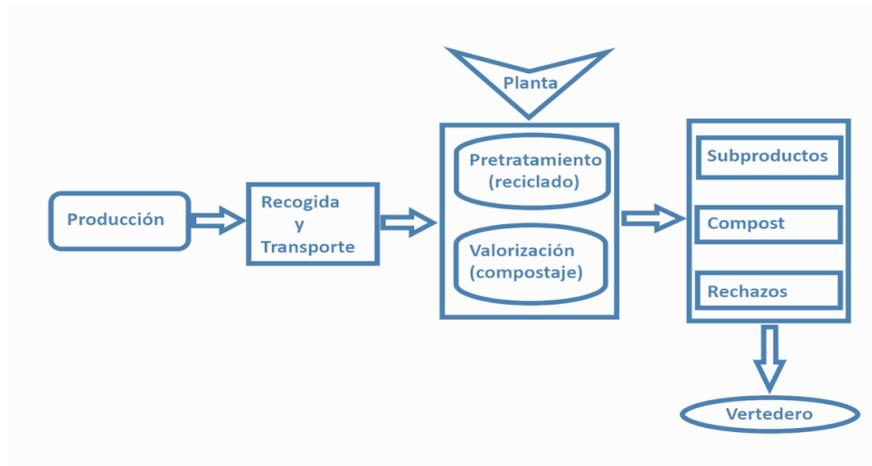


Ilustración 2: Esquema de un sistema de tratamiento integral de RSU.

En la ilustración 2, se muestra la forma en que se debe llevar a cabo una gestión adecuada de los residuos sólidos. El buen manejo de estos, radica en que el diseño de un sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos se ejecute de manera eficiente y organizada. En los siguientes subtemas de este capítulo, se definen cada uno de los elementos básicos que forman parte de estos sistemas de tratamientos.

### 3.3. Producción.

La cantidad de residuos producida se puede medir, efectuando una medida por peso y por volumen. La medida por peso es el sistema más adecuado, puesto que permite comparar valores de distintas fuentes. Mientras que la producción por volumen depende del grado de compresión, es decir, de la densidad del volumen. Sin embargo, esta medida por volumen va a ser necesaria para planificar el sistema de recogida y para diseñar el volumen de vertedero necesario para albergar todos los residuos finalmente tratados en este lugar.

La cantidad de RSU recogida está en función del tamaño de la población y de la calidad de vida. Es habitual emplear estas dos estimaciones:

- 0,6 kg/hab/día: pequeños núcleos urbanos principalmente agrícolas.
- 1,2 kg/hab/día: núcleos residenciales de las grandes ciudades.

Los núcleos rurales de población dispersa y el sistema de recogida, por lo general, no se extienden a toda el área. Además, a menor nivel de vida menor consumo y menor cantidad de residuos, ya que las áreas rurales o con menor nivel económico suelen recuperar una parte de los residuos.

### Composición

De acuerdo con los apuntes de Rodrigo Ilarri, explica que, en el tema de la composición de los RSU, se deben tomar en consideración ciertos aspectos, tales como:

- “Situación geográfica de la población: clima, residuos de parques y jardines, producción agrícola y hábitos alimenticios, entre otros.
- Nivel de vida de la población: influye en la cantidad y calidad de los residuos. A mayor nivel de vida mayor producción de RSU (sobre todo, de envases y papel cartón).
- Estructura económica de la zona: industrial o de servicios” (Rodrigo Ilarri, 2018).

Además, señala que las diferencias en la composición afectan de forma muy profunda tanto al sistema de recogida como al de tratamiento. Es decir, “a mayor cantidad de residuos alimentarios, mayor frecuencia de recogida” (Rodrigo Ilarri, 2018).

### 3.4. Recogida y transporte.

En los apuntes sobre RSU de Rodrigo Ilarri, especifica que, en la parte que respecta a “la operación de recolección se deben analizar cuatro aspectos: tipos de recolección; sistemas y equipamiento; necesidades de mano de obra; y análisis de los sistemas de recolección” (Rodrigo Ilarri, 2018).

Por otra parte, explica que a medida que aumenta la cantidad de residuos a gestionar, la logística de la recolección se vuelve cada vez más compleja, por lo que es debido, incluir: “recogida o toma de RSU desde distintos orígenes, transporte hasta el lugar donde los vehículos se vacían y descarga del vehículo de transporte” (Rodrigo Ilarri, 2018).

Dentro de las actividades de transporte y descarga, el autor señala que “tienen similitudes para la mayoría de los sistemas de recolección; y que la toma de los RSU pueden variar según las características de las instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan los residuos y los métodos utilizados para el almacenamiento in situ de los residuos acumulados entre recolecciones” (Rodrigo Ilarri, 2018). Y manifiesta que, según el modo de operación los sistemas de recolección se clasifican en:

1. Sistemas de contenedor (SC)
  - Camión eleva-contenedor.
  - Camión volquete.
  - Contenedor remolque.
2. Sistemas de caja fija (SCF)
  - Sistemas que utilizan vehículos cargados mecánicamente.
  - Sistemas que utilizan vehículos cargados manualmente.

Según el autor, “los SC son contenedores utilizados para el almacenamiento de residuos y luego son transportados al lugar de evacuación, vaciados y devueltos a su localización original a otra ubicación. Además, son idóneos para la recolección de residuos procedentes de centros con una alta tasa de generación utilizando contenedores relativamente grandes. En este tipo de sistema de recolección se necesita un único recolector-conductor” (Rodrigo Ilarri, 2018).

Por otra parte, “los SCF son contenedores utilizados para el almacenamiento de residuos que se quedan en el punto de generación, excepto cuando son llevados a la casa o a otro lugar para su vaciado. Estos se pueden utilizar para todo tipo de residuos. Los residuos varían según el tipo, la cantidad de residuos y el número de puntos de generación. Estos sistemas de recolección requieren de dos a tres personas, un conductor y ayudante(s)” (Rodrigo Ilarri, 2018).

### 3.5. Pretratamiento.

Esta etapa representa la parte final del proceso y es considerada como la más imprescindible. La finalidad de las operaciones de pretratamiento es modificar las características físicas de los residuos y separar componentes y contaminantes específicos del flujo de residuos.

En el pretratamiento el proceso de separación se realiza mediante diversos sistemas, tales como:

- **Separación por tamaño.** Esta implica la separación de la mezcla de RSU en dos o más porciones. Generalmente la selección puede llevarse a cabo por vía seca, que es lo acostumbrado o, por vía húmeda. Esta fase, se efectúa antes y después de la trituración y el procesamiento del compost empleando distintos tipos de cribas siendo las más empleadas: las cribas trómel, vibratorias y de discos.
- **Reducción de tamaño.** Se emplean para procesar aquellos materiales que luego son utilizados de manera directa en el compost. Además, forma parte de una instalación de recuperación

de materiales. Los equipos utilizados en fase son: Molino de martillo, trituradoras cortantes y cubas trituradoras.

- **Separación por densidad.** Son sistemas empleados para separar los RSU triturados en base a dos componentes: fracción ligera (papel, plásticos y orgánicos) y fracción pesada (metales y otros materiales inorgánicos). Los equipos utilizados para tal función son los clasificadores neumáticos, el Stoner o separador balístico y la flotación.
- **Separación magnética y por campo eléctrico.** En estos sistemas se utilizan las propiedades magnéticas y eléctricas de los residuos. Los equipos usados para ejercer tal mecanismo son:  
Separación electrostática: para separar plásticos de papeles, por diferencias de carga superficial.  
Separación magnética: para separar metales féreos de no féreos.  
Separación por corrientes de Foucault: imán de aluminio.
- **Separadores ópticos.**
- **Densificación-compactación.** Es una operación que incrementa la densidad de los residuos sólidos para luego ser almacenados y transportados. Dentro de los tipos de equipos utilizados se encuentran: las compactadoras estacionarias, las empacadoras y el equipamiento de peletización. Este último, se encarga de la producción de combustible densificado, derivado de los residuos para posteriormente ser usados en sistemas de incineración, gasificación o pirólisis.
- **Manipulación, transporte y almacenamiento.** En este caso se emplean unas cintas transportadoras denominadas cintas sin fin, las cuales están colocadas sobre unos rodillos y conducida desde un extremo por rodillo motriz. Este sistema está compuesto por cabinas de triaje, contenedores y edificios de almacenamiento.

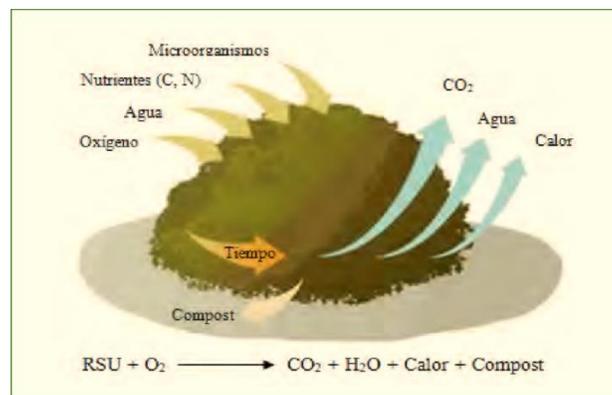
### 3.6. Valorización energética por compostaje.

De forma general, lo que se busca es transformar cada uno de los componentes que forman parte de los residuos con miras a obtener mediante los mismos, nuevos productos, haciendo uso de sistemas de compostaje y biometanización principalmente. A través de estos sistemas, se estaría valorizando energéticamente aquellos residuos que son empleados en dichos procesos, con el propósito de convertirlos en combustible para generar energía.

No obstante, los procesos de biometanización o de valorización térmica no son habitualmente empleados con carácter general, siendo la técnica de valorización por compostaje la más utilizada en la gestión tradicional de RSU.

Previo a desarrollar un diseño óptimo y adecuado de una planta de compostaje es necesario saber en detalle que es el compost y las peculiaridades que se deben tener en cuenta en un sistema de compostaje.

**Compost:** no es más que la transformación de la materia orgánica llevada a cabo mediante el proceso de fermentación que, experimenta en una de sus fases. La técnica del compostaje se describe como biológica y oxidativa, ya que se fundamenta en la acción de un sin número de microorganismos aerobios que actúan de manera continua sobre la M.O. inicial; donde a su vez, se producen una serie de reacciones que elevan la temperatura durante el proceso; reducen el volumen y el peso de los residuos, provocando la humificación y oscurecimiento. Mediante la ilustración 2, se puede observar el esquema básico del proceso de compostaje de forma extracta.



*Ilustración 3: Esquema del proceso de compostaje.*

Fuente: (Rodrigo Ilarri, Rodrigo Clavero, & Fernández González, Alternativas de Valorización y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos, 2014)

Los parámetros de diseño de una planta de compostaje que condicionan su correcto funcionamiento son los siguientes:

- **Parámetro de seguimiento del proceso.** Se denominan así, ya que a lo largo del proceso deben ser seguidos y controlados para que se sitúen entre los valores adecuados con el objetivo de que cada fase se desarrolle adecuadamente. Dentro de estos parámetros se encuentran: la temperatura, la humedad, la aireación y el pH.

Temperatura: es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso de compostaje, debido a que es un indicador de la actividad biológica de los microorganismos. En función de la temperatura, se distinguen tres fases en el proceso de compostaje: la fase mesofílica inicial ( $T < 45^{\circ}\text{C}$ ), al final de esta se producen ácidos orgánicos; la fase termofílica ( $T > 45^{\circ}\text{C}$ ); y la fase mesofílica final. En esta última, luego de finalizado el proceso se alcanza nuevamente la temperatura inicial. Por lo general, para el buen funcionamiento de un sistema de compostaje aerobio, su temperatura debe fluctuar entre  $30^{\circ}\text{C}$  a  $38^{\circ}\text{C}$  (fase mesofílica) y de  $55^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$  (fase termofílica).

Humedad: para el crecimiento microbiano la humedad óptima debe estar entre el 50-70%. La actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo de 30%; y por encima del 70%.

pH: se recomienda que el proceso de compostaje se desarrolle en un intervalo de pH 6,5 a 8,5, es decir que, la mezcla de material a compostar debe oscilar entre dicho rango. En el proceso de compostaje un valor de pH cercano al neutro (pH 6,5-pH 7,5), ligeramente ácido o alcalino, asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Es importante destacar que, los valores de pH menores de 5,5 pueden inhibir el crecimiento de la gran mayoría de los microorganismos, de igual manera, valores marcadamente alcalinos pueden ser agentes inhibidores del crecimiento microbiano, porque disminuyen la disponibilidad de los nutrientes para los organismos.

Aireación: la necesidad de aireación en el proceso de compostaje es imprescindible para asegurar el desarrollo de los microorganismos aerobios. Los niveles óptimos oxígeno se sitúan entre el 5% y el 15%. Niveles de oxígeno menores que 5%, pueden provocar condiciones anaerobias, mientras que niveles mayores del 15% pueden dar lugar a pérdidas de calor y a una mínima destrucción de los organismos patógenos.

En estos casos no existen frecuencias preestablecidas de aireación, por lo que se recomienda airear cuando comienza a descender la temperatura, después de alcanzar su valor máximo en la etapa termofílica. El movimiento del material por volteo hace descender la temperatura de la unidad que, paulatinamente vuelve a aumentar hasta completar una nueva etapa termofílica.

- **Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato.** Estos deben ser medidos y ajustados para que sus valores sean los correctos, especialmente al inicio del proceso. Entre estos parámetros se encuentran el tamaño de la partícula y la relación C/N.

Tamaño de la partícula: la estructura física y el tamaño de los residuos que componen la masa a compostar influyen directamente en la optimización del proceso, afectando a la aireación, la temperatura y la duración de este. Las dimensiones consideradas óptimas varían según los criterios de distintos autores: 1-5 cm (Haug, 1993), 2-5 cm (Kiehl, 1985) y de 2,5-2,7 cm (Tchobanoglous et al., 1996).

Relación C/N: la relación C/N expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene la materia orgánica. El carbono es la fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica de estos. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes favorece un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos. Estos suelen utilizar aproximadamente 30 partes de C por cada parte de N, por esta razón se considera que una buena relación de ambos elementos, para el desarrollo de compostaje debe estar entre 25-30 (Jhorar, Phogat, & Malik, 1991). A nivel práctico es un indicador de la velocidad de descomposición y permite una determinación del tiempo de compostaje, siempre y cuando, las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas. En caso de que el material a compostar presente una relación C/N inicial, diferente al rango recomendado, es conveniente mezclar con otros materiales. Los residuos de origen vegetal presentan mayor relación de C/N que los residuos de origen animal, por lo que la práctica de combinación es muy habitual.

Respecto a los sistemas o tecnologías de compostaje los hay de diversos tipos. Estos se diferencian por la forma de incorporación del aire, el control de la temperatura, la mezcla o volteo del material y la duración del proceso.

Estos sistemas tienen la particularidad de funcionar como un sistema discontinuo y de proceso lento, basados en la formación de pilas y agrupación de los residuos en montones, los cuales generalmente adoptan formas triangulares, compuestos de una estructura porosa y estable para el proceso de compostaje. La selección de este sistema se adapta a las necesidades del lugar, ya que es un método económico, viable y fiable, por la disponibilidad de tiempo y espacio; y porque no se requiere de mucha atención. Normalmente suelen tener de base entre 3 y 5 metros y de

altura unos 2-2,5 metros y su longitud suele variar entre unos pocos y unas decenas de metros. A continuación, se muestra un esquema elemental de una planta de compostaje (ver ilustración 4):

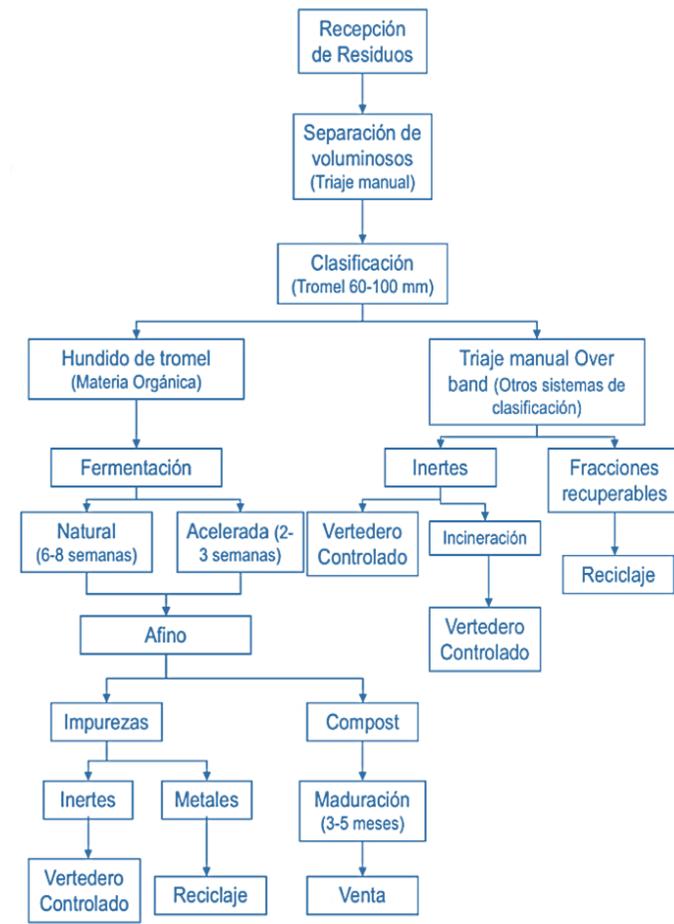


Ilustración 4: Esquema de una planta de Compostaje.

Fuente: (Rodrigo Ilarri, Rodrigo Clavero, & Fernández González, Alternativas de Valorización y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos, 2014)

### 3.7. Eliminación en vertedero.

Según el Real Decreto 1481/2001, “los vertederos son instalaciones “de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en la superficie por periodos de tiempo superiores a los recogidos en la definición de almacenamiento” (RD 1481, 2001) .

Rodrigo Ilarri, en sus apuntes, explica: “el vertedero controlado es el resultado de tratar el problema del depósito final de los residuos desde la óptica de la ingeniería sanitaria. Normalmente estas instalaciones están localizadas en emplazamientos apropiados, donde se sitúan de forma ordenada los residuos y bajo

condiciones seguras y supervisadas”, teniendo como fin evitar la transferencia de residuos a las aguas superficiales y subterráneas, así como a la atmósfera y el suelo (Rodrigo Ilarri, 2018).

Este autor describe que, las características y factores que se tienen presentes al momento de instalar y dar el mantenimiento apropiado a un vertedero en particular son las siguientes:

- **“Condiciones geológicas y geomorfológicas del terreno:** el terreno debe ser impermeable o impermeabilizado de forma artificial para evitar la contaminación de las aguas subterráneas por lixiviado, terreno en pendiente para recoger los lixiviados y transportarlos a balsas de recogida.
- **Condiciones climatológicas:** se debe escoger una ubicación donde existan tasas de precipitación bajas y elevada evapotranspiración para de esta forma reducir la producción de lixiviados.
- **Instalación de puntos de salidas de gases:** se necesita tomar esta medida para facilitar la salida de los gases que se producen durante los procesos de descomposición.
- **Recubrimiento con capas de tierra:** se realiza este proceso en todos aquellos vertederos en los que sea posible, para posteriormente favorecer el crecimiento de vegetación autónoma, y de esta forma reducir el impacto paisajístico.
- **Accesos para el paso de vehículos:** en adición a esto, se debe construir una valla que impida el paso de personas y animales” (Rodrigo Ilarri, 2018).

De igual forma, explica la importancia que tiene el dar un mantenimiento adecuado y sostenible a los vertederos, puntualizando: “luego de que haya transcurrido un tiempo y de que se hayan concluido las actividades en el vertedero; para alcanzar su máxima capacidad, debería procederse a la clausura y sellado, para luego de ello reforestar y restaurar la zona de modo que esta pueda ser empleada para otros usos” (Rodrigo Ilarri, 2018).

#### 4. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO GENERAL Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA ACTUAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE LOS CABALLEROS (REPÚBLICA DOMINICANA).

##### 4.1. Introducción.

La “Ley sobre Organización Municipal” fue promulgada a finales del 1952 y a partir de ese entonces, se incorpora por primera vez el tema de la gestión integral de residuos sólidos en la República Dominicana. Dentro de las líneas de acción de esta ley, se establece que los ayuntamientos son las entidades públicas encargadas de administrar y financiar toda actividad que sirva para suplir las necesidades del municipio, garantizando, a su vez, su bienestar. Por tal motivo, a partir de ese momento, los ayuntamientos a nivel

general en todo el país se encargan de la administración y gestión del servicio de recogida de basura, así como también de la disposición final de la misma y para eso crea los respectivos departamentos de limpieza. A pesar de ello, en las últimas décadas, en casi todos los municipios del país; y de forma especial, en aquellos que tienen una alta concentración poblacional (Santo Domingo y Santiago) se caracterizan por su falta de eficiencia en diversos aspectos.

En otro lugar, a través de un informe elaborado por SEMARN-OPS se concluye que, *“la República Dominicana carece de una política promotora de acciones interventoras y de inversiones en el subsector, más específicamente se diagnostica que: En casi ninguno de los municipios se cuenta con un plan de gestión de inversiones ni del gerenciamiento necesario para un servicio eficiente, pues en la mayoría de los ayuntamientos, se cuenta sólo con la asignación del gobierno central y los muy pocos arbitrios y recaudaciones para financiar todas las actividades del Gobierno Local”* (SEMARN-OPS, 2001). Además, se ratifica que:

*“existe una fuerte concentración de recursos en los cinco Municipios que componen la Provincia de Santo Domingo, producto de una tendencia histórica de origen político, lo cual no está exclusivamente justificada por la concentración poblacional, sino además por la alta concentración financiera, industrial y comercial de lo que hasta el 2001 era una sola ciudad. Actualmente, estos ayuntamientos son los que invierten la mayor cantidad de dinero en servicios de recolección y deposición de basura: US25,00 por tonelada depositada en el vertedero. En las demás ciudades del país la inversión es menor, siendo la ciudad de Santiago de los Caballeros la subsiguiente en esa misma línea”* (SEMARN-OPS, 2001).

Finalmente, el diagnóstico preliminar realizado por la SEMARN-OPS explica que, en la República Dominicana:

*“no se cuenta con planes ni estrategias específicas para la gestión de los residuos sólidos y se constató, a su vez, la falta de información organizada sobre costos que hace notable la necesidad de sistemas administrativos y financieros. En relación con las tasas y tarifas de aseo, generalmente los municipios cobran tasas y tarifas mínimas por razones políticas, por lo difícil de la cobranza, por falta de educación comunitaria o porque que el servicio es de tan baja calidad que los usuarios se niegan a pagarlo. Este aspecto es crucial para el autofinanciamiento”* (SEMARN-OPS, 2001).

Cabe señalar que, aunque la *“Ley sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 64-00)”* existe desde el año 2000, se dice que no es hasta el 2003 con la *“Norma para la Gestión Ambiental de los Residuos*

*Sólidos No Peligrosos*, que se establecen los lineamientos para su gestión, especificando también los requisitos sanitarios que se han de cumplir en el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final”.

En la Estrategia Nacional de Desarrollo (Ley 1-12), se establece la importancia de gestionar los residuos sólidos en su cuarto eje que *“procura una sociedad de producción y consumo sostenible que adapta el cambio climático, y que comprende un objetivo específico sobre desarrollar una gestión integral de desechos, sustancias contaminantes y fuentes de contaminación, así como líneas de acción relacionadas concretamente al manejo de residuos”* (Ley Nº 1-12, 2012).

En las últimas décadas la población en la República Dominicana ha incrementado de forma acelerada, ya que para el año de 1987 contaba con una población urbana de unos 3,7 millones aproximadamente pasando a tener actualmente más de 8,5 millones. En vista de esto se ha originado, según los datos más recientes y disponibles, que las toneladas de RSU producidas sobrepasen los 4 millones de toneladas al año o 11.000 toneladas diarias. Este resultado, equivale a 1,11 kilogramos de basura por persona al día (por debajo de la media de los países del Caribe, pero por encima de la media de países latinoamericanos).

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda realizado en el 2010 en la República Dominicana, señala que la basura se ha constituido fundamentalmente en la zona donde existe mayor concentración poblacional y en muchos de los lugares públicos, convirtiéndose en un elemento más del paisaje. Este tipo de contaminación es la que más afecta a nivel nacional por número de viviendas, con un 14%.

En otro lugar, aunque la mayoría de los residuos sólidos que se producen en el país son de origen orgánico, según el estudio efectuado por el Banco Mundial, la República Dominicana es el país de América Latina y el Caribe con una mayor proporción de residuos plásticos, lo que es una prueba del mayor uso de productos desechables.

En febrero de 2014, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales lanzó la “Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales”, en la cual se implementa la necesidad de establecer una coordinación eficaz y eficiente entre el gobierno central y los ayuntamientos. A sabiendas de que los mismos, son los que tienen la responsabilidad directa por mandato legal del manejo de los residuos sólidos en sus respectivas jurisdicciones.

A través de un análisis llevado a cabo en octubre de 2014 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), se constata que la mayoría de los ayuntamientos en República Dominicana “no cuentan con los recursos requeridos para

cumplir la importante función que les ha sido asignada, debido a múltiples debilidades de carácter institucional, legal, financiero, técnico-operativo, entre otros” (OPSD, 2017). Además, señala que “hay problemas de eficiencia y cobertura en la recolección y transporte, mezcla de residuos peligrosos y no peligrosos, disposición final incontrolada, falta de educación en la ciudadanía y de difusión de buenas prácticas relativas al manejo de los residuos, entre otros aspectos” (OPSD, 2017).

Esta situación suscita, en la actualidad, la intervención del Ministerio de Medio Ambiente en la gestión de residuos de muchos ayuntamientos.

En el caso de estudio de la ciudad de Santiago de los Caballeros, la gestión integral de residuos sólidos le compete por ley al Ayuntamiento de Santiago, expresado en las “*Leyes 64-00, 176-07*” y en las diferentes normativas enfocadas a Manejo de los Residuos Sólidos. Para este fin, se creó la Dirección de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), la cual debe organizar las estrategias y los lineamientos de la gestión de los residuos.

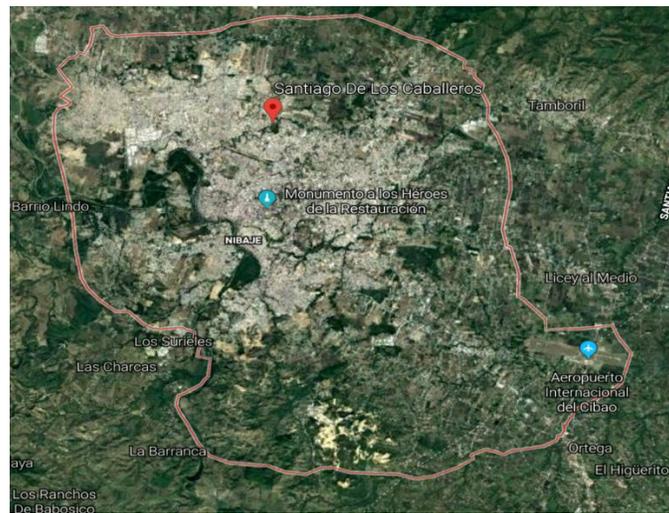
Nuestra zona de estudio sobre el Análisis del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos está ubicada en la República Dominicana, provincia Santiago, en el municipio de Santiago de los Caballeros.



*Ilustración 5: Ubicación geográfica de la República Dominicana.*

La República Dominicana está ubicada en la región del caribe. Este país cuenta con la siguiente coordenada  $18^{\circ} 44' 08.49'' N$ ,  $70^{\circ} 09' 45.54'' O$ , limita al norte con el Océano Atlántico, al sur se encuentra bañada por las aguas del Mar Caribe, al este por el Canal de la Mona y al oeste por Haití, como se puede observar en la ilustración 5.

Según censo del 2010, esta cuenta con una población de 10,768,998 millones de habitantes aproximadamente y superficie de 48,760 km<sup>2</sup> y tiene una densidad poblacional de 221 habitantes por km<sup>2</sup>.



*Ilustración 6: Ubicación geográfica del casco urbano del municipio de Santiago de los Caballeros.*

La zona de estudio está localizada en la región del Cibao al norte de la República Dominicana, en la ciudad de Santiago de los Caballeros (ver ilustración 6). Esta es la segunda ciudad más importante en cuanto a desarrollo económico y la tercera en densidad poblacional. Según el censo del 2010 “este municipio cuenta con una población de 785,369 habitantes”. Su coordenada geográfica es 70° 42’ 0’’O, 19° 17’ 0’’N limita por el norte con la provincia Puerto Plata y al sur con la provincia San Juan, por el este con las provincias Espaillat y La Vega y por el oeste con las provincias Santiago Rodríguez y Valverde.

La temperatura media anual de la región oscila entre 26,5°C a 29°C siendo los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre los de menor temperatura. Durante los últimos tres años, la temperatura promedio mensual a nivel de superficie oscila entre 22,9°C a 29°C. Con valores mínimos en enero y máximo en julio. La humedad relativa promedio de la ciudad de Santiago es de 58%.

En cuanto a la precipitación, esta zona cuenta con una pluviometría media entre 600 y 900,80 mm por año siendo los meses de mayo y diciembre los más lluviosos del año.

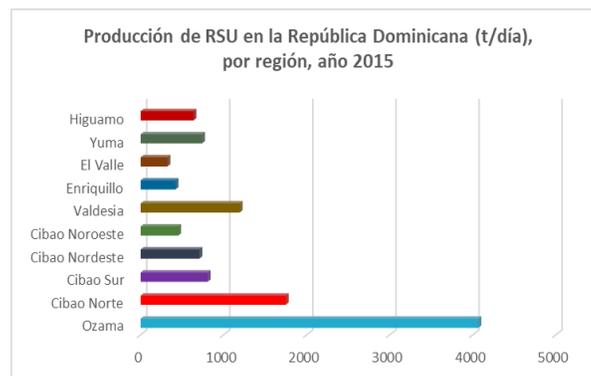
La evapotranspiración potencial en el municipio de Santiago es de 1538 mm por año, siendo los meses de abril, mayo, junio julio y agosto los meses que presentan los mayores valores.

Los vientos dominantes en la ciudad de Santiago son de Este-Oeste, presentando pequeñas desviaciones hacia el noroeste de la ciudad. Las velocidades varían entre un mínimo de 37,6 Km/h y 191,6 Km/h.

Topográficamente, esta zona de estudio cuenta con un terreno ondulado que, a su vez, está constituido por cerros ascendentes y descendentes lo que origina cuencas que son muy idóneas para ubicar un proyecto de rellenos sanitario. La zona es semiárida muy seca producto directo de los vientos alisios los cuales penetran en la isla con orientación Este-Oeste.

#### 4.1.1. Producción.

A través del boletín del “Observatorio de Políticas Sociales y Desarrollo” avalado por el Gabinete de Coordinación de Políticas Sociales de la Vicepresidencia de la República en el año 2015, se obtuvieron los siguientes resultados respecto a la producción de residuos sólidos a nivel nacional con un valor de 11.087 t/día y promediando 1.109 t/día. Estos datos se pueden evidenciar en la gráfica 1, y el total de producción de residuos sólidos por región se muestra en la ilustración 7.



Gráfica 1: Producción de RSU por región.

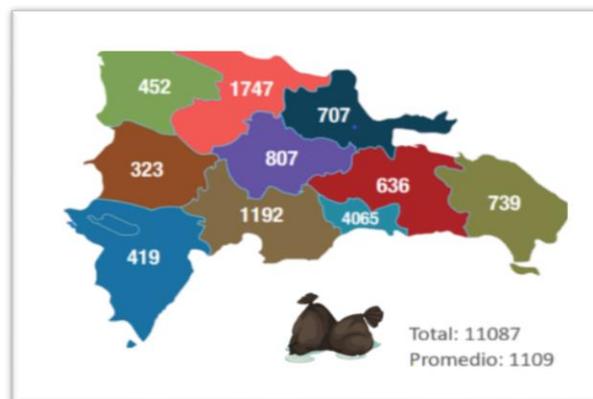
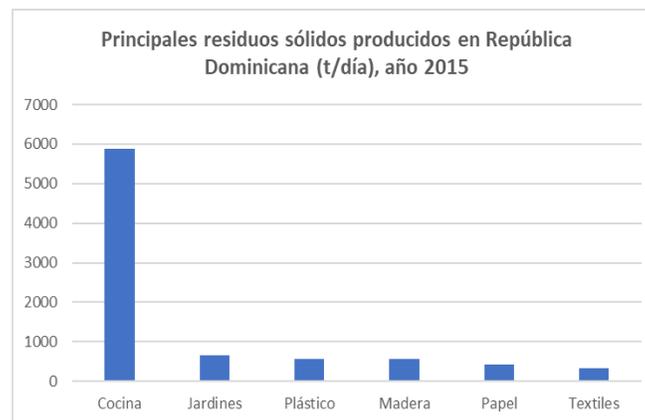


Ilustración 7: Mapa regional de la República Dominicana y su respectiva producción de RSU (t/día), año 2015.

Fuente: Elaborado por Freddy Alcántara con el informe de Castillo, R y Castillo, O. (2016), op. cit., datos obtenidos de la tabla 11 y rediseñado por autoría propia.

El informe analítico de República Dominicana llevado a cabo por la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales, señala que: “la generación promedio de residuos sólidos para países en vías de desarrollo como la República Dominicana, se estima de 0,60 a 0,90 kg/hab/día. Con relación a la composición promedio se afirma que los residuos son básicamente orgánicos en un 60% a 70%. Los elementos reciclables son vidrio, papel, cartón y metales, que representan un porcentaje aproximado de 10% a 25%”. (OPS, 2003). En la gráfica 2, se pueden observar los principales residuos sólidos producidos en la República Dominicana.



*Gráfica 2: Residuos sólidos producidos en República Dominicana (t/día), año 2015.*

#### 4.1.2. Recogida y transporte.

En las ciudades más grandes del país, los ayuntamientos, asignan la recolección a empresas privadas que ofrecen el servicio. La OPSD señala que, “los equipos utilizados para la recolección de residuos sólidos, en las zonas urbanas, por lo general, tienen mecanismos de compactación o una placa empujadora para aumentar la densidad aparente (en promedio alcanzan 450 Kg/m<sup>3</sup>) o incluyen algún mecanismo tipo volteo. Sin embargo, en las zonas rurales se utilizan con frecuencia camiones de cama fija de diferentes tamaños dependiendo de la ruta de recogida, con personal que no solo se encarga de recoger y lanzar la basura dentro del camión, sino que además se ubican dentro de estos para colocar la basura de forma tal que, pueda contener la mayor cantidad posible” (OPSD, 2017).

El análisis llevado a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en octubre de 2014, indica, además, que en el país hay 1,05 equipos de recolección por cada 10.000 habitantes, cercana a la media de la región de 1,31 por cada 10.000 habitantes. En las grandes ciudades el promedio está muy por debajo del valor que tiene la región, 0,35 versus 0,95 unidades

recolectoras por cada 10.000 habitantes, lo que podría explicar la acumulación de basura de las grandes ciudades, como es el caso del Gran Santo Domingo y Santiago de los Caballeros.

En base a la cobertura del servicio de recolección, la información disponible más reciente, señala que en el país el porcentaje de dicha cobertura es de 97%, con una frecuencia de recolección mayormente diaria. Sin embargo, en otros informes como el elaborado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), puntualiza que la cobertura de recolección de residuos sólidos en la República Dominicana es de 69%, con una frecuencia que ocurre mayormente una vez por semana.

En el caso de las zonas de hacinamiento la recogida de basura supone un problema aún mayor, debido a que la frecuencia de recolección es mucho menor.

De forma conjunta, la OPSD indica que “tanto la recolección como el transporte de la basura generan inconvenientes para los usuarios, debido a que se ejecutaban sin horario establecido y, muchas veces, en horas de mayor flujo vehicular. A dicha situación, se le añade, además, el ruido generado por los vehículos recolectores. Estos frecuentemente, hacen uso de sus bocinas como mecanismo para alertar a los hogares de su paso y para que dispongan de cualquier basura restante en las aceras” (OPSD, 2017).

#### 4.1.3. Pretratamiento.

Según un informe analítico llevado a cabo en República Dominicana por la OPS explica que:

“la fase de tratamiento aún no es efectuada por las autoridades municipales. Señala, además, que la base de datos sobre el volumen de residuos que se recicla no provee información confiable. Sin embargo, los empleados de recolección separan alguno de los materiales a pequeña escala de manera no oficial en el proceso de recolección y transporte, así como en los vertederos, los buzos, son los propietarios de esta práctica. Indica también que, en el país existen varias microempresas y empresas que se dedican al reciclaje de vidrio, metales, cartón, papel y plásticos, por lo que se puede afirmar que es un renglón para desarrollar más ampliamente y que debe estudiarse más a fondo” (OPS, 2003).

#### 4.1.4. Valorización.

##### Caso de estudio de la ciudad de Santiago de los Caballeros

Actualmente en la ciudad de Santiago de los Caballeros existe una planta de valorización de RSU (Cilpen Global). Esta empresa inició sus operaciones en julio del 2017, caracterizándose de manera especial, por

su alto estándar de calidad en sus diversas instalaciones y por realizar un manejo adecuado a los residuos. Por tales criterios, es considerada como la primera empresa de valorización de residuos urbanos en el país y la más grande y moderna de la región Caribe. Antes de su puesta en marcha, se realizó un estudio de factibilidad en la zona y con ello se verificó las potencialidades que podría generar el reciclaje de los residuos sólidos en esta, con la finalidad de que estos sean comercializados en mercados internacionales.

Se caracteriza principalmente, por ser una planta de residuos NO orgánicos, la cual tiene una capacidad instalada de producir 600 toneladas diarias. No obstante, en sus operaciones inicia con una producción de 300 t/día. Esta planta ocupa en el área de sitio de disposición final, una superficie de 22.000 m<sup>2</sup>, proporcionando un manejo adecuado en dicho lugar y disminuyendo la producción de metano (GEI). En la ilustración 8, se puede observar la vista en planta de esta instalación y en la ilustración 9 se puede apreciar el plano arquitectónico de su configuración.



*Ilustración 8: Vista en planta de la instalación Cilpen Global en vertedero de Rafey.*

Fuente: <https://prezi.com/asskjbdezcn/documento-sitio-de-disposicion-final-eco-parque-rafey-plan/>



Ilustración 9: Plano arquitectónico de la instalación Cilpen Global.

Fuente: <https://prezi.com/asskjbdezcnn/documento-sitio-de-disposicion-final-eco-parque-rafe-y-plan/>

Dentro de otros aspectos, se puede ratificar que es una planta generadora de materia prima para la industrialización. Entre los materiales que comercializa se destacan el PET (clear-verde-azul), cartón, papel, desechables y envases de metal. La planta recibe los residuos desde los camiones de transportación y luego pasa a un proceso pretratamiento (separación de residuos orgánicos e inorgánicos), para valorizarlos y con ello, potencializar la vida útil del sitio de disposición final (vertedero de Rafey).

En otro aspecto, cabe resaltar que, esta empresa inauguró recientemente la primera planta de residuos hospitalarios, reciclando los residuos de hospitales y clínicas del municipio. Sin embargo, no se tienen datos precisos de la cantidad de residuos a gestionar.

Por otra parte, existen otros proyectos como el denominado Zack, el cual fue implementado con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por el cemento y los residuos sólidos en el país, debido a que estos contribuyen con alrededor del 15% del total de las emisiones generadas.

#### 4.1.5. Eliminación en vertedero.

Según la información que provee la base de datos de la OPS señala que, “todos los municipios transportan directamente a vertedero los residuos que recolectan. La disposición final se hace en vertederos a cielo abierto. Esta última etapa del sistema del manejo de las basuras representa un gran dolor de cabeza para

los Ayuntamientos por ser el foco de contaminación de más alto alcance. En los municipios, los vertederos se encuentran muchas veces cerca de las comunidades, ríos y arroyos, causando impactos, aún no estudiados, pero evidentemente graves” (OPS, 2003).

La misma entidad destaca que en “el Distrito Nacional se encuentra el vertedero de Duquesa, con algunas obras de ingeniería que facilitan un comportamiento controlado similar a un relleno sanitario. Aunque todavía, le falta mejorar su laguna de estabilización y los drenajes para controlar los lixiviados. Algunos municipios (Jarabacoa, Moca, San Francisco de Macorís, entre otros) poseen un área de vertederos operados con algunas medidas técnicas y de control” (OPS, 2003).

A través de un estudio elaborado en el 2010 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se determinó que:

“en la República Dominicana existen más 350 vertederos a cielo abierto, de los cuales 325 fueron georreferenciados, para un total de 148 km<sup>2</sup>, resaltando que esta es una cantidad muy elevada para un país insular y de superficie reducida. Los residuos generados en el área del Gran Santo Domingo son depositados en el vertedero de Duquesa, siendo éste, el más grande para la eliminación de residuos sólidos en el país, con una superficie de 127,8 hectáreas de las cuales el 60% aproximadamente, ya han sido utilizadas en la disposición de residuos, ubicado en el Municipio de Santo Domingo Norte, a unos 15 km al noroeste del Distrito Nacional aproximadamente” (OPSD, 2017).

#### 4.1.6. Problemática ambiental.

Los principales problemas ambientales y de salud vinculados al manejo inadecuado de los residuos sólidos en la República Dominicana son los siguientes:

- **Fase de generación y almacenamiento de los residuos**

Problemática Ambiental se presentan riesgos ambientales por la generación y acumulación (almacenamiento) de materiales peligrosos y por proliferación de vectores como: ratas, insectos, roedores y organismos patógenos. Además, se puede originar contaminación de los alimentos y malos olores por degradación de estos últimos.

Riesgo a la salud puede acarrear consecuencias como: enfermedades gastrointestinales, intoxicaciones de infantes y mascotas, así como también, generar dengue.

Conjunto población expuesta aquella donde generalmente se presentan carencias de sistemas adecuados de almacenamiento o que en su demarcación no cuentan con un servicio de recolección.

- **Fase disposición de residuos**

Problemática ambiental se genera la proliferación de vectores, como en el caso anterior; contaminación de aire por quema, contaminación de aguas de superficiales por vertido de desechos en cañadas, arroyos y ríos; y contaminación de alimentos y malos olores.

Riesgo a la salud puede generar problemas gastrointestinales y respiratorias.

Conjunto población expuesta Conjunto de población donde se no existe servicio adecuado de recolección.

La práctica inadecuada de la disposición de residuos sólidos en la vía pública puede generar secuelas graves en el medio ambiente, en la población expuesta y en la salud.

- **Fase de recolección, transporte y almacenamiento en plantas de transferencia**

Problemática ambiental deterioro del paisaje, malos olores y ruido.

Riesgo a la salud por enfermedades respiratorias, gastrointestinales y dermatológicas y aquellas enfermedades derivadas de accidentes laborales

Población expuesta tiene sus efectos en la población en general y trabajadores formales e informales del sector de limpieza urbano.

- **Fase segregación y reciclaje**

Problemática ambiental se presentan deterioro del paisaje, malos olores y ruido.

Riesgo a la salud por causas de enfermedades respiratorias, gastrointestinales, dermatológicas y crónicas degenerativas. Y también, por accidentes laborales e intoxicaciones.

Conjunto población expuesta son los segregadores, las que adquieren productos en envases reusados, consumidores de carne vacuna y porcina de animales criados en los basureros o de restos de residuos orgánicos de la basura.

- **Fase de tratamiento y disposición final:**

Problemática ambiental por contaminación del suelo; contaminación de aire por quema y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que, trae como consecuencia la modificación de los sistemas de drenaje, el deterioro del paisaje por incendios.

Riesgo a la salud por enfermedades infectocontagiosas, alérgicas, de las vías respiratoria y crónico degenerativas, por accidentes laborales y por el dengue.

Conjunto población expuesta la que se encuentra adyacente a los lugares de disposición final, sectores poblacionales periurbanos, donde acumulan o queman desechos y con ello a trabajadores formales e informales del sector.

## 4.2. Análisis y diagnóstico en la zona de Santiago de los Caballeros.

### 4.2.1. Metodología actual de recolección y disposición final.

De forma conjunta con el Ayuntamiento, la recolección de los residuos las realiza las empresas privadas Urbaluz SRL., Conwaste (empresa puertorriqueña), Compañía de Limpieza Urbana y Comlursa, mediante un contrato con el municipio.

Para el año 2011 la administración del sitio de disposición final, es decir, vertedero de Rafey le fue adjudicada mediante licitación a la empresa Green Wheels dominicana. En ese entonces, los diferentes residuos urbanos, sanitarios, peligrosos, industriales, de construcción, entre otros, se mezclaban en origen (o en ocasiones en destino), conduciéndose de forma indiscriminada al vertedero.

En el 2014, la empresa Green Wheels dominicana subcontrató a Lavo Investments. Las estrategias empleadas por Lavo para mejorar las condiciones del vertedero fueron las de instaurar celdas y cubrimientos con arcilla, trabajando de acuerdo con el método de área del modo siguiente: Llegan los camiones, se pesan, la basura se deposita en el área designada, se compacta y entran los recicladores; poco tiempo después la basura se cubre con tierra.

A pesar de ello, desde el inicio de la presente gestión, la situación del municipio respecto a la gestión de residuos sólidos presentaba un deterioro significativo en los procesos de recolección, transporte y disposición final, caracterizándose tal situación en la proliferación de desechos y la arrabalización en diferentes puntos del territorio. Igualmente, en la Dirección de Transportación, debido a la no existencia de procesos de planificación definidos y a ninguna estructura operacional visible. En adición a esto, no se contaba con procedimientos contingentes, dirigidos a enfrentar la problemática de la recogida de desechos ni el saneamiento de áreas en el municipio. Un elemento característico se manifestaba en un sistema de recolección lineal, donde sólo se recogía residuos en las avenidas, presentándose vertederos improvisados que arrojaban el municipio.

A través de los años y en virtud de la situación, se inicia una fase de reestructuración en el sistema, definiéndose planes y metodologías de trabajos, dirigidas a enfrentar la situación de emergencia en la que se encontraba el municipio, implementándose una estrategia de intervención en la que se consideró:

- División territorial del municipio, tomándose en cuenta los siguientes indicadores:
  - 1) Producción de desechos sólidos por sector.
  - 2) Población.
  - 3) Edificaciones.
  - 4) Diseño de frecuencia.

A partir del desarrollo de este proceso se articuló una división de doce (12) zonas, en las cuales fueron designados igual cantidad de gestores municipales, para ser ente coordinador entre la población del territorio y el gobierno Local, en lo relativo al servicio de limpieza. Dentro de las principales funciones de este equipo de trabajo se destacan las siguientes:

- a) Seguimiento de la frecuencia.
- b) Supervisión de brigadas de barrido.
- c) Interacción con otras dependencias para el cumplimiento de servicios.
- d) Apoyo logístico.
- e) Monitoreo.

El servicio de recolección en estas doce (12) zonas está conformado por sectores, a los cuales se les asignó un cierto número de personal de limpieza, en base a la cantidad de áreas públicas por las que dichas zonas están constituidas, obteniendo así un control sobre el promedio semanal de desechos sólidos producidos en cada una de ellas. En la parte inferior de la ilustración 10, se puede apreciar un cambio significativo en el aspecto paisajístico de la urbe, gracias a la implementación de dicha estrategia.



*Ilustración 10: Aspecto actual del paisaje de la ciudad de Santiago de los Caballeros.*

#### 4.2.2. Recogida y transporte.

Respecto a la recolección de los residuos, antes se realizaba de puerta a puerta, es decir, las bolsas de residuos se colocaban en la calle y en las puertas de las casas para que posteriormente fueran recolectadas. No existiendo horarios o itinerarios fijos para los camiones de recolección por lo que, la basura fue en muchas ocasiones abandonada en las calles contribuyendo con ello al deterioro de la ciudad. En la ilustración 11, se puede observar el medio de recolección y transporte.



*Ilustración 11: Medio de recolección y transporte.*

Fuente: (Caballeros, 2016)

Hoy en día, la nueva administración ha creado el departamento de unidad de Fiscalización y Control, para controlar el pesaje de los RSU en el municipio. Esta unidad estableció que la producción de RSU mediante

pesaje año 2017-2018, generó un promedio de 1.100 toneladas diarias que llegan a sitio de disposición final. Este lugar es utilizado, además, por unos 10 distritos municipales aledaños entre ellos Puñal, Licey, Guayabal, Canabacoa, Las Palomas, Canca la Reyna, Palmar, Las Lagunas y Monte La Jagua ubicados en la zona este y sureste de la ciudad.

De las 1.100 toneladas diarias en promedio que se registran en el vertedero, un 40% aproximadamente es gestionada actualmente por la empresa Cilpen Global, es decir, unas 440 t/día. El 60% restante, es decir, las 660 t/día son gestionadas en el sitio de disposición final por la Unidad Fiscalización y Control, encargándose del manejo de residuos sólidos mediante el control de camiones que se encuentran actualmente registrados, autorizados y segregados entre las diferentes prestadoras de servicios: Comwaste dominicana, Urbaluz SRL., Compañía de Limpieza Urbana, Comlursa y el Ayuntamiento de Santiago.

#### 4.2.3. Disposición de residuos en el vertedero municipal.

En cuanto a la eliminación final de los desechos se estima que la ciudad no cuenta con un relleno sanitario, por tal razón el 100% de los residuos son dispuestos en el vertedero de Rafey. Este vertedero inició sin ninguna planificación territorial y ambiental. Un informe efectuado por la entidad gubernamental (ayuntamiento), puntualiza que “el vertedero está captando actualmente un promedio de 1.100 t/día de desechos sólidos, equivalentes a 28.100 t/mes. Significando más del 8% de residuos sólidos producidos en República Dominicana”. Y que, además, unos 200 t/día no son recolectados y acaban quemados o acumulándose en los acuíferos superficiales y quebradas, u otros lugares no controlados por la GIRS.

Por otra parte, en base a un estudio realizado por la Corporación de Alcantarillado y Acueducto de Santiago (CORAASAN) se estima que el vertedero tiene una vida útil de 10 años.

La metodología Índices de Comercio Exterior de Servicios (ICES), señala que “respecto al tratamiento de los residuos sólidos, el porcentaje de los residuos sólidos dispuestos en la ciudad utilizados como recurso energético y el porcentaje de residuos sólidos de la misma que son compostados son del 0%. Y que el porcentaje de residuos sólidos que son separados y clasificados para reciclado es del 7%” (Caballeros, 2016). En la ciudad, el material orgánico que no es aprovechado en el lugar donde se genera. No es procesado para ser utilizado como fuente de alimento para animales o para generar compost, es llevado directamente al vertedero.

En la ilustración 12, se puede observar el predio donde se encuentra ubicado el vertedero. Actualmente, está localizado a unos 450 m del asentamiento poblacional en este caso sector Barrio Cienfuegos y a unos 950 m del río Yaque del Norte (ubicado en la parte Sureste del vertedero).

Las zonas donde funcionan los vertederos a cielo abierto están elevadas haciendo que, cuando se producen precipitaciones, esta agua de escorrentías superficiales penetren dentro de la basura y este producto corra hacia una cañada próxima y hacia la carretera de acceso.



*Ilustración 12: Ubicación del vertedero frente al asentamiento poblacional.*

En vista de esta situación, y de cara a mejorar las condiciones medioambientales de la zona y del sistema en su conjunto, lo más viable en estos casos, es implementar otras alternativas de gestión, de valorización y recomendar nuevas alternativas de emplazamiento para un futuro, en el cual se desarrolle, desde una perspectiva técnica un sistema de disposición final adecuado que cumpla con todos los parámetros y criterios estipulados en las normas.

#### 4.2.4. Recolección y tratamiento de lixiviados.

En el vertedero no existe un sistema de drenaje para los lixiviados, sino que existen drenajes superficiales excavados en los propios residuos. Los lixiviados llegan a unas lagunas de evaporación, que se han formado de forma natural. En verano se evapora, pero cuando llueve las lagunas desbordan y los lixiviados acaban en masas de aguas superficiales y subterráneas, lo que supone un riesgo de contaminación de aguas.

Dentro de los proyectos de construcción de la planta recicladora está la de gestionar los lixiviados mediante la instalación de una planta de tratamientos para lixiviados y con la incorporación de un sistema

de canaletas o red de lixiviados que se incorpore luego en una laguna anaerobia. En la ilustración 13, se puede observar los detalles de las perforaciones en el terreno.



*Ilustración 13: Canaletas para recolección de lixiviados en el vertedero de Rafey.*

#### 4.2.5. Recolección y quema de biogás producido en el interior del relleno.

En el vertedero no existe sistema de captación de biogás. Cada 4 meses aproximadamente se realizan controles de concentración de metano. En el caso de que ocurran concentraciones excepcionalmente altas se instala una chimenea para facilitar la desgasificación.

En cuanto a este aspecto se tiene en proyecto la instalación de tuberías verticales para recolectar todo el biogás generado por la descomposición química de los residuos, con la finalidad, además de generación de energía.

#### 4.2.6. Análisis del sistema mediante la matriz DAFO.

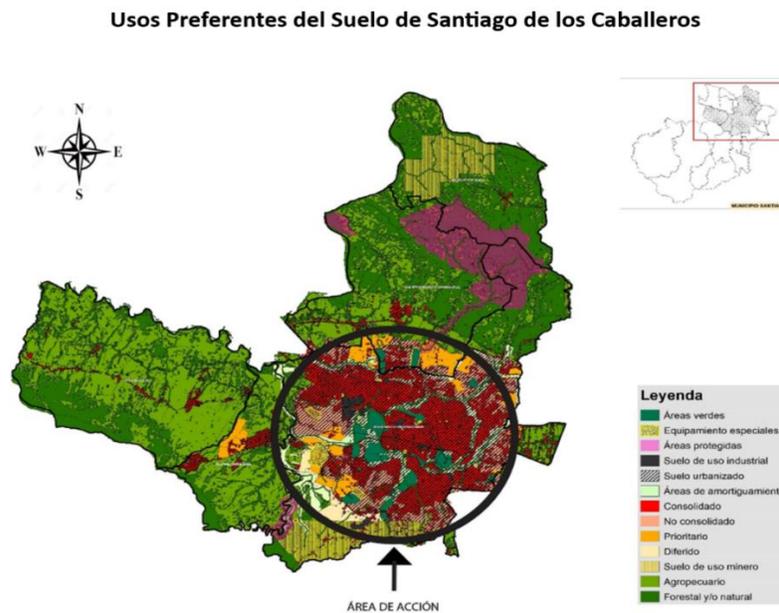
Tabla 1: Análisis DAFO aplicado al sistema de gestión de residuos sólidos en la ciudad de Santiago de los Caballeros.

ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
<p style="text-align: center;"><b>Debilidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones en los planes de gestión y planificación en el manejo de residuos sólidos.</li> <li>• La no existencia de un programa orientado a la introducción: "recicla, reutiliza y reduce" en la gestión de residuos.</li> <li>• Limitados niveles de coordinación interinstitucional para la planificación, control, aplicación y fiscalización de planes, programas, proyectos y normas relativas al medio ambiente.</li> <li>• No existe conocimiento exacto de las tasas de generación y los inventarios.</li> <li>• Mezcla de los diferentes residuos sólidos urbanos peligrosos, industriales, de construcción en origen y en ocasiones en destino.</li> <li>• Disposición de desechos sólidos en vertedero (Rafey) que inició sin ninguna planificación territorial y ambiental.</li> <li>• En el vertedero no existe un sistema de drenaje para los lixiviados, sino drenajes superficiales excavados en los propios residuos.</li> <li>• Formaciones naturales de lagunas de evaporación donde llegan los lixiviados.</li> <li>• En el vertedero no existe un sistema de captación de biogás.</li> <li>• El no aprovechamiento de los residuos como recurso energético y como compost. De los que eran separados y clasificados solo se aprovechaba un porcentaje inferior al 10%.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Amenazas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo nivel de conciencia ambiental y ciudadana por parte de la población.</li> <li>• Incumplimiento de la ley 166-03 que destina el 10% del presupuesto de la nación para los Ayuntamientos, impactando de forma negativa, los ingresos del gobierno municipal local.</li> <li>• Alto nivel de centralización en la toma de decisiones desligadas de la realidad local.</li> <li>• Se estima que al vertedero de la ciudad sólo le quedan 10 años de vida útil.</li> <li>• Incremento de la población en las zonas suburbanas, fuera del dominio municipal incrementando la generación actual de los residuos, lo que supone un problema de gestión a largo plazo.</li> <li>• En caso de lluvia las lagunas de evaporación se desbordan, haciendo que los lixiviados acaben en masas de aguas superficiales y subterráneas suponiendo un riesgo de contaminación de las aguas.</li> <li>• Contaminación atmosférica por el biogás (metano) generado en el sitio de disposición final por descomposición anaerobia de los residuos orgánicos.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Fortalezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio inventario de equipos para los procesos de recolección y tratamiento final de los residuos sólidos.</li> <li>• Intervención del Ministerio de Medio Ambiente en la gestión de residuos.</li> <li>• Se crea la Dirección General de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), con el propósito de organizar las estrategias y los lineamientos de la gestión de los residuos con la inclusión de un departamento que se encarga de la disposición tratamiento final de los residuos sólidos.</li> <li>• Incorporación en julio del 2017 de una planta de valorización (Cipel Global) de RSU no orgánicos con capacidad instalada de generar 600 t/día.</li> <li>• Implementación de un Plan de rutas y frecuencias de barrido.</li> <li>• Planificación horaria y por división zonal de recolección de desechos sólidos, mediante rutas y frecuencias de recolección. Ejecutadas por el Ayuntamiento y empresas contratadas por la entidad como: Conwaste, Comlursa y Urbaluz. Con el uso de camiones compactadores y camiones pequeños.</li> <li>• El Ayuntamiento crea la unidad de fiscalización y control de los residuos sólidos. Realizado en las instalaciones del sitio de disposición final, mediante el uso de balanzas y software.</li> <li>• Incorporación de una planta reciclaje para tratar los residuos hospitalarios.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación de la ley 64-00 y las normas derivadas de la misma para la regularización de los residuos sólidos.</li> <li>• Participación conjunta con entidades del gobierno central (CORAASAN y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) en los planes de conservación y preservación de las fuentes acuíferas de la ciudad.</li> <li>• Existencia de instancias gubernamentales, en disposición de apoyar proyectos en el municipio.</li> <li>• Disminución de la producción de GEI por instalación de planta recicladora.</li> <li>• Mejor manejo en el servicio de recogida de basura.</li> <li>• Recuperación de espacios públicos, control y mantenimiento operación en la cobertura de recolección.</li> <li>• Manejo de los residuos sólidos por la empresa encargada reciclarlo cuando llega al vertedero.</li> <li>• Implantación de un sistema de drenaje de lixiviados y de captación de biogás en el vertedero.</li> <li>• La creación de un programa denomina Recicamp (Reduce-Reutiliza- Recicla) con el fin de crear en niños mayor grado de conciencia en la valorización de residuos.</li> <li>• Mejor control en el pesaje de los residuos sólidos y reducción de la cantidad de operadores en el registro y margen de error.</li> <li>• De efectuar un tratamiento especializado a los residuos de hospitales y clínicas con la reutilización y el manejo adecuado en el sitio de disposición final (vertedero de Rafey) mediante la creación de un vertedero que de albergue a estos tipos de desechos.</li> </ul>

### 4.3. Alternativas de Propuestas de Mejora.

#### 4.3.1. Consideraciones sobre alternativas de propuestas de mejora.

Las alternativas de propuestas de mejoras de la ciudad de Santiago de los Caballeros están basadas en estudios de ordenamiento territorial, implementados por el Ayuntamiento de la ciudad. En estos mapas se puede observar que la mayor concentración poblacional por km<sup>2</sup> de esta ciudad está reducida básicamente en estas zonas, así como los usos preferenciales del suelo. En la ilustración 14, la parte que se encuentra marcada por un círculo representa el área de influencia de la zona bajo estudio.

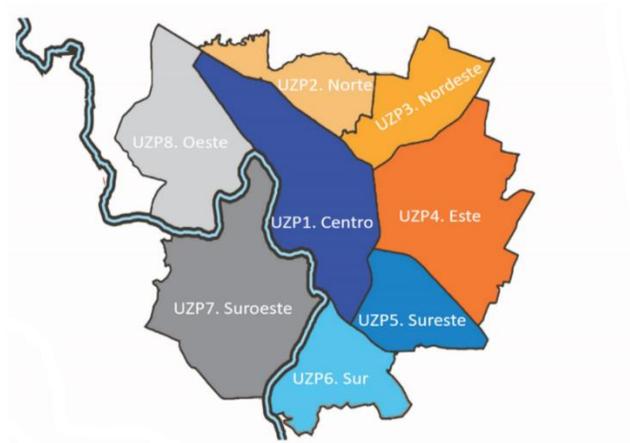


*Ilustración 14: Usos preferentes del suelo de la ciudad de Santiago de los Caballeros.*

Partiendo de las condiciones previamente establecidas, se desarrollará un Plan Zonal dividido en tres partes, extendiéndose entre las unidades zonales: Suroeste-Oeste, Norte-Nordeste-Este y Centro-Sureste-Sur.

En la selección de estas zonas se consideran ciertos factores de desarrollo, tales como: concentración territorial, principales actividades económicas característicos del lugar; así como también, la caracterización de los RSU respecto de su composición, producto de estas actividades y de la consolidación del suelo. En la ilustración 15, se puede observar la división y ubicación en el mapa de las unidades zonales de planificación del territorio bajo estudio y de posible emplazamiento para plantas de compostaje.

### Unidades Zonales de Planificación (UZP)

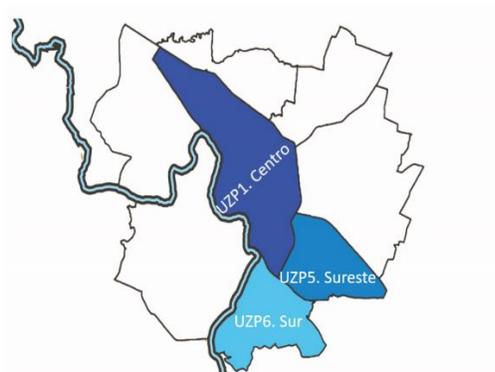


*Ilustración 15: Unidades zonales de planificación del área de acción.*

A continuación, se hace una breve descripción del Plan Zonal llevado a cabo en cada una de estas zonas:

#### **a) Zona Centro-Sureste-Sur**

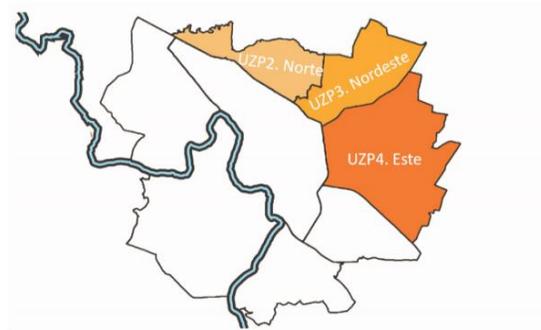
Este plan zonal se extiende por las unidades zonales 1, 5 y 6, a su vez, corresponden a las zonas del Centro-Sureste-Sur; y según usos preferentes de suelo, los residuos que llegan a la planta son generados principalmente por actividades comercial, doméstica e industrial. Esta zona es la de mayor concentración poblacional con una población de 350.000 habitantes. En la ilustración 16, se observan la zona bajo estudio.



*Ilustración 16: Unidades del Plan Zonal de la zona Centro-Sureste-Sur.*

### b) Zona Norte-Nordeste-Este

El plan zonal de esta zona se extenderá por las unidades zonales 2, 3 y 4, a su vez, corresponden a las zonas Norte-Nordeste-Este y áreas de influencia, por la afectación de algunos distritos municipales. Según usos de suelos preferentes los residuos que llegan a la planta de compost proceden principalmente de las actividades agrícolas y domésticas. Esta es la de menor concentración poblacional y cuenta con una población estimada de 190.000 habitantes. En la ilustración 17 se puede observar la zona de interés.



*Ilustración 17: Unidades del Plan Zonal de la zona Norte-Nordeste-Este.*

### c) Zona Oeste-Suroeste

Este plan zonal estará ubicado en la unidad zonal 7 y 8, a su vez, corresponden a las zonas del SUROESTE y OESTE; y según usos de suelo preferente, los residuos que llegan a la planta son generados principalmente por actividades domésticas e industrial. En cuanto a concentración poblacional, ocupa el segundo lugar con una población de 250.000 habitantes. En la ilustración 18, se observa la zona bajo estudio.



*Ilustración 18: Unidades del Plan Zonal de la zona Suroeste-Oeste.*

#### 4.3.2. Consideraciones datos de partida.

Los datos empleados en este análisis fueron proporcionados por la oficina encargada de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) del Ayuntamiento de la ciudad y están basados en estudios realizados en la zona de interés. Las zonas bajo estudio tienen actualmente una generación promedio per cápita de 1,15 kg/hab/día aproximadamente, según datos proporcionado por el Ayuntamiento de Santiago establecido mediante el proyecto “Complejo para el Tratamiento de los Residuos Sólidos en la ciudad de Santiago periodo 2008-2027”.

#### 4.3.3. Caracterización de los RSU en las zonas bajo estudio.

Se llevó a cabo análisis de composición física de los RSU efectuado por la Unidad de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) del Ayuntamiento de la ciudad; aplicado a los diferentes estratos sociales (clase alta, clase media, baja y de hacinamiento). Dando como resultado los distintos grupos de residuos sólidos más predominantes, entre ellos están:

- a) Restos de comida
- b) Papel-Cartón
- c) Plástico
- d) Vidrio
- e) Textiles
- f) Cuero
- g) Residuos de Jardín
- h) Madera
- i) Metales
- j) Otros

Luego de haber efectuado la separación de los distintos tipos de residuos, se procedió a pesar el material obtenido y con ello se estableció el porcentaje en cada una de las muestras tomadas para el estudio.

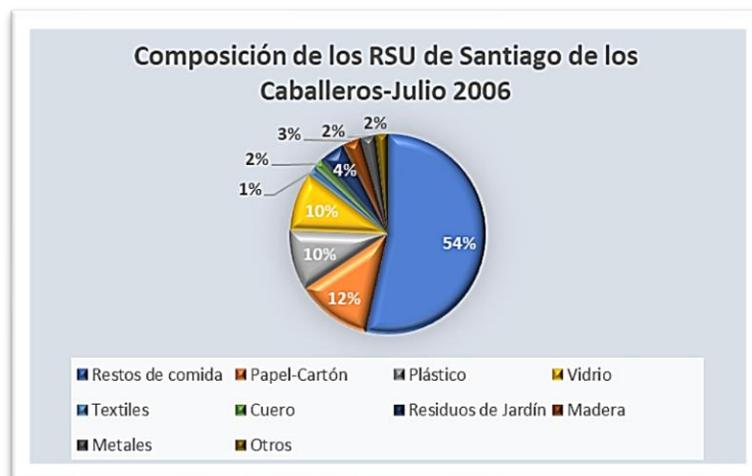
Con la información obtenida se determinó una composición promedio general en peso de los residuos previamente recolectados en cada uno de estos sectores correspondientes a las distintas unidades zonales.

En la tabla 2 y gráfica 3, se pueden verificar en detalle los resultados del análisis de caracterización de residuos de la zona Centro-Sureste-Sur. Y en la tabla 3 y gráfica 4 los resultados del análisis de

caracterización de la zona Norte-Nordeste-Este; y en la tabla 4 y gráfica 5 los resultados del análisis de caracterización de la zona Suroeste-Oeste, como sigue:

*Tabla 2: Resultados análisis de la composición RSU de la zona céntrica de la ciudad de Santiago de los Caballeros, año 2006.*

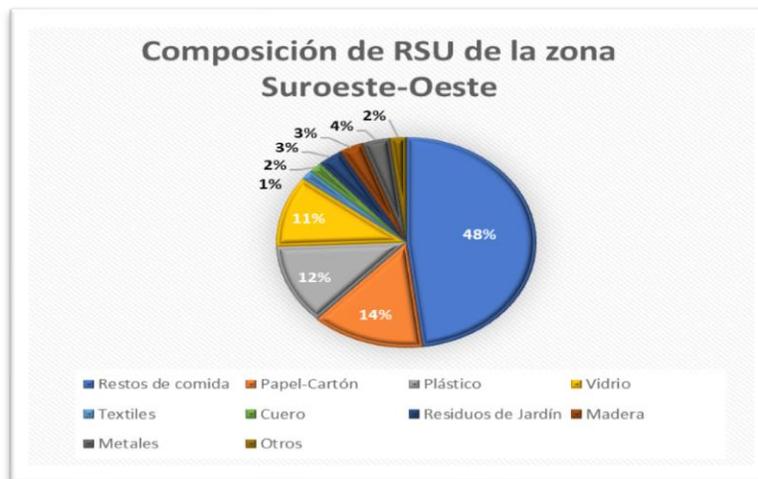
COMPONENTES	Peso (Kg)	% Peso
Restos de comida	378,20	53,64
Papel-Cartón	86,27	12,24
Plástico	68,44	9,71
Vidrio	67,48	9,57
Textiles	10,62	1,50
Cuero	8,94	1,65
Residuos de Jardín	28,99	4,16
Madera	24,19	3
Metales	17,99	2,55
Otros	13,93	1,98
<b>TOTAL</b>	<b>705,05</b>	<b>100</b>



*Gráfica 3: Caracterización de los RSU en la Zona Centro.*

Tabla 3: Análisis de composición de RSU de la zona Suroeste-Oeste de la ciudad de Santiago de los Caballeros.

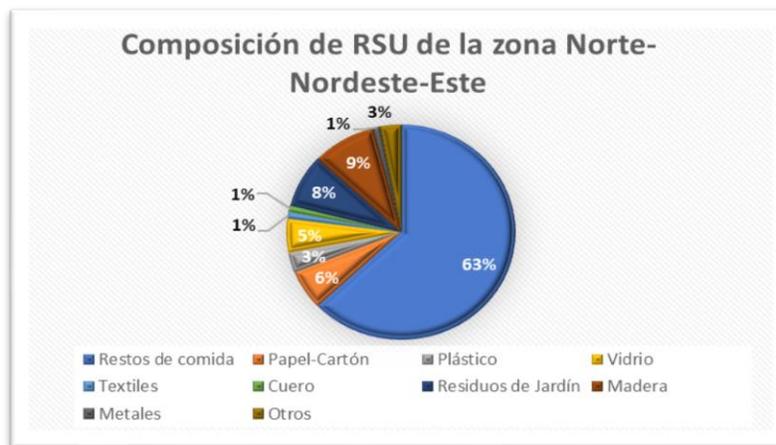
COMPONENTES	Peso (Kg)
Restos de comida	48
Papel-Cartón	14
Plástico	12,35
Vidrio	11
Textiles	1,5
Cuero	1,65
Residuos de Jardín	3
Madera	3
Metales	3,5
Otros	2
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>



Gráfica 4: Caracterización de los RSU en la Zona Suroeste-Oeste.

Tabla 4: Análisis de la composición de los RSU de la zona Norte, Nordeste y Este de la ciudad de Santiago de los Caballeros.

COMPONENTES	% Peso
Restos de comida	63
Papel-Cartón	6
Plástico	3
Vidrio	5
Textiles	1
Cuero	1
Residuos de Jardín	8
Madera	9
Metales	1
Otros	3
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>



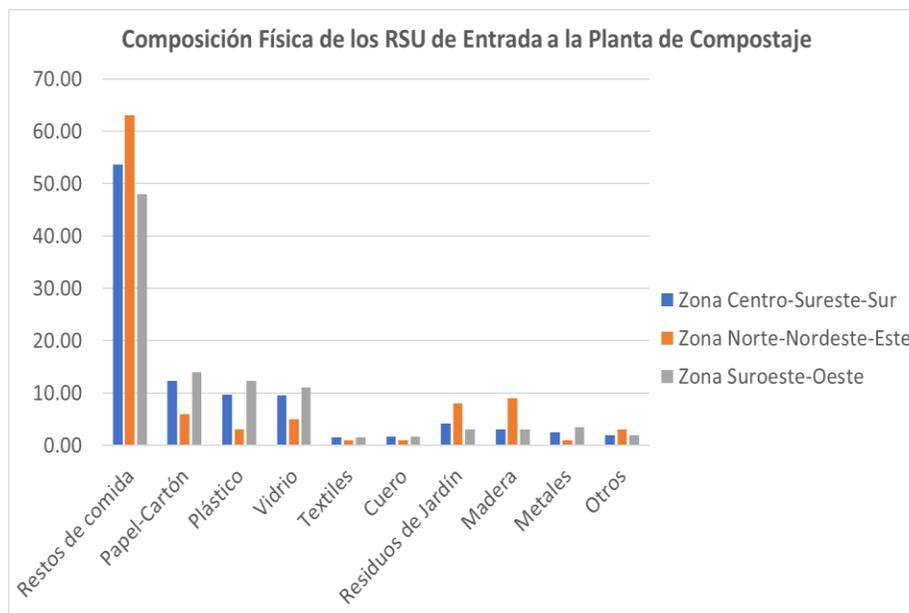
Gráfica 5: Caracterización de los RSU en la Zona Norte-Nordeste-Este.

#### 4.3.3.1. Comparación cuantitativa de los residuos de composición de entrada a la planta en los distintos planes zonales.

A través de la gráfica 6, se constata que los RSU respecto a su composición varían de una zona a otra. Todo esto es, debido a las actividades económicas inherentes de cada zona, así como además a su densidad poblacional. A pesar de que, la concentración poblacional es la más baja con tan solo un 24% aproximadamente de toda la población tomada en cuenta bajo este estudio. Se puede aseverar que, en comparación con las demás zonas, la generación de residuos sólidos orgánicos en zonas donde su principal

economía está basada en cultivos puede presentar un mayor porcentaje de materia orgánica, ya sea producto de esta o de los residuos domésticos.

La cantidad de productos reciclables en estas zonas disminuyen significativamente, sin embargo, se puede observar que, las zonas que pertenecen al Plan zonal que se extiende por las zonas Centro-Sureste-Sur y Suroeste-Oeste, existe una relación más a fin, debido a que, respecto a la premisa anterior presentan valores prácticamente similares en cuanto a sus características. No obstante, en la componente de restos de comida presentan una ligera diferencia. Esta situación se debe fundamentalmente a la alta concentración poblacional de la zona Central de la ciudad, representando el 44% versus al 32% de la parte Oeste.



*Gráfica 6: Análisis de la composición de los RSU de la zona Norte, Nordeste y Este de la ciudad de Santiago de los Caballeros.*

#### 4.3.4. Consideraciones previas sobre el Sistema de Valorización Compost.

Por los resultados que arrojaron los datos recopilados de las muestras, en las que se determinó cuantitativamente la composición de RSU en las zonas correspondiente a su Plan Zonal se observa que el mayor porcentaje, corresponden a residuos orgánicos (restos de comida), siendo en la zona Centro de 53,64%, en la zona Oeste de 48% y en la zona Este de un 63%.

En vista de esta situación es factible implementar una planta de compost en cada una de ellas. Sin embargo, en el caso particular del Plan Zonal que se extiende por las zonas Norte, Nordeste y Este de la ciudad, donde la principal actividad económica es la agricultura, la producción de abono a través del

compostaje ayudará a un mejor desarrollo de su cultivo mejorando la calidad de sus suelos. No obstante, también se reducirá de forma significativa el volumen de residuos sólidos que llega al vertedero de Rafey, incrementando la vida útil de este y minimizando los GEI's y lixiviados que se generan allí, producto de la descomposición y oxidación de la materia orgánica.

En base al caso de estudio, y en virtud de las necesidades en estas zonas; de los recursos disponibles, así como de las condiciones ambientales, se optará por desarrollar el diseño de tres plantas de compostaje, las cuales estarán estructuradas por un sistema abierto y que funcione mediante pilas o hileras volteadas.

#### 4.3.5. Propuesta de mejora del Plan Zonal de la zona Centro-Sureste-Sur.

En vista de que una de las formas más consecuentes en pro de mejorar la calidad de un sistema de GIRSU, según estudios previos, es la de implementar estructuras o sistemas de valorización de residuos sólidos.

Los sistemas de valorización de compost ayudan particularmente a reducir significativamente el volumen de residuos (mitiga daños al medio ambiente) que hoy en día llega al vertedero de la ciudad, genera subproductos y compost (fuente de economía). La cantidad de rechazos o de compost que se pueda generar dependerá básicamente de que tan eficiente sea sistema, pero la viabilidad de este dependerá, además, del rendimiento de las maquinarias y de la experticia de los operarios y trabajadores.

En el siguiente apartado se desarrollarán los cálculos tipos de la planta de compostaje perteneciente a este Plan Zonal. Dichos cálculos servirán de base y modelo para saber qué criterios, variables y parámetros se deben considerar, para obtener como resultado un diseño óptimo, eficiente y económico que se ajuste de la mejor manera posible a la realidad de este caso en particular y en los demás.

#### 4.3.6. Planta de compostaje del plan zonal de la zona centro- sureste-sur.

La finalidad de este estudio es hacer el diseño de una planta de compostaje que, de servicio a una población de 350.000 habitantes, distribuidas en la zona Centro, Sur y Sureste de la ciudad. Esta población, tiene actualmente una generación promedio per cápita de 1,15 kg/hab/día aproximadamente, según datos proporcionado por el Ayuntamiento de Santiago establecido mediante el proyecto *“Complejo para el Tratamiento de los Residuos Sólidos en la ciudad de Santiago periodo 2008-2027”*.

Los valores de humedad de los diferentes residuos recogidos se han estimado, puesto que no existe determinación de las características específicas del estudio elaborado. Los resultados obtenidos de la tabla de caracterización se muestran en la tabla 5:

Tabla 5: Composición de los RSU.

COMPONENTES	Peso (Kg)	Humedad (%)
Restos de comida	53,64	70
Papel-Cartón	12,24	20
Plástico	9,71	5
Vidrio	9,57	0
Textiles	1,50	10
Cuero	1,65	10
Residuos de Jardín	4,16	60
Madera	3	20
Metales	2,55	0
Otros	1,98	30
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	

El dimensionamiento de la planta se centra en 3 ejes fundamentales:

1. Establecer el balance de masa, identificando de forma concreta los siguientes aspectos:
  - Los residuos procesados en la línea de tratamiento de Materia Orgánica por compostaje.
  - Los residuos procesados en la línea de rechazos.
  - Establecer los elementos que van a ser recuperados para su posterior reciclaje.
  - Calcular la cantidad de residuos obtenidos como rechazo primario.
2. Dimensionar las áreas de fermentación y maduración de compost.
3. Establecer la producción diaria de compost.

Los cálculos correspondientes al diseño de esta planta en particular estarán basados en el escenario base.

#### 4.3.6.1. Escenario I del diseño de la Planta de Compost de la Zona Centro-Sureste-Sur.

##### 4.3.6.1.1. Balance de masas.

Se establece el peso de en agua y en seco de cada componente, empleando el porcentaje de humedad previamente establecido en función de los valores típicos de contenido de humedad de residuos sólidos, como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6: Características de RSU de entrada a la planta.

COMPONENTES	Peso (Kg)	Humedad (%)	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)
Restos de comida	53,64	70	16,09	37,55
Papel-Cartón	12,24	20	9,79	2,45
Plástico	9,71	5	9,22	0,48
Vidrio	9,57	0	9,57	0
Textiles	1,50	10	1,35	0,15
Cuero	1,65	10	1,49	0,17
Residuos de Jardín	4,16	60	1,66	2,50
Madera	3	20	2,40	0,60
Metales	2,55	0	2,55	0
Otros	1,98	30	1,39	0,59
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		<b>55,51</b>	<b>44,49</b>

En esta tabla 6, se constata que la humedad de los residuos sólidos urbanos es igual a 44,49% y el peso seco de 55,51%.

A la entrada de los RSU a la planta, el 2% en peso de ellos son residuos sólidos urbanos de gran tamaño (voluminosos) que no deben incorporarse a la línea de tratamiento. Por cuestiones de cálculos se asume que el 100% de los RSU, será procesado en la planta de compost. Sin embargo, en la vida real, sólo el 98% restante de estos residuos, es el que ciertamente se procesa en la planta de compostaje.

De igual manera, se establecerán como válidos la siguiente distribución de residuos entre las dos líneas de tratamiento existentes en la planta. Hay que aclarar que, no obstante, a esto, los valores están apegados al contexto actual de la zona analizada por lo que, más adelante se comprobará si dichas suposiciones son ciertas. Su distribución se puede observar en la tabla 7:

Tabla 7: Porcentaje de residuos por cada línea de tratamiento.

COMPONENTES	Línea Materia Orgánica	Línea Rechazos
Restos de comida	70%	30%
Papel-Cartón	40%	60%
Plástico	25%	75%
Vidrio	15%	85%
Textiles	35%	65%
Cuero	30%	70%
Residuos de Jardín	75%	25%
Madera	65%	35%
Metales	10%	90%
Otros	50%	50%

Los residuos contenidos en la Línea de Materia Orgánica se procesarán para la obtención del compost y los residuos contenidos en la Línea de Rechazos serán procesados para la obtención de subproductos y su posterior reciclaje. El rechazo que se obtiene de ambas líneas se gestionara mediante depósito en una de las áreas de influencia del vertedero de Rafey.

#### 4.3.6.1.2. Residuos procesados en la línea de tratamiento de M.O.

Los residuos procesados en esta línea se han determinado mediante los porcentajes previamente establecidos. El contenido en peso y en agua se calcula aplicando el porcentaje de humedad correspondiente a cada uno de los componentes. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 8.

Tabla 8: Línea de materia orgánica (Compost Verde).

COMPONENTES	Línea Materia Orgánica	Peso Línea Materia Orgánica (Kg)	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)
Restos de comida	70%	37,55	11,26	26,28
Papel-Cartón	40%	4,90	3,92	0,98
Plástico	25%	2,43	2,31	0,12
Vidrio	15%	1,44	1,44	0
Textiles	35%	0,53	0,47	0,05
Cuero	30%	0,50	0,45	0,05
Residuos de Jardín	75%	3,12	1,25	1,87
Madera	65%	1,95	1,56	0,39
Metales	10%	0,26	0,26	0
Otros	50%	0,99	0,69	0,30
<b>TOTAL</b>		<b>53,64</b>	<b>23,60</b>	<b>34,04</b>
<b>Humedad Línea Materia Orgánica</b>			<b>56,01%</b>	

Esto indica que, por cada 100 kg de RSU que entran en la planta, el peso total de los residuos procesados en la línea de materia orgánica es de 53,64 kg; de estos 23,60 kg son materia seca y 30,04 kg corresponden al peso en agua.

La fracción húmeda de la línea de materia orgánica se determina a partir del peso total en agua entre el peso total, dando como resultado un 56,01% en peso correspondiente al Compost Verde.

#### 4.3.6.1.3. Residuos procesados en la línea de rechazos.

Los residuos procesados en la línea se han determinado aplicando los porcentajes previamente establecidos. El contenido en peso y en agua se calcula empleando el porcentaje de humedad correspondiente a cada uno de los componentes. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 9.

Tabla 9: Línea de Rechazos.

COMPONENTES	Línea de Rechazos	Peso Línea de Rechazos (Kg)	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)
Restos de comida	30%	16,09	4,83	11,26
Papel-Cartón	60%	7,34	5,88	1,46
Plástico	75%	7,28	6,92	0,36
Vidrio	85%	8,13	8,13	0
Textiles	65%	0,98	0,88	0,10
Cuero	70%	1,16	1,04	0,12
Residuos de Jardín	25%	1,04	0,42	0,62
Madera	35%	1,05	0,84	0,21
Metales	90%	2,30	2,30	0
Otros	50%	0,99	0,69	0,30
<b>TOTAL</b>		<b>46,36</b>	<b>31,93</b>	<b>14,43</b>
<b>Humedad Línea de Rechazos</b>			<b>31,13%</b>	

Esto indica que, por cada 100 Kg de RSU que entran en la planta, el peso total de los residuos procesados en la línea de rechazos es de 46,36 Kg; de estos 31,92 Kg son materia seca y 14,44 Kg corresponden al peso en agua.

La fracción húmeda de la línea de rechazos se determina a partir del peso total en agua entre el peso total, dando como resultado un 31,15% en peso.

#### 4.3.6.1.4. Cantidad de residuos obtenidos para rechazo primario.

Luego de haber calculado el peso de cada componente en la línea de rechazos, se establece el porcentaje de recuperación a los elementos que serán reciclados, de la siguiente manera:

- Un 50% de papel-cartón
- Un 50% de plásticos
- Un 50% del vidrio
- Un 30% de los metales

Se procedió a calcular el porcentaje en peso de cada uno de estos, mediante el peso de la línea de rechazo multiplicándola por el porcentaje de recuperación, previamente establecido, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 10.

Tabla 10: Elementos recuperados.

	% Recuperación	Peso (Kg)	% Peso
Papel-Cartón	50%	7,34	3,67
Plásticos	50%	7,28	3,64
Vidrios	50%	8,13	4,07
Metales	30%	2,30	0,69
<b>TOTAL</b>			<b>12,07</b>

El cálculo del rechazo primario se establece a través de la diferencia entre la totalidad de los residuos tratados en la línea de rechazos y los subproductos recuperados.

$$\text{Total, Rechazo Primario} = 46,36 - 12,07 = 34,29 \%$$

#### 4.3.6.2. Resultados del análisis de la relación C/N.

Antes de comenzar con el proceso de fermentación del compost verde es necesario verificar si la relación de carbono-nitrógeno (C/N) de la materia seca de la línea de M.O. se encuentra en condiciones adecuadas para llevar a cabo el proceso de compost. Los valores se establecieron en base al tipo de residuo y al peso de este. En la tabla 11, se pueden ver los resultados de esta relación:

Tabla 11: Resultados relación C/N aplicado al peso seco de la línea de M.O.

COMPONENTES	Peso Línea Materia Orgánica (Kg)	Peso Seco (Kg)	C	N
Restos de comida	37,55	11,26	5,27	0,25
Papel-Cartón	4,90	3,92	1,69	0
Plástico	2,43	2,31		
Vidrio	1,44	1,44		
Textiles	0,53	0,47	0,26	0,02
Cuero	0,50	0,45	0,25	0,03
Residuos de Jardín	3,12	1,25	0,61	0,04
Madera	1,95	1,56	0,78	0
Metales	0,26	0,26		
Otros	0,99	0,69		
<b>TOTAL</b>	<b>53,64</b>	<b>23,61</b>	<b>8,86</b>	<b>0,34</b>

$$\text{La relación C/N} = 8,86/0,34 = 26,06$$

Este resultado de la relación existente entre la materia seca del compost verde y su contenido en nutrientes se encuentra dentro del rango de los valores óptimos (25-30), por tanto, se puede llevar a cabo el proceso de fermentación.

#### 4.3.6.3. Consideraciones sobre el dimensionamiento de las áreas de fermentación y maduración.

En este caso se implementa el método tradicional de hilera con volteos periódicos, en un periodo de 3 meses, incluyendo las fases de fermentación y maduración. Se plantearán los cálculos para determinar la cantidad de superficie necesaria para gestionar los residuos producidos en un mes. Además, el resultado se deberá multiplicar por 4, para asegurar que la instalación permitirá gestionar adecuadamente la totalidad de RSU producidos por la población.

El proceso desarrollado en la planta, una vez separada la línea de materia orgánica (Compost Verde) de la línea de rechazo es la siguiente:

- Recuperación
- Separación
- Tratamiento de la fracción orgánica de los residuos por separado
- Fermentación
- Maduración
- Afino

##### 4.3.6.3.1. Análisis del proceso de fermentación.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el balance de masas (ver tabla 12), el peso seco de los distintos componentes de la fracción orgánica Biodegradable es:

Tabla 12: Fracción Orgánica Biodegradable de RSU.

COMPONENTES	Peso Seco Línea Materia Orgánica (Kg)
Restos de comida	11,26
Papel-Cartón	3,92
Textiles	0,47
Cuero	0,45
Residuos de Jardín	1,25
Madera	1,56
<b>TOTAL</b>	<b>18,91</b>

La fracción orgánica No Biodegradable de RSU, representa a los componentes restantes de la línea de materia orgánica y son los que van a vertedero. Los resultados se pueden ver en la tabla 13.

Tabla 13: Fracción Orgánica No Biodegradable de RSU.

COMPONENTES	Peso Seco Línea Materia Orgánica (Kg)
Plástico	2,31
Vidrio	1,44
Metales	0,26
Otros	0,69
<b>TOTAL</b>	<b>4,70</b>

Los resultados de las características del Compost Verde determinada previamente mediante el balance de masas, se puede observar en la tabla 14.

Tabla 14: Características del Compost Verde.

CARACTERÍSTICAS DEL COMPOST VERDE	
<b>Peso</b>	53,64%
<b>Humedad</b>	56,01%
<b>Peso Seco</b>	23,60 kg
<b>Peso Agua</b>	30,04 kg
<b>Peso seco de la fracción orgánica biodegradable</b>	<b>18,91 kg</b>

A medida que se desarrolla el proceso de fermentación se pueden producir unas pérdidas de agua por evaporación y pérdidas de materia seca por la transformación biológica de los Sólidos Totales (ST) de la fracción orgánica biodegradable. Las pérdidas que se producen se establecen del siguiente modo:

- **Pérdidas de agua por evaporación = 40% vapor de agua en peso**
- **Pérdidas por transformación biológica de los ST = 30% de ST biodegradables secos**

La pérdida de agua por vapor se calcula aplicando el 40% de vapor de agua en peso, al peso de agua del compost verde; y las pérdidas por transformación biológica la determinamos aplicando el 30% de ST biodegradables secos, dando como resultado lo que se muestra en la tabla 15.

Tabla 15: Pérdidas del Compost Fermentado.

Pérdidas	% Pérdidas	Peso	Unidades
Por Agua	40	12,02	kg agua
Por Transformación Biológica	30	5,67	kg materia seca
<b>TOTAL</b>		<b>17,69</b>	<b>kg</b>

Por consiguiente, si restamos a las características del compost verde, las pérdidas por evaporación y por transformación biológica de los ST, tendremos las características del compost fermentado, cuyos resultados se verifican en la tabla 16.

Tabla 16: Características del Compost Fermentado.

CARACTERÍSTICAS DEL COMPOST FERMENTADO	
Peso Seco Compost Fermentado	17,92 kg
Peso Agua Compost Fermentado	18,03 kg
Peso Total Compost Fermentado	35,95 kg

En consecuencia, la producción de compost fermentado supone el 35,85 % de la entrada total de RSU a la planta.

#### 4.3.6.4. Parámetros de Diseño del Área de Compostaje.

Para el dimensionamiento del área de compostaje y el cálculo de la producción mensual de RSU, se emplearon los siguientes datos:

- **Producción de RSU = 1,15 kg/hab/día**
- **Población = 350.000 habitantes**
- **Producción mensual de RSU =  $30 * 350.000 * 1,15 = 12.075.000$  kg/mes (12.075 t/mes)**

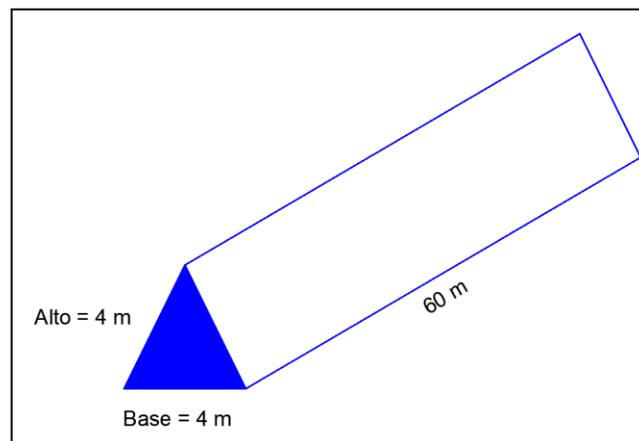
De esta producción total de RSU, sabemos que la producción de Compost Verde (Compost Bruto) es del 53,64% y el 35,95% del Compost Fermentado. Con esta información se determina la cantidad mensual producida del compost verde, compost fermentado y media (producto de la suma de ambos compost entre 2), como se observa en la tabla 17.

Tabla 17: Producción mensual del Compost.

PRODUCCIÓN MENSUAL COMPOST		
<b>Compost Bruto</b>	$12075 * 0,5364 = 6477,27$	t/mes
<b>Compost Fermentado</b>	$12075 * 0,3595 = 4340,96$	t/mes
<b>Compost Media</b>	$(6477,27 + 4340,96) * 0,5 = 5409,12$	t/mes

Para llevar a cabo el diseño del área de compostaje, se establecen los siguientes parámetros:

- Densidad del compost: 0,5 t/mes
- Ancho de la hilera: 4 m
- Alto de la hilera: 4 m
- Sección de hilera triangular
- Separación entre hileras: 2 m
- Longitud de las hileras: 60 m



Habiendo calculado el volumen medio de compost producido, se calcula la superficie necesaria y el volumen mensual del compost, en el caso de este último, se determinó aplicando el cociente entre dicho volumen y la densidad de compost.

**Cálculo tipo:**

Volumen de compost mensual = 5409,12 t/mes  $\rightarrow 5409,12/0,5 = 10848,45 \text{ m}^3/\text{mes}$

En volumen almacenado en cada hilera y el número de hileras necesario al mes se calcula:

Volumen almacenado en cada hilera =  $0,5 \times 4 \times 4 \times 60 = 480 \text{ m}^3/\text{hilera}$



#### 4.3.6.5. Cálculo de la producción diaria del Compost.

Luego de haber desarrollado la fase de fermentación, se realiza de forma secuencial la fase de maduración. En esta fase se produce el compost maduro implicando que, en el proceso se produzcan las siguientes pérdidas de masa:

- **Un 10% de pérdidas de agua por evaporación en el compost fermentado**
- **Un 10% de ST de la fracción biodegradable en el compost fermentado**

Estos porcentajes en pérdidas de agua por evaporación y por biodegradación de los sólidos hace que el producto final (compost maduro) de este proceso, tenga una eficiencia de un 90%. Una vez finaliza el proceso de maduración, los sólidos No Biodegradables que aún permanecen en este compost, se deben eliminar en el proceso de Afino.

##### 4.3.6.5.1. Cálculo del Compost Maduro.

Para proceder con el cálculo del compost maduro se debe tomar en cuenta los datos relativo a las características del compost fermentado (tabla 16), y al peso seco de la fracción No Biodegradable (tabla 13). Los resultados derivados de esos procesos anteriores fueron los siguientes:

- **Peso seco compost fermentado = 17,92 kg**
- **Peso agua compost fermentado = 18,03 kg**
- **Peso seco fracción No Biodegradable = 4,70 kg**

Luego de conocer las características del compost fermentado, se procede a calcular la producción del compost maduro y afino. Para determinar el peso seco del compost maduro tras afino, se debe calcular la diferencia entre el peso seco del compost fermentado y el peso seco de la fracción orgánica No Biodegradable, por el producto de la eficiencia que este caso es del 90%.

En el caso específico del peso en agua del compost maduro y afino, se ha de obtener mediante el producto del peso en agua del compost fermentado y la eficiencia. La adición del peso seco y peso en agua del compost maduro y afino nos dará como resultado el peso total del compost maduro afinado, en la tabla 19, se constatan dichos resultados.

Tabla 19: Cálculo del Compost Maduro y Afino.

<b>Peso seco compost maduro tras afino</b>	$(17,92 - 4,70) * 0,90$	<b>11,90 kg</b>
<b>Peso agua compost maduro y afino</b>	$18,03 * 0,90$	<b>16,23 kg</b>
<b>Peso total compost maduro afinado</b>	$11,90 + 16,23$	<b>28,14 kg</b>

Esto significa que, por cada 100 kg de RSU se obtiene 28,14 kg de compost. Entonces, la producción diaria de compost maduro y afinado se calcula del modo siguiente:

**Producción de compost diaria = 402,50 t RSU/día \* 0,2814 t compost/t RSU = 113,26 t compost/día**

Y considerando una densidad 0,5 t/m<sup>3</sup>, **la producción diaria de compost = 226,52 m<sup>3</sup>/día.**

4.3.7. Resultados del Escenario I con las propuestas de mejora de cada Plan Zonal y con la implementación del Sistema de Valorización del Compost mediante el diseño de las diferentes Plantas de compostaje.

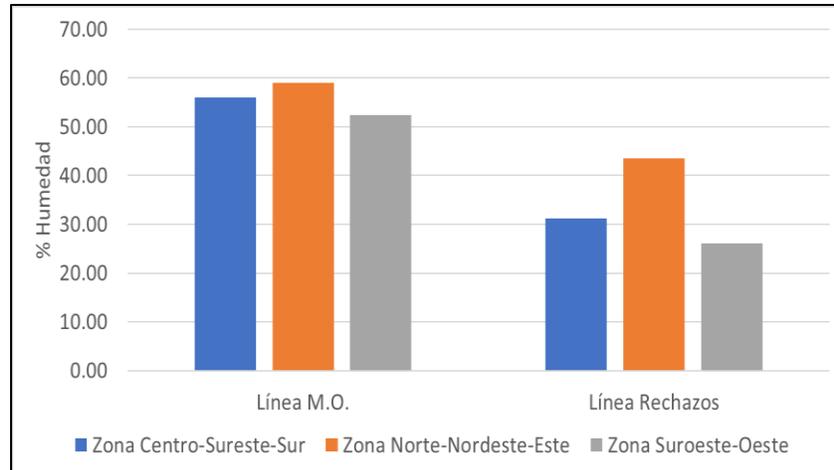
En los casos restantes como son: “Propuesta de mejora del Plan Zonal de la zona Oeste-Suroeste y la zona Norte-Nordeste-Este”, y debido a que se aplica la misma metodología de diseño de la planta de compostaje del caso anterior (utilizado como modelo para el cálculo). Se introdujeron los datos de partida con la caracterización y composición de los RSU peculiares de cada zona, los valores de humedad de los diferentes residuos recogidos estimados previamente, así como también, el número de habitantes correspondiente en cada una de ellas, anteriormente establecido gracias a la información que ofrece el mapa de usos preferentes del suelo de la ciudad de Santiago de los Caballeros, respecto a la consolidación territorial. Y producto, además, de las actividades económicas que en ellas se desarrollan. Los resultados de estos cálculos se pueden ver en la tabla 20.

Tabla 20: Resumen de resultados del diseño de las plantas de compostaje en cada Plan Zonal (Escenario I).

	Zona Centro-Sureste-Sur	Zona Norte-Nordeste-Este	Zona Suroeste-Oeste
% Humedad Línea M.O.	56,01%	59,05%	52,33%
% Humedad Línea Rechazos	31,15%	43,48%	26,07%
Rechazo Primario	138,06 t/día	100,74 t/día	71,19 t/día
Relación C/N	26,06	27,79	28,70
Compost Bruto	53,64%	62,10%	50,51%
Compost Fermentable	35,95%	40,59%	34,40%
Compost Maduro tras Afino	28,14%	34,18%	25,89%
Producción diaria de Compost	113,26 t/día	74,68 t/día	74,44 t/día
Producción diaria de Volumen de Compost	226,52 m <sup>3</sup> /día	149,35 m <sup>3</sup> /día	148,88 m <sup>3</sup> /día
Número de Hileras	92	52	56
Superficie total en Eras de Compostaje	33600 m <sup>2</sup>	22400 m <sup>2</sup>	24080 m <sup>2</sup>

En los resultados que se muestran en la gráfica 7, se puede verificar que en el Plan Zonal que se extiende por la zona Norte-Nordeste-Este, tanto en la línea de materia orgánica como en la línea de rechazos hay un porcentaje de humedad más alto.

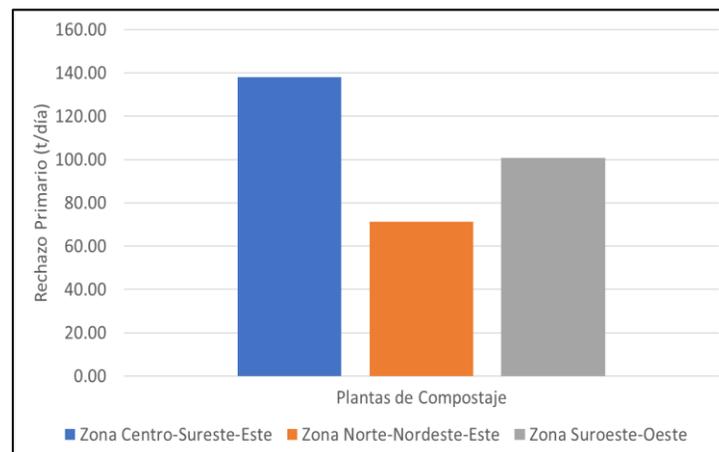
Por cada 100 kg de RSU que entran a la planta de compostaje en la línea de M.O. Se tiene un 56,01% de humedad de la zona Centro-Sureste-Sur, un 59,05 en la zona Norte-Nordeste-Este y un 52,33% en la zona Suroeste-Oeste, siendo la segunda de ellas la más alta en porcentaje. Esto se debe a que, en esta planta, se está procesando una mayor cantidad de residuos orgánicos en comparación con las demás.



Gráfica 7: Contenido de humedad de los residuos sólidos urbanos previo al proceso de compost.

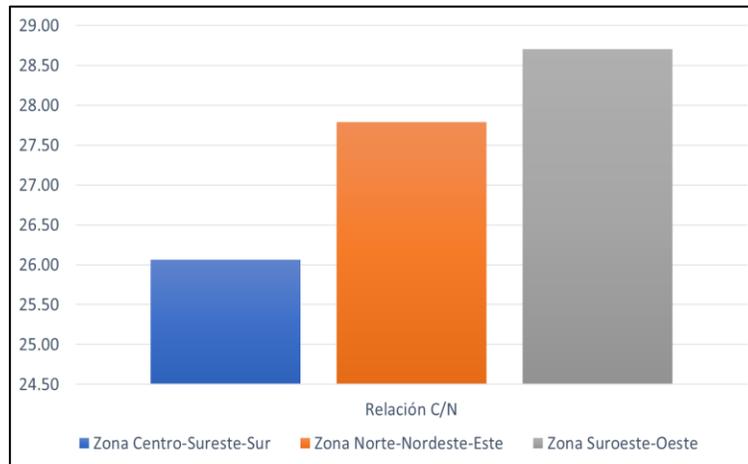
En la gráfica 8, se puede observar según los resultados que, la zona con mayor volumen de rechazos primario es la que corresponde al Plan Zonal que se extiende por la zona Centro-Sureste-Sur de la ciudad. Generando un total de 138,06 t/día lo que representa un 44,52 % frente al 32,49 % del Plan Zonal que se extiende por la zona Norte-Nordeste-Este y un 22,97% del Plan Zonal correspondiente a la zona Suroeste-Oeste.

Es decir que, los RSU por tener en su composición un mayor porcentaje en peso de materia orgánica, pueden generar más compost y tener la posibilidad de generar una menor cantidad de rechazo. Sin embargo, en la zona Suroeste-Oeste se puede observar que, al tener una menor proporción de residuos sólidos orgánicos en comparación con las demás zonas, genera ligeramente un mayor porcentaje de rechazos primarios o volumen en este caso de rechazo primario.



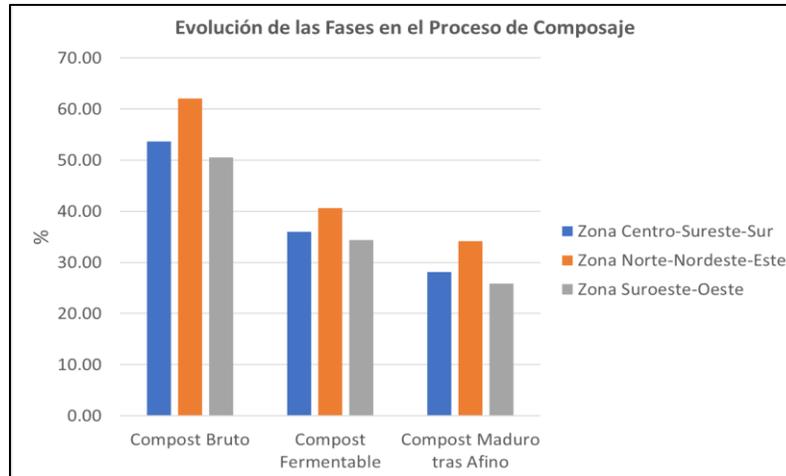
Gráfica 8: Cantidad de rechazo primario generado en plantas de compostaje.

Estos resultados indican que aquellas zonas donde se produzcan una mayor cantidad de RSU que químicamente tenga mayor proporción de C y N (madera, restos de jardinería, papel-cartón) tenderán a arrojar valores de la relación C/N más altos o ligeramente altos. Y en aquellas zonas donde se generen una mayor cantidad de RSU que, en su composición tenga proporcionalmente más restos de comida y restos inorgánicos (vidrios, metales, plásticos, entre otros), tienden a tener valores de C/N más bajos. Ver gráfica 9.



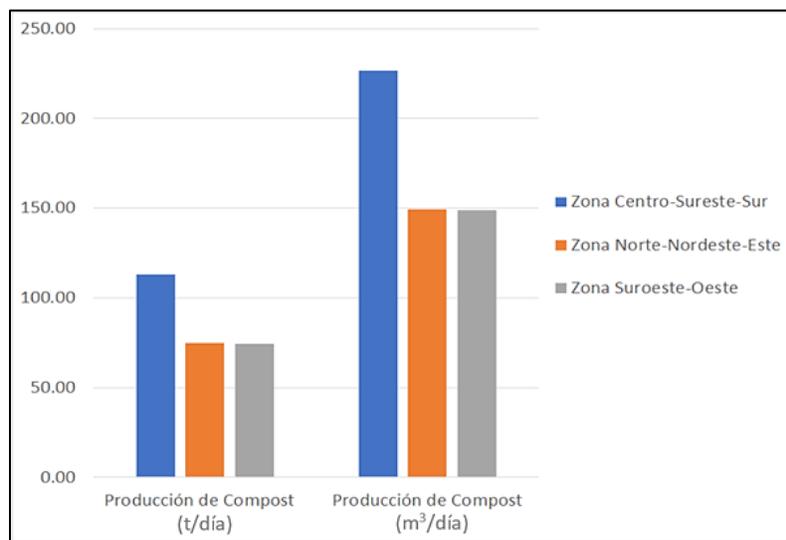
*Gráfica 9: Resultados de la relación C/N antes de iniciar el proceso de compostaje.*

Producto de las actividades económicas de cada zona, se presentan proporcionalmente una mayor o menor cantidad de compost producido en las diferentes fases, observándose que se mantiene como una constante. Y que en el caso del Plan Zonal que, se extiende por la zona Norte-Nordeste-Este hay una mayor producción de compostaje, a causa de tales circunstancias. Sin embargo, se observa que en las zonas restantes donde su principal actividad económica es comercial-industrial (caso zona Centro, Sureste, Sur) e industrial (caso zona Suroeste-Oeste) se generan valores de producción de compost en porcentajes similares que, en comparación con la primera estos son ligeramente más bajos. En la gráfica 10, se pueden observar los resultados.



Gráfica 10: Resultados de evolución en las diferentes fases de un proceso de compostaje.

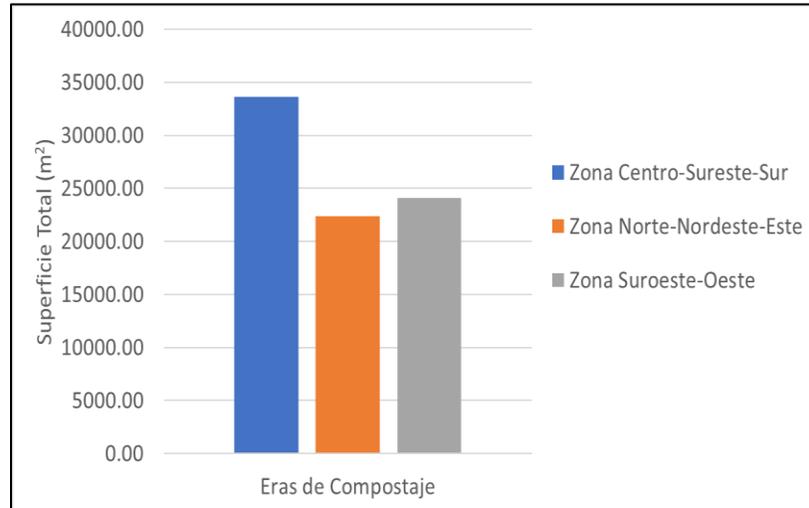
Esto indica que, independientemente de que zona procese mayor cantidad de RSU biodegradables en la línea de M.O., no significa que produzca mayor cantidad diaria del compost (caso de la zona Norte, Nordeste y Este). Debido a que, esto depende de otro factor como la densidad poblacional, a mayor cantidad de población es más probable obtener una mayor producción de compost (caso de la zona Centro, Sureste y Sur), siendo la más favorable en estos casos (ver gráfica 11).



Gráfica 11: Producción diaria de Compost.

De igual manera que en los dos casos anteriores pasa con este caso. A mayor densidad poblacional, mayor superficie ocupada por el compost (ver gráfica 12), con la salvedad de que en este caso y en los dos casos anteriores se presenta una ligera diferencia en cuanto a resultados cuantitativos. En este caso en particular, la zona con menor concentración poblacional (zona Norte-Nordeste-Este) en comparación con

la zona Suroeste-Oeste, hace que pueda procesar o manejar una mayor cantidad de materia orgánica, obteniéndose por ello resultados ligeramente similares en superficie de 22.400 m<sup>2</sup> y 24.084 m<sup>2</sup> respectivamente.



Gráfica 12: Cantidad de superficie que ocupan las Eras de compostaje.

#### 4.3.8 Resultados Escenario II

##### 4.3.8.1. Datos de partida.

En el caso hipotético de que se estableciera un ligero aumento en el porcentaje de este escenario, siendo un poco optimista respecto de las componentes de restos de comida, residuos de jardín y madera. Se asume que en las demás variables (restantes se mantendrá la misma cantidad) procesando el mismo porcentaje planteado en el caso anterior (Escenario I). En la tabla 21, se pueden ver estos porcentajes:

Tabla 21: Porcentaje de residuos por cada línea de tratamiento.

COMPONENTES	Línea Materia Orgánica	Línea Rechazos
Restos de comida	90%	10%
Papel-Cartón	40%	60%
Plástico	25%	75%
Vidrio	15%	85%
Textiles	35%	65%
Cuero	30%	70%
Residuos de Jardín	85%	15%
Madera	75%	25%
Metales	10%	90%
Otros	50%	50%

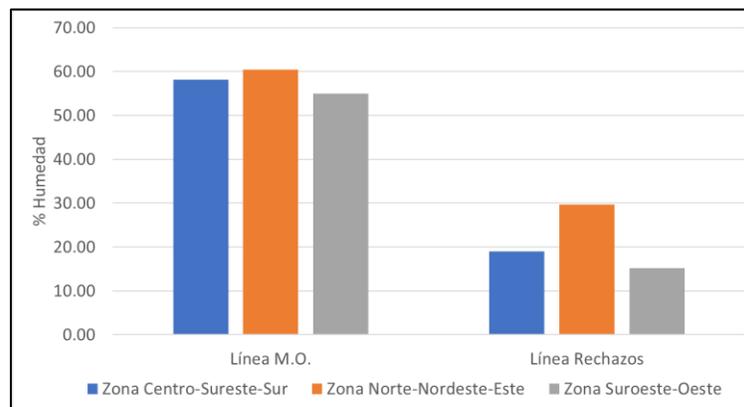
4.3.8.2. Resultados Escenario II estableciendo las propuestas de mejora en cada Plan Zonal con la implementación del Sistema de Valorización del Compost mediante el diseño de las diferentes Plantas de compostaje.

En la tabla 22, se muestra el resumen de los principales resultados de la planta compostaje propuesto en el Escenario II, se evidencia que, aplicando este ligero aumento en las componentes antes mencionadas, debido a que se aplica la misma metodología de diseño en las plantas de compostaje del Escenario I. Este caso se introdujo de igual forma, los datos de partida con la caracterización y composición de los RSU peculiares de cada zona, los valores de humedad de los diferentes residuos recogidos estimados previamente, así como también, el número de habitantes correspondiente en cada una de ellas. Y producto, además, de las actividades económicas que en ellas se desarrollan.

Tabla 22: Resumen resultados del diseño de las plantas de compostaje en cada Plan Zonal (Escenario II).

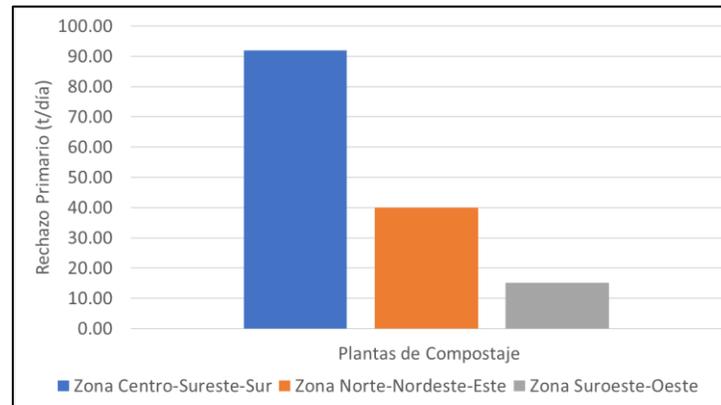
	Zona Centro-Sureste-Sur	Zona Norte-Nordeste-Este	Zona Suroeste-Oeste
% Humedad Línea M.O.	58,18%	60,41%	54,95%
% Humedad Línea Rechazos	18,97%	29,65%	15,20%
Rechazo Primario	91,95 t/día	39,94 t/día	71,42 t/día
Relación C/N	25,73	26,80	26,68
Compost Bruto	65,09%	76,40%	60,71%
Compost Fermentable	43,18%	49,65%	40,85%
Compost Maduro tras Afino	34,64%	42,33%	31,69%
Producción diaria de Compost	139,43 t/día	92,50 t/día	91,12 t/día
Producción diaria de Volumen de Compost	278,87 m <sup>3</sup> /día	184,99 m <sup>3</sup> /día	182,24 m <sup>3</sup> /día
Número de Hileras	112	60	64
Superficie total en Eras de Compostaje	42240 m <sup>2</sup>	25760 m <sup>2</sup>	27440 m <sup>2</sup>

Los resultados de estos cálculos se pueden observar en las gráficas subsiguientes. En la gráfica 13, referente al contenido de humedad de los RSU presente en la línea de M.O. y línea de rechazos, dando como resultado que, por cada 100 kg de RSU que entran a la planta. La que está ubicada en el Plan Zonal que se extiende por la zona Norte-Nordeste-Este, genera un mayor porcentaje con un 60,41% y un 29,65% en cada línea respectivamente.



Gráfica 13: Contenido de humedad de residuos sólidos urbanos previo al proceso de compost (Escenario II).

En cuanto al volumen de rechazo primario se observa que, en el Plan Zonal que se extiende por la zona Centro-Sureste-Sur se genera un 91,95 t/día, lo que representa un 45,23 %, siendo este el mayor de todos, ya que las demás zonas Norte-Nordeste-Este y Suroeste-Oeste tienen porcentajes de 19,64% y de 35,13% respectivamente. Siendo la Suroeste-Oeste la que genera un menor volumen de rechazo (ver gráfica 14). Puesto que, por cada 100 kg de RSU que entra a la planta tiene un mayor porcentaje en subproductos recuperables.

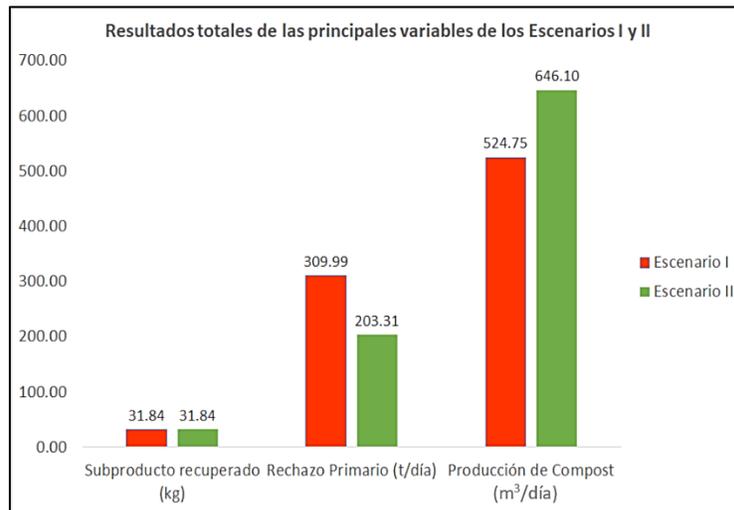


Gráfica 14: Cantidad de rechazo primario generado en plantas de compostaje (Escenario II).

Los resultados gráficos de la relación C/N y de la evolución en las distintas fases de un proceso de compostaje del Escenario II, obtenido un mayor cuantitativamente aquella que está ubicada en el Plan Zonal que se extiende por la zona Norte- Nordeste-Este (ver gráficas 15 y 16 del **Anexo II**).

Asimismo, se observa en las gráficas 17 y 18 del **Anexo II**, la zona con mayor producción de compost con generación de 139,33 t/día y 278,87 m<sup>3</sup>/día y la que presenta una mayor cantidad de superficie con un total de 42.240 m<sup>2</sup> es aquella que está ubicada en el Plan Zonal que se extiende por la zona Centro-Sureste-Sur. Este resultado se presenta por el paralelismo existente entre los dos escenarios, ya que coinciden con ciertas variables, las cuales han sido anteriormente explicadas de forma detallada en el Escenario I.

#### 4.3.8.3. Comparación de resultados entre los Escenarios I y II.



Gráfica 19: Resultados comparativos entre las variables más relevantes del diseño de una planta de compostaje en los escenarios I y II.

Luego de haber llevado a cabo los cálculos para el diseño de la planta de compostaje entre los distintos escenarios, según resultados, el Escenario II arroja mejores resultados, ya que en proporción genera menor volumen de rechazos y una mayor producción de compostaje. En cuanto a la producción de compost, el Escenario II tiene un 55,18% frente a un 44,82% del Escenario I, es decir que, ajustando los valores de porcentajes a ciertos componentes tanto en la línea de entrada de la línea de M.O. como en la línea de rechazos hace que incremente la producción en un 10,36%. En cuanto al rechazo primario el Escenario I representa un 60,39% frente a un 39,61% del Escenario II. En el caso de los subproductos se ha mantenido constante, puesto que al establecer los nuevos porcentajes a incorporar en ambas líneas se opta por mantenerlo invariable, dando como resultado en ambos escenarios la misma cantidad de subproductos.

#### 4.3.8.4. Reciclaje.

En el caso de que se considere, la planta de reciclaje que actualmente opera en la ciudad, los subproductos recuperados en las distintas plantas de compostaje serían gestionados en esta, para su posterior reciclaje, generando así materia prima para la industrialización. A continuación, se detalla la cantidad total de RSU gestionado por dicha instalación.

Actualmente existe una planta de reciclaje emplazada en el área de influencia próxima al vertedero; y según el informe anual de solo pesaje manejado por la empresa Cilpen Global, en el año 2018 la empresa

gestionó el 40% de los RSU totales de generados en la ciudad y en municipios aledaños mencionados anteriormente en otro capítulo, es decir que, en el caso que se considere la función que está llevando a cabo dicha planta. En caso de que se tomase en cuenta dicha premisa, solo el 60% restante de los RSU es lo que realmente se estaría gestionando en las plantas de compostaje que se incorporarían al sistema de GIRSU, siendo gestionadas por estas las 660 t/día, las cuales serían distribuidas en las tres plantas propuestas.

#### 4.3.9. Análisis y propuestas de mejoras al vertedero de Rafey.

##### **Consideraciones criterios de selección sitio de disposición final**

El diseño de un vertedero controlado debe responder de forma efectiva a las leyes vigentes, por los cuales son regulados. En este caso se considerará una serie de parámetros tales como: la capacidad requerida para tales demandas (según generación estimada), determinación de la vida útil con una proyección de un mínimo de 10 años, así como también el tipo de residuos a disponer, es decir, composición y características peculiares producto de las actividades económicas en cada Plan Zonal (previamente desarrollado en el capítulo anterior), las condiciones topográficas e hidrogeológicas de la zona seleccionada.

Se considerará residuos no peligrosos con y sin biodegradabilidad, y debido a la gran extensión a explotar se requerirá de un manejo técnico mecanizado. A través del estudio geotécnico de suelo en los terrenos del actual vertedero de Rafey y su área de influencia realizado por la empresa Medina Ortiz Ingenieros Asociados, S.A.; contratada por el departamento de GIRS del Ayuntamiento de Santiago de los Caballeros, según resultados señala que el terreno explorado es muy accidentado formado por cerros abruptos y hoyas muy cerradas, las cuales facilitan la ubicación de celdas. Todo el terreno comprendido en dicho complejo se encuentra elevado unos 40 a 50 metros con respecto a la cañada existente y, el canal Ulises Francisco Espailat. La parte más baja de la hoya se encuentra sobre los 25 metros del arroyo Salado que es la zona donde se encuentra actualmente el vertedero de Rafey.

En el presente análisis se determinará la vida útil del área disponible en el Complejo de tratamiento del Ecoparque de Rafey 2008-2027, evaluando solo dos escenarios:

1. Vida útil sin la implementación del tratamiento (ver en Anexo I)
2. Vida útil con la implementación del tratamiento con el Escenario I

4.3.9.1. *Determinación de la vida útil del relleno sanitario con la aplicación del sistema de tratamiento del escenario I.*

Mediante los datos de caracterización de cada Plan Zonal anteriormente establecido se pretende realizar el diseño de un vertedero controlado que, de servicio a una población de 790.000 habitantes, la cual está distribuida en toda el área de acción (ver ilustración 14), y con generación de residuos de 1,15 kg/hab/día.

- **Generación de residuos:** 1,15 kg/hab/día
- **Población:** 790.000 habitantes

4.3.9.2. *Cálculo del Volumen necesario de terreno en el área de emplazamiento del Complejo de Rafey.*



*Ilustración 20: Área de estudio.*

El terreno donde se ubica esta zona (ver ilustración 20), se encuentra en una cuenca rodeada de cerros, con carretera de acceso en la parte frontal. La superficie disponible en este lugar es de 508,53 Ha aproximadamente. Para la ejecución del proyecto, se toma como datos fundamentales los que se presentan a continuación:

**Superficie disponible en la zona:** 319.763,66 m<sup>2</sup>

**Superficie a utilizar en la zona:** 300.000 m<sup>2</sup>

**Estratos del subsuelo:** según sondeos el tipo de suelo explorado es fino y prácticamente impermeable constituido de arcilla en formación tosca muy plástica y consolidada, presentando estrato de unos 20 m de espesor. El nivel freático en esta zona se encuentra a más de 30 m de profundidad.

**Coefficiente de permeabilidad:** los sondeos en este estrato de suelo analizado dieron como resultado una conductividad equivalente a  $2 \times 10^{-7}$  m/s.

4.3.9.2.1. Cálculo del volumen de la capa de impermeabilización del fondo del vaso del área bajo estudio.

**Impermeabilización del fondo del vaso está constituido por:** 20 m de estrato natural + 0,8 m de arcilla compactadas + lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor y geotextiles de protección, y de 0,5 m de material drenante (grava) para recogida de lixiviados.

**Capa de sellado estará constituida de:** una capa de drenaje de gases de 0,30 m de espesor, una capa de sellado de arcilla de 0,40 m de espesor, otra de drenaje pluviales de 0,40 m espesor y una final de tierra vegetal de 0,8 m de espesor aproximadamente.

4.3.9.2.2. Cálculo de la producción de residuos.

**P anual = Población \* Generación de residuos**

**P anual** = 790.000 hab \* 1,15 kg/hab/día = 331.603 t/año

El diseño del relleno sanitario en el nuevo emplazamiento se determina para una vida útil de 10 años, dando como resultado:

**Producción a 10 años** = 3.316.025 t/año

4.3.9.2.3. Cálculo del volumen por tipo de residuos.

El porcentaje de material de recubrimiento obedece al tipo de residuo a deposita. Su densidad está en función de la densidad de estos. Para el cálculo se consideran los valores establecidos por Tchobanoglous como se puede observar en la tabla 23:

Tabla 23: Porcentaje del material de recubrimiento en función del tipo de residuo.

Tipo de residuo	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	% Material de recubrimiento
Baja densidad	0,6	5%
Alta densidad (balas)	0,9	3%
Alta densidad (compactación)	1,2	0%

Por tanto, el volumen a ocupar por cada tipo de residuo resulta del cociente entre la producción de RSU futura (10 años) y el producto entre la densidad y el porcentaje de material de recubrimiento, como se muestra en la tabla 24:

Tabla 24: Volumen de RSU según su tipo.

Volumen de RSU (baja densidad)	$3.316.025 / (0,6 * (1-0,05))$	<b>5.817.587,72</b>	m <sup>3</sup>
Volumen de RSU (balas)	$3.316.025 / (0,9 * (1-0,03))$	<b>3.798.424,97</b>	m <sup>3</sup>
Volumen de RSU (alta densidad)	$3.316.025 / 1,2$	<b>2.763.354,17</b>	m <sup>3</sup>

#### 4.3.9.2.4. Cálculo del volumen total de capas de impermeabilización y sellado.

El volumen total de las capas se calcula a partir de su espesor y de la superficie del terreno analizado.

**Superficie de la zona bajo análisis:** 300.000 m<sup>2</sup>

**Capa de impermeabilización:** (0,8 de arcilla + 0,5 gravas) = 1,3 m de espesor.

**Capa de sellado superficial:** (0,3 de drenaje de gases + 0,4 de arcilla + 0,4 drenaje pluviales + 0,8 capa vegetal) = 1,9 m de espesor.

Habiendo establecido dichos valores se procede a calcular el volumen, el cual está en función de la suma de espesores que conlleva cada capa, y de la superficie. En la tabla 25, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 25: Volumen total de capas.

Volumen capa de impermeabilización	$300.000 * 1,3$	390.000	m <sup>3</sup>
Volumen capa de sellado	$300.000 * 1,9$	570.000	m <sup>3</sup>
Volumen total	<b>(390.000 + 570.000)</b>	<b>960.000</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

#### 4.3.9.2.5. Cálculo del volumen real ocupado por tipo de residuos.

La suma del volumen total de capas más el volumen por cada tipo de residuos da como resultado el volumen necesario por cada tipo de residuos. Los cálculos de dicho volumen se pueden apreciar en la tabla 26, como sigue:

Tabla 26: Volumen total necesario por cada tipo de residuo.

<b>Volumen total (baja densidad)</b>	960.000 + 5.817.587,72	6.777.587,72	m <sup>3</sup>
<b>Volumen total (balas)</b>	960.000 + 3.798.424,97	4.758.424,97	m <sup>3</sup>
<b>Volumen total (alta densidad)</b>	960.000 + 2.763.354,17	3.723.354,17	m <sup>3</sup>

#### 4.3.9.3. Cálculo de la vida útil del área de estudio implementando el sistema de tratamiento del escenario I.

Previamente establecido el volumen necesario para el depósito de los distintos tipos de residuos, se procede luego a estimar la vida útil del relleno sanitario en cuestión. En este caso, se determina la vida útil suponiendo que se cuenta con un volumen de 6.000.000 m<sup>3</sup>; y en base al sistema de tratamiento del escenario I y con la aplicación de los porcentajes de residuos, se estima que, se han de recuperar tomando en cuenta recogida selectiva, suponiendo de que hay instalado en dicha planta un sistema de recuperación de materiales, siendo para este caso los siguientes valores:

- Un 50% papel-cartón.
- Un 50% plásticos.
- Un 50% vidrio.
- Un 30% metales.

A continuación, se presenta la cantidad de residuos a gestionar luego de haber establecido el sistema de tratamiento entre la planta de compostaje y la recogida selectiva. Para esto se trabaja con los pesos de la línea de rechazos de las plantas de compostaje, establecidas en las distintas zonas de la ciudad anteriormente evaluadas, donde de igual forma se establecen los porcentajes en la instalación donde se recuperarán dichos materiales. En las tablas 27, 28 y 29 se muestran los resultados de la cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en cada Plan Zonal, como sigue:

Tabla 27: Cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en el Plan Zonal de la zona Centro-Sureste-Sur.

COMPONENTES	Peso (Kg)	% Recuperación	Peso (Kg)	% Humedad
Restos de comida	16,09		16,09	70
Papel-Cartón	7,34	50%	3,67	20
Plástico	7,28	50%	3,64	5
Vidrio	8,13	50%	4,07	0
Textiles	0,98		0,98	10
Cuero	1,16		1,16	10
Residuos de Jardín	1,04		1,04	60
Madera	1,05		1,05	20
Metales	2,30	30%	1,61	0
Otros	0,99		0,99	30
<b>TOTAL</b>			<b>34,30</b>	<b>Línea de rechazo primario + afino</b>
			<b>12,07</b>	<b>Llega menos al vertedero</b>

Este resultado indica que por cada 100 kg de RSU producidos en la zona Centro-Sureste-Sur, sólo llega al vertedero 34,30 kg producto de la línea de rechazos y el afino de la planta de compostaje. Esta reducción se presenta luego de que, se incorpore el sistema de tratamiento en dicha instalación, y con la implementación de la instalación de recuperación de materiales en ésta, no se depositará al vertedero un 12,07 kg RSU representando esto un 26,03%.

Tabla 28: Cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en el Plan Zonal de la zona Norte-Nordeste-Este.

COMPONENTES	Peso (Kg)	% Recuperación	Peso (Kg)	% Humedad
Restos de comida	18,90		18,90	70
Papel-Cartón	3,60	50%	1,80	20
Plástico	2,25	50%	1,13	5
Vidrio	4,25	50%	2,13	0
Textiles	0,65		0,65	10
Cuero	0,70		0,70	10
Residuos de Jardín	2,00		2,00	60
Madera	3,15		3,15	20
Metales	0,90	30%	0,63	0
Otros	1,50		1,50	30
<b>TOTAL</b>			<b>32,59</b>	<b>Línea de rechazo primario + afino</b>
			<b>5,32</b>	<b>Llega menos al vertedero</b>

Por cada 100 kg de RSU producidos en la zona Norte-Nordeste-Este, sólo llega al vertedero 32,59 kg producto de la línea de rechazos y el afino de la planta de compostaje. Esta reducción se presenta luego de que, se incorpore el sistema de tratamiento en dicha instalación, y con la implementación de la instalación de recuperación de materiales en ésta, no se depositará al relleno sanitario un 5,32 kg RSU, lo que representa un 14,03% llegaría menos al vertedero.

*Tabla 29: Cantidad de RSU estableciendo el sistema de tratamiento en el Plan Zonal de la zona Suroeste-Oeste.*

COMPONENTES	Peso (Kg)	% Recuperación	Peso (Kg)	% Humedad
Restos de comida	14,40		14,40	70
Papel-Cartón	8,40	50%	4,20	20
Plástico	9,26	50%	4,63	5
Vidrio	9,35	50%	4,68	0
Textiles	0,98		0,98	10
Cuero	1,16		1,16	10
Residuos de Jardín	0,75		0,75	60
Madera	1,05		1,05	20
Metales	3,15	30%	2,20	0
Otros	1,00		1,00	30
<b>TOTAL</b>			<b>35,05</b>	<b>Línea de rechazo primario + afino</b>
			<b>14,45</b>	<b>Llega menos al vertedero</b>

Por cada 100 kg de RSU producidos en la zona Norte-Nordeste-Este, solo llega al vertedero 35,05 kg producto de la línea de rechazos y el afino de la planta de compostaje. Esta reducción se presenta luego de que, se incorpore el sistema de tratamiento en dicha instalación, y con la implementación de la instalación de recuperación de materiales en ésta, no se depositará al relleno sanitario un 14,45 kg RSU, lo que representa un 29,19%, llegaría menos al vertedero.

La producción anual a vertedero se determina con el producto de la producción anual de residuos de cada Plan Zonal y el porcentaje de estos que ingresa a vertedero. Siendo en este caso, la zona con mayor concentración poblacional (Centro-Sureste-Sur) la que más produce. Estos resultados se pueden apreciar en la tabla 30, como sigue:

Tabla 30: Producción anual a vertedero por zonas.

<b>Zona Centro-Sureste-Sur</b>	$(350.000 * 1,15) * 0,3430$	<b>50.390,99</b>	t/año
<b>Zona Norte-Nordeste-Este</b>	$(190.000 * 1,15) * 0,3259$	<b>25.991,34</b>	t/año
<b>Zona Suroeste-Oeste</b>	$(250.000 * 1,15) * 0,3505$	<b>36.780,59</b>	t/año

Habiendo establecido la producción anual que ingresa a vertedero, se procedió a determinar el volumen a ocupar por cada tipo de residuo, tomando como referencia los resultados de la tabla anterior.

En el caso de la zona Centro-Sureste-Sur, el volumen se determina mediante el cociente de la producción anual a vertedero de dicha zona, entre el producto de la densidad y porcentaje de recubrimiento, como se puede observar en la tabla 31:

Tabla 31: Volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en la zona Centro-Sureste-Sur.

<b>Volumen total (baja densidad)</b>	$50.390,99 / (0,6 * (1-0,05))$	88.405,25	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (balas)</b>	$50.390,99 / (0,9 * (1-0,03))$	57.721,64	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (alta densidad)</b>	$50.390,99 / 1,2$	41.992,49	m <sup>3</sup> /año

De igual forma que en el caso anterior, se procedió a determinar el volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en las demás zonas, dando como resultado lo que se muestra en las tablas 32 y 33.

Tabla 32: Volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en la zona Norte-Nordeste-Este.

<b>Volumen total (baja densidad)</b>	$25.991,34 / (0,6 * (1-0,05))$	45.598,84	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (balas)</b>	$25.991,34 / (0,9 * (1-0,03))$	29.772,44	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (alta densidad)</b>	$25.991,34 / 1,2$	21.659,45	m <sup>3</sup> /año

Tabla 33: Volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en la zona Suroeste-Oeste.

<b>Volumen total (baja densidad)</b>	$36.780,59 / (0,6 * (1-0,05))$	64.527,35	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (balas)</b>	$36.780,59 / (0,9 * (1-0,03))$	42.131,26	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (alta densidad)</b>	$36.780,59 / 1,2$	30.650,49	m <sup>3</sup> /año

Previamente determinados los cálculos anteriores, se procede a calcular el volumen a ocupar por los residuos, pudiendo con ello establecer la vida útil del nuevo relleno sanitario, el cual se estima será emplazado en el área de influencia del actual vertedero (Rafey) de la ciudad de Santiago de los Caballeros. Determinado la vida útil del relleno sanitario en base a los siguientes procedimientos que se presentan a continuación:

#### Cálculo tipo

Volumen útil = Volumen disponible – Volumen total capas

$$\text{Volumen útil} = 6.000.000 - 960.000 = 5.040.000 \text{ m}^3$$

Como la ciudad está dividida en tres Planes Zonales, cuyas características y composición de RSU son distintas, se calcula el volumen a ocupar por cada tipo de residuos en las distintas zonas, y luego se procede a realizar la sumatoria de aquellos de los tipos de residuos con fines comunes; dando como resultado lo que se muestra en la tabla 34:

*Tabla 34: Volumen total a ocupar en el relleno sanitario bajo estudio por tipos de residuos generados en los diferentes Planes Zonales.*

<b>Volumen total (baja densidad)</b>	(88.405,25 + 45.598,84 + 64.527,35)	<b>198.531,44</b>	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (balas)</b>	(57.721,64 + 29.772,44 + 42.131,26)	<b>129.625,34</b>	m <sup>3</sup> /año
<b>Volumen total (alta densidad)</b>	(41.992,49 + 21.659,45 + 30.650,49)	<b>94.302,43</b>	m <sup>3</sup> /año

La vida útil para cada tipo de residuos se determina mediante el cociente del volumen útil y la suma del volumen para producción anual a vertedero por tipo de residuos en cada uno de los Planes Zonales bajo estudio, los resultados se pueden apreciar en la tabla 35, como sigue:

*Tabla 35: Cálculo de la vida útil por cada tipo de residuo.*

<b>Volumen útil (baja densidad)</b>	25	años
<b>Volumen útil (balas)</b>	39	años
<b>Volumen útil (alta densidad)</b>	53	años

#### 4.3.10. Elementos fundamentales del relleno sanitario.

Dentro de los elementos básicos presentes en un vertedero o relleno sanitario están tanto la formación de lixiviados como la de biogás. Estos dos elementos son considerados como los vectores más relevantes

a generarse en el sitio de disposición final, y es porque se derivan del producto de las transformaciones fisicoquímicas de los RSU que se encuentran allí.

#### Consideraciones

- Cálculo de la producción de biogás durante un año.
- No se considerará el cálculo de la producción de lixiviados (falta de datos).
- Se determinará el grado de humedad de estos residuos a incorporar al vertedero, llevando a cabo o no el sistema de tratamiento.

En este caso, se utilizará como modelo el sistema de tratamiento implementado en el Escenario I para determinar la cantidad de biogás a producir durante un año, así como también, el grado de humedad de los RSU a incorporar al relleno sanitario, como se ha establecido anteriormente.

#### *4.3.10.1. Cálculo del contenido de humedad de los RSU a incorporar al relleno sanitario bajo estudio.*

El contenido de humedad de los RSU a incorporar a un vertedero o relleno sanitario, es importante determinarla, debido a la relación existente que tiene con la generación de lixiviados, es decir, a mayor contenido de humedad en los residuos mayor producción de lixiviados. En este caso se determinará como varía la humedad de los RSU respecto a las características peculiares en cada uno de los Planes Zonales, implementando o no, el Sistema de Tratamiento.

#### **Implementando el Sistema de Tratamiento del Escenario I**

Cuando se implementa el sistema de tratamiento, el contenido de humedad para estos casos se debe calcular utilizando los resultados de caracterización de la línea de rechazos, habiendo aplicado previamente los porcentajes de recuperación, y haciendo la inclusión del producto de afino del compost. Como cada zona consta de características cuantitativas distintas, en cuanto a la composición en peso de los residuos, debido a esto, se debe calcular de forma independiente. Luego se debe determinar el peso seco y el peso en agua de cada tipo de residuos en función del porcentaje de humedad característico en cada uno de ellos, como se puede ver en la tabla 36:

Tabla 36: Caracterización de los RSU habiendo implementado el Sistema de Tratamiento en la zona Centro-Sureste-Sur.

COMPONENTES	Peso (Kg)	% Humedad	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)
Restos de comida	16,09	70	4,83	11,26
Papel-Cartón	3,67	20	2,94	0,73
Plástico	3,64	5	3,46	0,18
Vidrio	4,07	0	4,07	0
Textiles	0,98	10	0,88	0,10
Cuero	1,16	10	1,04	0,12
Residuos de Jardín	1,04	60	0,42	0,62
Madera	1,05	20	0,84	0,21
Metales	1,61	0	1,61	0
Otros	0,99	30	0,69	0,30
<b>TOTAL</b>	<b>34,30</b>		<b>20,78</b>	<b>13,52</b>

Tras haber establecido el peso seco y peso en agua se procede a calcular el contenido de humedad como el cociente del peso total en agua entre el peso total de los RSU que ingresarían al relleno sanitario en cuestión, dando como resultado un porcentaje de 39,42% en humedad.

Aplicando la misma metodología con las características y composición de RSU en las zonas restantes se obtuvo en la zona Norte-Nordeste-Este un porcentaje en humedad de 49,28%; y en la zona Suroeste-Oeste un porcentaje en humedad de 35,18%, (ver tablas 37 y 38 de resultados en **Anexo I**). Según resultados la zona que incorporaría mayor humedad al relleno sanitario es la que se encuentra en el Plan Zonal que se extiende por la zona Norte-Nordeste-Este.

A partir de los resultados se estableció una humedad promedio en el sitio de disposición final dando como resultado un 41,29%.

### **Sin implementar el sistema de tratamiento**

En este caso se determina el porcentaje de humedad, haciendo la sumatoria de los porcentajes de humedad correspondientes en cada Plan Zonal entre el número total de estos, lo que dio como resultado un 45,66%.

4.3.10.2. Cálculo de la producción del biogás de los RSU a incorporar en el relleno sanitario bajo estudio tras implementar el sistema de tratamiento del escenario I.

La composición química del gas conocido como biogás, el cual se genera producto de la degradación anaerobia de los RSU, dispuestos en vertederos o rellenos sanitarios, se derivan de un análisis químico elemental recopilado de "Tchobanoglous", cuyos resultados se muestran en la tabla 39, como sigue:

Tabla 39: Composición química del biogás generado por la biodegradación anaerobia de los RSU en vertedero.

COMPONENTES	Peso (Kg)	% Humedad	Peso Seco (Kg)	C	H	O	N	S y Cenizas
				12	1	16	14	1
Restos de comida	30	70	9	4,5	0,6	2,7	0,2	1
Papel-Cartón	20	20	16	7	1	7	0,2	0,8
Plástico	10	5	9,50					
Vidrio	10	0	10					
Textiles	3	10	2,70	1,05	0,3	1,05	0,15	0,15
Cuero	2	10	1,80	0,6	0,2	0,6	0,2	0,2
Residuos de Jardín	15	60	6	2,9	0,25	2,5	0,15	0,2
Madera	3	20	2,40	1,2	0,15	0,9	0,075	0,075
Metales	2,55	0	2,55					
Otros	3	30	2,1					

A partir de la tabla anterior se establece el análisis químico en función a los pesos de los diferentes tipos de RSU y tomando como base la tabla de caracterización de la línea de rechazos zona Centro-Sureste-Sur (ver tabla 36) y de las tablas 37 y 38 de las zonas restantes (ver **Anexo I**), a partir de esos valores se obtienen los resultados que se muestran en las tablas 40, 41 y 42, como se puede ver a continuación:

Tabla 40: Análisis químico de los RSU generados en la zona Centro-Sureste-Sur a gestionar en el relleno sanitario bajo estudio de Rafey.

COMPONENTES	Peso Línea de Rechazo (Kg)	% Humedad	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)	C	H	O	N	S y Cenizas
					12	1	16	14	1
Restos de comida	16,09	70	4,83	11,26	2,42	0,32	1,45	0,11	0,54
Papel-Cartón	3,67	20	2,94	0,73	1,29	0,18	1,29	0,04	0,15
Plástico	3,64	5	3,46	0,18	0	0	0	0	0
Vidrio	4,07	0	4,07	0	0	0	0	0	0
Textiles	0,98	10	0,88	0,10	0,34	0,10	0,34	0,05	0,05
Cuero	1,16	10	1,04	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,12
Residuos de Jardín	1,04	60	0,42	0,62	0,18	0,02	0,18	0,01	0,01
Madera	1,05	20	0,84	0,21	0,32	0,05	0,32	0,03	0,03
Metales	1,61	0	1,61	0	0	0	0	0	0
Otros	0,99	30	0,69	0,30	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>34,29</b>		<b>20,76</b>	<b>13,52</b>	<b>5,31</b>	<b>3,91</b>	<b>0,79</b>	<b>0,34</b>	<b>0,89</b>
				Número de moles	0,42	0,79	0,24	0,02	
				Número entero de moles	17	32	10	1	

Tabla 41: Análisis químico de los RSU generados en la zona Norte-Nordeste-Este a gestionar en el relleno sanitario bajo estudio de Rafey.

COMPONENTES	Peso Línea de Rechazo (Kg)	% Humedad	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)	C	H	O	N	S y Cenizas
					12	1	16	14	1
Restos de comida	18,90	70	5,67	13,23	2,84	0,38	1,70	0,13	0,63
Papel-Cartón	1,80	20	1,44	0,36	0,63	0,09	0,63	0,02	0,07
Plástico	1,13	5	1,07	0,06	0	0	0	0	0
Vidrio	2,13	0	2,13	0	0	0	0	0	0
Textiles	0,65	10	0,59	0,07	0,23	0,07	0,23	0,03	0,03
Cuero	0,70	10	0,63	0,07	0,21	0,07	0,21	0,07	0,07
Residuos de Jardín	2,00	60	0,80	1,20	0,39	0,03	0,33	0,02	0,03
Madera	3,15	20	2,52	0,63	1,26	0,16	0,95	0,08	0,08
Metales	0,63%	0	0,63	0	0	0	0	0	0
Otros	1,50	30	1,05	0,45	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>32,58</b>		<b>16,52</b>	<b>16,06</b>	<b>5,56</b>	<b>0,8</b>	<b>4,05</b>	<b>0,35</b>	<b>0,91</b>
				Número de moles	0,46	0,80	0,25	0,03	
				Número entero de moles	19	32	10	1	

Tabla 42: Análisis químico de los RSU generados en la zona Suroeste-Oeste a gestionar en el relleno sanitario bajo estudio de Rafey.

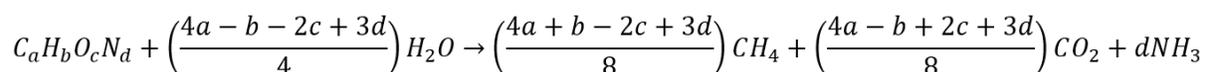
COMPONENTES	Peso Línea de Rechazo (Kg)	% Humedad	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)	C	H	O	N	S y Cenizas
					12	1	16	14	1
Restos de comida	14,40	70	4,32	10,08	2,16	0,29	1,30	0,10	0,48
Papel-Cartón	4,20	20	3,36	0,84	1,47	0,21	1,47	0,04	0,17
Plástico	4,63	5	4,40	0,23	0	0	0	0	0
Vidrio	4,68	0	4,68	0	0	0	0	0	0
Textiles	0,98	10	0,88	0,10	0,34	0,10	0,34	0,05	0,05
Cuero	1,16	10	1,04	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,12
Residuos de Jardín	0,75	60	0,30	0,45	0,15	0,01	0,13	0,01	0,03
Madera	1,05	20	0,84	0,21	0,42	0,05	0,32	0,03	0,03
Metales	2,21	0	2,21	0	0	0	0	0	0
Otros	1,00	30	0,70	0,30	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>35,04</b>		<b>22,72</b>	<b>12,32</b>	<b>4,89</b>	<b>0,78</b>	<b>3,91</b>	<b>0,34</b>	<b>0,87</b>
				Número de moles	0,41	0,78	0,24	0,02	
				Número entero de moles	17	32	10	1	

El resultado del análisis químico de los RSU generados por las distintas zonas, a gestionar en el relleno sanitario ubicado en el área de influencia del vertedero de Rafey, tienen las siguientes composición química y peso molecular, las cuales varían de una zona a otra, como se puede ver en la tabla 43:

Tabla 43: Composición química y peso molecular de los RSU a gestionar en vertederos procedentes de cada Plan Zonal.

	Zona Centro-Sureste-Sur	Zona Norte-Nordeste-Este	Zona Suroeste-Oeste
<b>Composición química</b>	<b>C<sub>17</sub>H<sub>32</sub>O<sub>10</sub>N</b>	<b>C<sub>19</sub>H<sub>32</sub>O<sub>10</sub>N</b>	<b>C<sub>17</sub>H<sub>32</sub>O<sub>10</sub>N</b>
<b>Peso molecular</b>	410 g/mol	434 g/mol	410 g/mol

La ecuación que se muestra a continuación se debe contemplar, ya que se puede dar en los RSU que presenten una descomposición completa de la fracción orgánica biodegradable, mejor conocida como biometanización.



La fórmula que caracteriza la fracción orgánica, válida en todos los casos presentes, es que la se muestra a continuación, en la composición química de la tabla 43. Mediante los valores de dicha fórmula, se calcula

el peso de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O reemplazando los valores de a, b, c y d en la ecuación anterior. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 44:

*Tabla 44: Valores de los componentes químicos.*

Zonas	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
Centro-Sureste-Sur	9,63	7,38	1	4,75
Norte-Nordeste-Este	10,63	8,38	1	6,75
Suroeste-Oeste	9,63	7,38	1	4,75

Tomando como ejemplo los resultados de la zona Centro-Sureste-Sur, indica que 1 mol de materia orgánica contiene 9,63 moles de CH<sub>4</sub> + 7,38 moles de CO<sub>2</sub> + 1 mol de NH<sub>3</sub> + 4,75 moles de H<sub>2</sub>O.

Luego se procede a determinar el peso molecular de los componentes de la siguiente manera (ver tabla 45):

*Tabla 45: Peso molecular de los componentes de la materia orgánica biodegradable.*

Zonas	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
Centro-Sureste-Sur	9,63 * 16 = 154,08	7,38 * 44 = 324,72	1 * 17 = 17
Norte-Nordeste-Este	10,63 * 16 = 170,08	8,38 * 44 = 368,72	1 * 17 = 17
Suroeste-Oeste	9,63 * 16 = 154,08	7,38 * 44 = 324,72	1 * 17 = 17

Tomando como ejemplo los resultados de la zona Centro-Sureste-Sur, se procede a determinar los kg presentes en la materia orgánica como sigue:

Por cada 100 kg de RSU se tiene 20,76 kg de materia orgánica seca y como previamente se había determinado que, por cada 410 g/mol de materia orgánica se tienen 154,08 g/mol de CH<sub>4</sub>, 324,72 g/mol de CO<sub>2</sub> y 17 g/mol de NH<sub>3</sub>. Entonces en 20,76 kg de M.O. seca se tendría los resultados que se muestran en la tabla 46:

*Tabla 46: Kg presentes en la materia orgánica.*

Zonas	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	Unidad
Centro-Sureste-Sur	7,80	16,44	0,86	kg
Norte-Nordeste-Este	6,47	14,04	0,65	kg
Suroeste-Oeste	8,54	17,99	0,94	kg

El volumen de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> que se produce por cada 100 kg de RSU, se determina fijando el peso específico de los gases de interés, siendo para el CH<sub>4</sub> (0,718 kg/m<sup>3</sup>) y para el CO<sub>2</sub> (1,977 kg/m<sup>3</sup>). En la tabla 47, se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 47: Volumen producido por cada 100 kg de residuos.

Zonas	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	Unidad
Centro-Sureste-Sur	10,86	8,31	m <sup>3</sup>
Norte-Nordeste-Este	9,01	7,10	m <sup>3</sup>
Suroeste-Oeste	11,89	9,09	m <sup>3</sup>

Finalmente se determina el volumen de biogás producirán los RSU depositados durante un año en el sitio de disposición final bajo estudio. Para esto, se hizo la sumatoria de todo el volumen de biogás generado por los residuos que han de depositar en cada una de las zonas evaluadas, obteniendo así el volumen total de CH<sub>4</sub> y de CO<sub>2</sub> generado en este lugar, como se muestra en la tabla 48.

Tabla 48: Volumen de biogás producido por los RSU depositados en el relleno sanitario bajo estudio.

Zonas	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	Unidad
Centro-Sureste-Sur	15.954.697,50	12.208.428,75	m <sup>3</sup> /año
Norte-Nordeste-Este	7.185.700,25	5.662.427,50	m <sup>3</sup> /año
Suroeste-Oeste	12.477.068,75	9.538.818,75	m <sup>3</sup> /año
<b>TOTAL</b>	<b>35.617.466,50</b>	<b>27.409.675,00</b>	<b>m<sup>3</sup>/año</b>

#### 4.3.11. Ratio económica para el Escenario I en la producción de compost y la generación de subproductos.

Esto quiere decir que, la instalación donde son recuperados estos materiales se estima podría generar diariamente un total de US\$49.013,12. En caso de que funcione bajo condiciones óptimas todos los días de la semana y los 365 días del año, se estima estaría generando en promedio un total de US\$17.889.788,80. Sin embargo, estos valores no son comparables, puesto que se desconocen los gastos de inversión, mantenimiento, operacional, administrativos y personal de trabajo. Es decir que, sin ello no se determina la factibilidad de la construcción de dicha instalación. No obstante, en el caso real de la ciudad de Santiago de los Caballeros, ya existe una planta que valoriza estos subproductos y según informaciones esta empresa tiene solvencia en la región, ya que se están evidenciando los beneficios. En la tabla 49, se pueden observar los resultados como sigue:

Tabla 49: Generación en coste de los subproductos recuperados para reciclaje.

COMPONENTES	Cantidad	Unidad	Costo RD\$	Costo US\$	US\$/día
Papel-Cartón	193.274,29	lb	0,40	0,008	1.546,19
Plástico	187.877,80	lb	4,45	0,089	16.721,12
Vidrio	217.458,56	kg	2,90	0,058	12.612,60
Metales	38.175,17	lb	23,75	0,475	18.133,21
<b>Total</b>					<b>49.013,12</b>

En el caso de que, se establezcan o se incorporen estas tres plantas de compostajes al sistema de GIRSU en la ciudad de Santiago de los Caballeros, se estima que podría generar en base a las características de los de RSU tratados y a la composición de ellos, un total de US\$3.883,16 (ver tabla 50) en la producción diaria de compost que, al año sería en promedio un total de US\$1.417.353,40. De igual forma que en el análisis anterior. Económicamente, no es posible comparar y determinar la factibilidad de llevar a cabo la construcción de estas plantas, ya que se desconoce el coste de inversión, mantenimiento, operacional y de personal.

Tabla 50: Generación en coste de la producción diaria del compost.

	Cantidad	Unidad	Costo RD\$	Costo US\$	US\$/día
Zona Centro-Sureste-Sur	226,52	m <sup>3</sup>	368,42	7,40	1.676,25
Zona Norte-Nordeste-Este	149,35	m <sup>3</sup>	368,42	7,40	1.105,20
Zona Suroeste-Oeste	148,88	m <sup>3</sup>	368,42	7,40	1.101,71
<b>TOTAL</b>	<b>524,75</b>	<b>m<sup>3</sup></b>		<b>7,40</b>	<b>3.883,16</b>

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Luego de haber realizado un análisis exhaustivo al sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos, en la ciudad de Santiago de los Caballeros (República Dominicana), se ha identificado que, en la actualidad existen debilidades en aspectos como la separación en origen (mezcla de residuos peligrosos y no peligrosos) y la disposición final de los residuos. A pesar de que se han tomado muchas medidas en pro de mejorar el sistema, se ha constatado, según las investigaciones realizadas a partir de datos de campo reales que, tanto las entidades gubernamentales como la ciudadanía presentan muchas debilidades en el cumplimiento de las leyes, ya sea por falta de educación ambiental o por la carencia de recursos, trayendo como consecuencia que el sistema no sea ambientalmente sostenible.

En vista de que un buen sistema de gestión de residuos sólidos, requiere de la limpieza de la ciudad con un sistema eficiente de barrido (limpieza de las calles y aceras) y el mantenimiento de las áreas verdes, en ese aspecto se ha optado por reestructurar el sistema, definiendo planes y metodologías de trabajos, en los cuales se implementan estrategias interventoras, estableciendo una división territorial en el municipio y tomando en cuenta indicadores como la producción de residuos sólidos en cada sector, la población existente, las edificaciones y el diseño de la frecuencia óptima.

Dentro de las principales funciones del equipo de trabajo, encargado de llevar tal función como un ente coordinador entre la población y el gobierno local, se destacan las siguientes: seguimiento de la frecuencia, supervisión de brigadas de barrido y la interacción con otras dependencias para el cumplimiento de servicios con apoyo logístico y monitoreo.

Para asegurar una gestión sostenible de los servicios de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) y su disposición final, se creó la unidad de fiscalización y control, con la colaboración de prestadoras de servicios que, trabajando de manera conjunta con el ayuntamiento, establecieron regulaciones para el control de vertidos a las fuentes de agua.

En cuanto a la disposición final de los residuos y de cara a mejorar las condiciones medioambientales de la zona y del sistema en su conjunto, se propone incorporar a la estructura, un sistema de valorización basado en reciclaje para reducir el volumen de residuos que llega al vertedero. Sin embargo, lo más viable en estos casos es, además, implementar otras alternativas de gestión; de valorización, mediante un sistema de compostaje, de cara a reducir el volumen de residuos orgánicos que llega al vertedero,

proveniente de las actividades que se llevan a cabo en la ciudad y con ello la generación de lixiviados y biogás producto de la biodegradación de estos.

Por otra parte, luego de realizar un análisis en función al diseño del sistema actual de gestión integral de residuos sólidos urbanos en base a las características y restricciones que presenta el sistema actual, se puede decir que, con la implantación de las medidas propuestas, el sistema como tal, mejorará consecuentemente, aunque esto no asegura que funcione de forma óptima.

Habiendo estudiado y analizado la posibilidad de introducir al sistema, plantas de valorización de residuos (compostaje) en las distintas zonas de la ciudad, se puede afirmar que esto implicaría una ventaja muy apropiada y coherente de cara a disminuir el volumen residuos gestionado en vertederos y con ello la humedad, la producción de biogás y de dióxido de carbono, y de lixiviados que se produce en el vertedero municipal, mitigando de esta forma el impacto al medio ambiente.

Según resultados de los escenarios previamente establecidos se reduciría el volumen de RSU a vertedero de 309,99 t/día en el Escenario I a 203,31 t/día Escenario II, en el caso de que se apliquen estos sistemas de tratamiento. Además, en el Escenario I se tendría una producción de compost de 524,45 t/m<sup>3</sup> y en el Escenario II de 610,42 t/m<sup>3</sup>.

Una medida ventajosa y factible sería llevar a cabo la alternativa de instalar un relleno sanitario en el lugar indicado, es decir, aquel que cumpla con los parámetros ambientales y, criterios técnicos adecuados. Con esto, se tendría la oportunidad de valorizar energéticamente el biogás generado y se le daría el tratamiento adecuado a los lixiviados que se generan en este sitio de disposición final. Y, además, se incrementaría la vida útil de vertedero de la zona, pasando de 10 a 25 años en el caso de residuos de baja densidad, tomando como referencia el Escenario I.

## **Recomendaciones**

En base a los resultados de este análisis se busca proponer medidas medioambientales orientadas a las mejoras del sistema, tales como:

- Instaurar campañas de reciclaje implementando sistema de recolección selectiva con clasificación de los residuos en origen, en contenedores de almacenamiento.
- Establecer instrumentos económicos para incentivar a productores y consumidores a elaborar y consumir productos reciclados y reciclables.
- Desarrollar un marco normativo para la gestión, recuperación y correcta eliminación de los desechos, incorporando el enfoque preventivo.

- Promover la disminución en la generación de residuos, promoviendo las 3R's (reduce, reutiliza y recicla).
- Definir las exigencias mínimas para la recolección y transporte, en las que se tome en cuenta, además, de las rutas, frecuencia, horarios de recolección, su difusión y características técnicas; el mantenimiento de camiones, capacitación personal y seguridad laboral.
- Promover la valorización de la materia orgánica para la producción de compost o abono y la recuperación energética, en aprovechamiento del biogás para producir combustibles sólidos y líquidos.
- Para mantener la sostenibilidad ambiental, se deben implantar medidas en las que, las personas generadoras de residuos sean las responsables de velar por ellos en todo el ciclo de su vida, en miras a mantener los recursos naturales disponibles a las futuras generaciones.

De cara a prevenir un riesgo potencial de contaminación del suelo y las aguas subterráneas en el sitio de disposición final, cuando se incorpora al sistema, un relleno sanitario, es recomendable:

- Este constituido por una capa inicial de revestimiento o material geosintético con conductividad hidráulica adecuada y sistema o red de captación de lixiviados con convergencia en una balsa de lixiviados en su punto más bajo, con el fin de que capte todas las aguas de escorrentía y aguas grises que se escapen del vertedero. Ambientalmente, es necesario mantenerlo tanto en la fase de funcionamiento como en la fase de vigilancia y post clausura. Con esto se evita, además, que se generen reacciones químicas que se presentan entre ciertos compuestos orgánicos y las capas de arcilla, ya que podrían alterar las propiedades y estructura de esta.
- Es importante realizar una gestión adecuada del biogás, la cual se realiza mediante la instalación de chimeneas, de captación de biogás de tal manera que, garantice la correcta captación de este en la zona y que, además, se implante un sistema de aprovechamiento energético. Condiciones de quema del biogás es recomendable:  $T^{\circ} \geq 900^{\circ}$  durante 0,3 segundos, con el empleo de antorchas. Ambientalmente, se disminuiría los problemas de olor y de la vegetación en la superficie. Además, la implementación de un relleno sanitario puede prevenir la aparición de animales como ratas y ratones y disminución en la cantidad de basuras que podrían ser arrastradas por el viento.
- Luego de haber concluido con las actividades en el vertedero y, para alcanzar su máxima capacidad, se debe proceder con su clausura y sellado, para luego de ello, reforestar y restaurar la zona de modo que esta pueda ser empleada para otros usos.



## 6. LÍNEAS FUTURA DE INVESTIGACIÓN

Dentro de las líneas futura de investigación propuestas se encuentran:

- Determinar la producción total en lixiviados para establecer el sistema de recogida y tratamiento de lixiviado adecuados en demanda de la situación.
- Incorporar al relleno sanitario un sistema de biometanización en aprovechamiento del biogás para producción energía.
- Realizar un análisis económico que considere el coste que conlleva la instalación de dichas plantas, para hacer una comparación entre la inversión y generación en coste de lo que se está produciendo, y de esta forma determinar la viabilidad, optimización y beneficios que brindaría la construcción en cada una de ellas.

## 7. BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS

- Ayuntamiento de Santiago. Corporación de Aseo de Santiago (CASA). (2008). *Complejo para el Tratamiento de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Santiago. Eco Parque Rafey (2008-2027)*.
- Ayuntamiento del Municipio de Santiago. (2018). Retrieved from <https://santiagodeloscaballeros.gob.do/transparencia/descargar/pesaje-general-de-residuos-solidos-julio-septiembre-2018/?wpdmdl=5361>
- Caballeros, P. d. (2016, Abril 24). [https://issuu.com/guidocho/docs/pa\\_santiago\\_lr](https://issuu.com/guidocho/docs/pa_santiago_lr). Retrieved from [https://issuu.com/guidocho/docs/pa\\_santiago\\_lr](https://issuu.com/guidocho/docs/pa_santiago_lr).
- Congreso Nacional de la República Dominicana. (Junio, 2015). Constitución de la República Dominicana, G.O. N° 10805. Santo Domingo, Distrito Nacional.
- Echeverría, G. (2016, abril 25). *Santiago de Los Caballeros, Ciudad Sostenible* . Retrieved from Plan de Accion Santiago de Los Caballeros: [https://issuu.com/guidocho/docs/pa\\_santiago\\_lr](https://issuu.com/guidocho/docs/pa_santiago_lr)
- Haug, R. T. (1993). *Practical Handbook of Compost Engineering*. United State of America: Lewis Publishers.
- Jhorar, B. S., Phogat, V., & Malik, E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil.*
- Kiehl, F. J. (1985). *Fertilizantes orgánicos*. Sao Paulo: Editora Agronómica Ceres Ltda.
- Ley 22/2011, L. R. (2011, julio 29).
- Ley N° 1-12, E. G. (2012, enero 26).
- Ley N° 120-99, R. G. (1999, diciembre 30).
- Ley N° 42-01, L. G. (2001, marzo 08).
- Ley N° 64-00, L. (2000).
- Medina-Ortiz Ingenieros Asociados, S.A. . (2007). *Estudio Geotécnico en los Terrenos del Actual Vertedero Municipal de Rafey y su Área de Influencia*. Santiago de los Caballeros, República Dominicana.
- OPS. (2003, diciembre). [iris.paho.org](http://iris.paho.org). Retrieved from [iris.paho.org](http://iris.paho.org): <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/31150/TC-0311.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OPSD. (2017). <https://innovapp.com.do/.../boletin-11-residuos-solidos-urbanos-en-republica-dominicana>. Retrieved from <https://innovapp.com.do/.../boletin-11-residuos-solidos-urbanos-en-republica-dominicana>: <https://www.google.com/search?q=boletin-11-residuos-solidos-urbanos-en-republica-dominicana.pdf&oq=boletin-11-residuos-solidos-urbanos-en-republica-dominicana.pdf&aqs=chrome..69i57j69i60l2.484j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

- Peña, P. (2018, octubre 16). *Memorias Institucionales 2017 - 2018 Ayuntamiento de Santiago* . Retrieved from [https://issuu.com/priamopena/docs/informe\\_de\\_gestion\\_2017-2018](https://issuu.com/priamopena/docs/informe_de_gestion_2017-2018)
- Real Decreto 1481/2001, R. M. (2001, diciembre 27).
- Rodrigo Ilarri, J. (2018). *Videos Curso Indicadores de RSU*. Retrieved from Videos Curso Indicadores de RSU: <https://drive.google.com/drive/folders/1YBguk8q1q8c9lluyfFN2NPwT6UHknVOE>
- Rodrigo Ilarri, J., Rodrigo Clavero, M. E., & Fernández González, J. M. (2014). *Alternativas de Valorización y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos*. Valencia, España: ENTORNOS Diseño y Precepción, S.L.
- Rodríguez, A. O. (2018, junio 05). *Documento Sitio de Disposición Final Eco Parque Rafey, Plan*. Retrieved from <https://prezi.com/asskjbdzcn/documento-sitio-de-disposicion-final-eco-parque-rafey-plan/>
- Saña , J., & Soliva, M. (1987). *El Compostaje: Procés, Sistem i aplicacions. Quaderns d'Ecologia Aplicad Nº III*. Barcelona: Servi del Medi Ambient de la Diputació de Barcelona.
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión Ambiental. (Junio, 2013). *Norma para la Gestión Ambiental , Residuos Sólidos No Peligrosos NA-RS-001-03*. Santo Domingo, República Dominicana: Editora BÚHO.
- SEMARN-OPS. (2001, febrero). *bvsde.paho.org*. Retrieved from [bvsde.paho.org:www.bvsde.paho.org/bvsacd/CD11/diagnosrd.pdf](http://bvsde.paho.org:www.bvsde.paho.org/bvsacd/CD11/diagnosrd.pdf)
- SERCITEC Ingenieros y Consultores. (2009, Diciembre). Retrieved from <https://www.sismap.gob.do/Municipal/uploads/evidencias/636627723279652426-17-mayo-18-STGO-EOT-AOU-Compendio-Mapas-Ordenanza-Ayuntamiento-Santiago.pdf>
- Stentiford, E. I. (1987). *Recent Developements in Composting*. In *Compost: Production, Quality and Use* (Eds). M., Bertoldi; M. P., Ferranti; P., L'Hermitte y F., Zucconi. Elsevier. Barking.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. MacGraw Hill, 2ª Ed.

## 8. ANEXOS

### ANEXO I: TABLAS.

*Tabla 37: Caracterización de los RSU habiendo implementado el Sistema de Tratamiento en la zona Norte-Nordeste-Este (Escenario I).*

COMPONENTES	Peso (Kg)	Humedad (%)	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)
Restos de comida	18,90	70	5,67	13,23
Papel-Cartón	1,80	20	1,44	0,36
Plástico	1,13	5	1,07	0,06
Vidrio	2,13	0	2,13	0
Textiles	0,65	10	0,59	0,06
Cuero	0,70	10	0,63	0,07
Residuos de Jardín	2,00	60	0,80	1,20
Madera	3,15	20	2,52	0,63
Metales	0,63	0	0,63	0
Otros	1,50	30	1,05	0,45
<b>TOTAL</b>	<b>32,59</b>		<b>16,53</b>	<b>16,06</b>

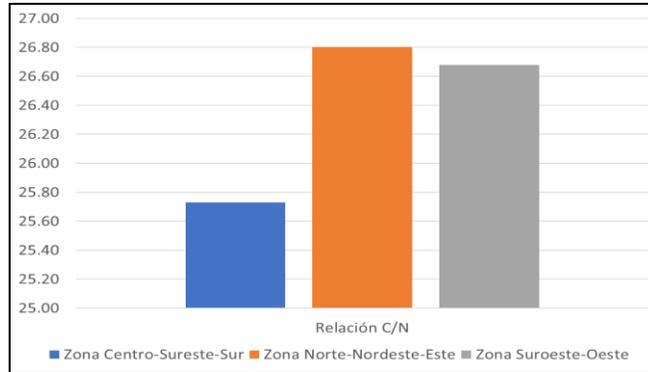
*Tabla 38: Caracterización de los RSU habiendo implementado el Sistema de Tratamiento en la zona Suroeste-Oeste (Escenario I).*

COMPONENTES	Peso (Kg)	% Humedad	Peso Seco (Kg)	Peso Agua (Kg)
Restos de comida	14,40	70	4,32	10,08
Papel-Cartón	4,20	20	3,36	0,84
Plástico	4,63	5	4,40	0,23
Vidrio	4,68	0	4,68	0
Textiles	0,98	10	0,88	0,10
Cuero	1,16	10	1,04	0,12
Residuos de Jardín	0,75	60	0,30	0,45
Madera	1,05	20	0,84	0,21
Metales	2,20	0	2,20	0
Otros	1,00	30	0,70	0,30
<b>TOTAL</b>	<b>35,05</b>		<b>22,72</b>	<b>12,33</b>

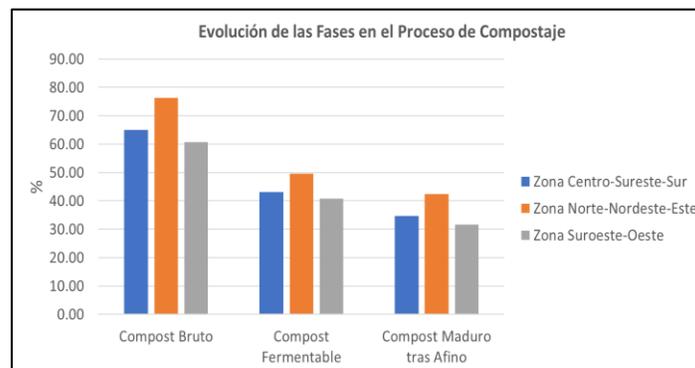
*Tabla 51: Vida útil por cada tipo de residuo, sin implementar tratamientos (Escenario actual).*

Volumen útil (baja densidad)	9	años
Volumen útil (balas)	13	años
Volumen útil (alta densidad)	18	años

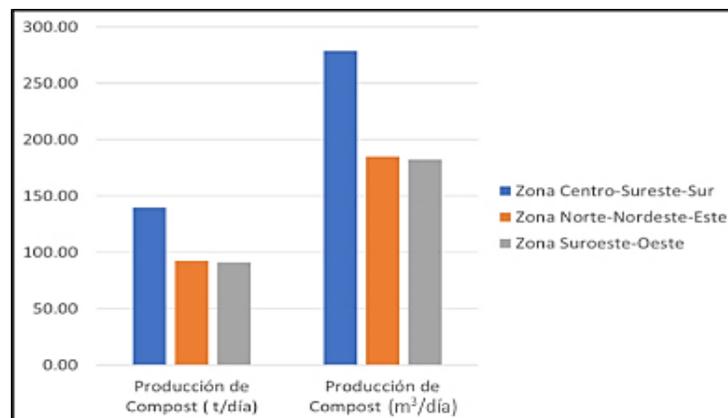
ANEXO II: GRÁFICAS.



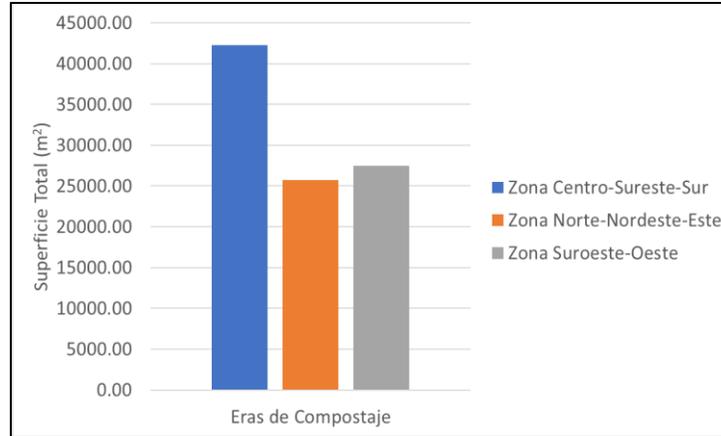
Gráfica 15: Resultado de la relación C/N antes de iniciar el proceso de compostaje (Escenario II).



Gráfica 16: Resultados evolución en las diferentes fases de un proceso de compostaje (Escenario II).



Gráfica 17: Producción diaria de compost (Escenario II).



Gráfica 18: Cantidad de superficie que ocupan las Eras de Compostaje (Escenario II).