

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Tucumán  
Escuela de Posgrado

---

Maestría en Ingeniería Bioenergética

Aprovechamiento energético sustentable del biogás  
producido por la disposición de los residuos sólidos  
urbanos generados en el municipio de Tafí Viejo,  
Tucumán – Argentina.

Ing. Sandra María Martínez

Trabajo de Tesis para optar al Grado Académico Superior de Magíster en  
Ingeniería Bioenergética

Director: Mg. Ing. Eugenio Quaia  
Co-Director: Dr. Carlos Gusils León

**SAN MIGUEL DE TUCUMÁN**

**22 DE NOVIEMBRE 2020**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN**

DECANO

Mg. Ing. Walter Fabián Soria

VICEDECANO

Esp. Ing. Juan Esteban Campos

Escuela de Postgrado

Directora

Dra. Marta Pesa

Maestría en Ingeniería Bioenergética

Director

Ing. Gerónimo Julio Cárdenas

Vicedirector

Dr. Carlos Gusils León

## Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que ofrecieron su apoyo y conocimiento para hacer posible la realización de este trabajo.

A mi familia, por su aliento y entera cooperación.

Al director de tesis Mg. Eugenio Quaia y al codirector Dr. Carlos Gusils, quienes no sólo han dirigido este trabajo, sino también brindaron su confianza, ayuda y dedicación.

A los directores de Carreras de Postgrado y de la Maestría en Ingeniería Bioenergética de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán, Dra. Marta Pesa e Ing. Gerónimo Cárdenas, por su contribución y permanente estímulo.

A los directivos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, por permitir y facilitar el uso de sus instalaciones.

A las autoridades de la Municipalidad de Tafí Viejo y del Centro de Interpretación Ambiental, CIAT por el tiempo dispuesto para visitas y entrevistas.

A los ingenieros. Luis D' Alessandro, Patricia Albarracín y Daniel Valdeón por su acompañamiento y desinteresada colaboración.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	13
1.1	Introducción .....	13
1.2	Objetivo general .....	16
1.3	Objetivos específicos .....	16
1.4	Justificación .....	17
2.	ESTADO DEL ARTE.....	18
2.1	Fundamentación .....	18
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
3.1	Análisis del contexto en el cual se encuentra inmerso el proyecto.....	21
3.2	Estudio del manejo de los RSU en el municipio de Tafí Viejo .....	22
3.3	Determinación de la cantidad de RSU destinado como biomasa para generación de biogás.....	23
3.4	Caracterización de los RSU .....	23
3.5	Análisis de la calidad de RSU .....	24
3.6	Poder calorífico del Biogás.....	25
3.7	Cálculo del biogás producido en un vertedero .....	26
3.7.1	Modelo de Scholl Canyon o LandGem simplificado .....	26
3.7.2	Modelo LandGEM (Landfill Gas Emisión Model) v. 3.02 .....	28
3.7.3	Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 .....	30
3.8	Potencia disponible y energía eléctrica producida .....	33
3.9	Diagrama de la Propuesta .....	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	35
4.1	Análisis del contexto en el cual se encuentra inmerso el proyecto.....	35
4.1.1	Departamento Tafí Viejo .....	35
4.1.2	Municipio de Tafí Viejo.....	36
4.1.3	Tafí Viejo en el Gran San Miguel de Tucumán.....	37
4.1.4	Vías de acceso .....	38
4.1.5	Actividad económica .....	38
4.1.6	Clima.....	39
4.1.7	Vientos .....	43
4.1.8	Medio físico natural.....	44
4.1.9	Hábitat Natural.....	44

4.1.10 Suelos .....	46
4.1.11 Áreas protegidas.....	48
4.1.12 Hidrología.....	49
4.1.13 Cuenca hídrica .....	50
4.1.15 Sismicidad - zonificación sísmica.....	53
4.1.16 Población .....	54
4.1.17 La situación socio económica de Tafí Viejo.....	57
4.2 Estudio del manejo de los RSU en el municipio de Tafí Viejo .....	58
4.2.1 Tafí Viejo en el Consorcio Público Metropolitano, CPM. ....	58
4.2.2 Análisis de la cantidad de RSU producido por habitante por día .....	63
4.2.3 Determinación de la cantidad de RSU destinado como biomasa para generación de biogás.....	67
4.2.4 Caracterización de los RSU. ....	67
4.2.5 Calidad del RSU. ....	72
4.3 Resumen para especificar biomasa utilizada para generación de biogás. .....	74
4.4 Biogás proveniente de los RSU .....	75
4.5 Biometanización de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos. ....	78
4.6 Factores que influyen en la producción de biogás. ....	79
4.7 Poder calorífico del Biogás.....	81
4.8 Aplicación para la Municipalidad de Tafí Viejo .....	83
4.9 Generación de electricidad .....	90
4.9.1 Potencia disponible y potencia a instalar. ....	90
4.9.2 Energía eléctrica producida .....	93
5. DIAGRAMA DE LA PROPUESTA.....	94
5.1 Sobre los vertederos controlados para disposición de residuos sólidos urbanos consideraciones. ....	94
5.2 Diseño de vertederos.....	94
5.3 Operación del vertedero.....	96
5.4 Descripción de sistema integral de captación, conducción y tratamiento del biogás.....	97
6. ALTERNATIVAS DE SITIO DE UBICACIÓN DEL VERTEDERO.....	100
Alternativa 1 .....	101
Alternativa 2 .....	101
Alternativa 3.....	102

6.1 Análisis de las propuestas de ubicación .....	103
6.2 Evaluación ambiental para determinar la potencial reducción de gases de efecto invernadero con el proceso .....	105
7. CONCLUSIONES.....	107
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

<u>N°</u>	<u>Contenido</u>	<u>Pág.</u>
Tabla 1	Indicador de K y Lo según precipitación anual.....	27
Tabla 2	Valores de K según categoría de degradación y precipitación anual.....	31
Tabla 3	Valores de L <sub>o</sub> según categoría de degradación y precipitación anual.....	31
Tabla 4	Factor de corrección de metano.....	32
Tabla 5	Parámetros climáticos para la región de Tafí Viejo. Cuadro resumen.....	43
Tabla 6	Evolución de la población según datos censales, proyección hasta año 2020 considerando la media provincial y la media para Tafí viejo determinada por INDEC. ....	55
Tabla 7	Evolución de habitantes entre los años 2010- 2020 por el método de tasa constante.....	56
Tabla 8	Indicadores socioeconómicos en municipios y comunas del área metropolitana, AMet Tucumán.....	58
Tabla 9	Número de habitantes y viviendas de Municipios y comunas servidos por CPM .....	60
Tabla 10	Promedio de generación de RSU per cápita diaria en los años 2005, 2010 y 2015 en Tucumán. ....	64
Tabla 11	Producción de RSU per cápita, promedio por rango poblacional (censo 2010) de la República Argentina.....	65
Tabla 12	Producción mensual de RSU en Tafí Viejo y San Miguel de Tucumán realizado por CPM año 2017.....	66
Tabla 13	Cuadro comparativo de la producción diaria de RSU para el municipio de Tafí Viejo.....	66
Tabla 14	Cantidad de RSU producido en el municipio de Tafí Viejo y residuo que ingresa a CIAT .....	67
Tabla 15	Caracterización de los RSU generados en Tafí Viejo en 2013-2014.....	68
Tabla 16	Caracterización de los RSU generados en Tafí Viejo, componentes	69

	constitutivos de los RSU totales generales, húmedos y secos 2015- 2016.....	
Tabla 17	Caracterización de los RSU generados en Tafí Viejo, componentes constitutivos de los RSU según muestras tomadas en año 2020...	70
Tabla 18	Planilla de la composición de los RSU de las muestras - incidencia en porcentaje de cada componente y desviación estándar..... Cuadro comparativo por componente de las caracterizaciones de	71
Tabla 19	RSU realizadas en los 2020 y 2015.....	71
Tabla 20	Análisis realizados a las muestras caracterizadas de RSU.....	72
Tabla 21	Biodegradabilidad de los componentes de una muestra de RSU....	73
Tabla 22	Composición media de los componentes.....	74
Tabla 23	Composición de los RSU domésticos inorgánicos.....	74
Tabla 24	Biomasa útil de RSU en Kg/día para generación de biogás. Sin considerar el RSU rechazado en CIAT.....	75
Tabla 25	Composición del biogás .....	76
Tabla 26	Principales trazas de componentes detectados en el Biogás.....	77
Tabla 27	Poder calorífico de las principales fuentes energéticas .....	81
Tabla 28	Valores característicos de energía equivalente - valor energético del biogás y otras fuentes.....	82
Tabla 29	Cálculo del caudal de metano generado $Q[m^3CH_4/año]$ según el modelo de Scholl Canyon o LandGem simplificado.....	84
Tabla 30	Cálculo del caudal de metano generado, $Q[m^3CH_4/año]$ según el modelo Landgem 3.2.....	85
Tabla 31	Cálculo del caudal de metano generado, $Q[m^3CH_4/año]$ según el modelo Landgem 3.2. adaptado a Tafí Viejo.....	87
Tabla 32	Cálculo del caudal de metano generado, $Q[m^3CH_4/año]$ según el modelo Landgem 3.2. Modelo Mexicano.....	88
Tabla 33	Cuadro comparativo con resultados de $QCH_4 m^3/año$ según las distintas metodologías aplicadas .....	89
Tabla 34	Variación en el caudal de metano captado según condiciones del <b>vertedero</b> .....	90
Tabla 36	Cálculo de potencia disponible y energía producida, rendimiento de 35%y captación de metano del 20%.....	92

Tabla 37	Cuadro comparativo de la potencia disponible por año, si la captación de metano es de 20% y 100%.....	92
Tabla 38	Masa de RSU anual para disponer en vertedero desde año 2020 hasta 2035.....	105

# ÍNDICE DE FIGURAS

<u>N°</u>	<u>Contenido</u>	<u>Pág.</u>
Figura 1	Croquis de Ubicación del departamento Tafí Viejo.....	35
Figura 2	Límites del municipio. Sectores y servicios.....	36
Figura 3	Conformado del Gran San Miguel de Tucumán.....	37
Figura 4	Redes de vías de vinculación entre San Miguel de Tucumán y Tafí <b>Viejo</b> .....	38
Figura 5	Yacimientos activos y no activos en el departamento Tafí Viejo.....	39
Figura 6	Distribución del clima en la República Argentina.....	40
Figura 7	Temperaturas medias anuales en la provincia de Tucumán.....	41
Figura 8	Precipitación pluvial en la provincia de Tucumán.....	42
Figura 9	Mapa de Isohietas en Gran San Miguel de Tucumán.....	42
Figura 10	Valores máximo y promedio de velocidad de viento. Eje San Miguel de Tucumán- Tafí Viejo .....	43
Figura 11	Unidades fisiográficas de la provincia de Tucumán.....	44
Figura 12	Ladera Oriental de la Sierra San Javier.....	45
Figura 13	Mapa de suelos de la provincia de Tucumán.....	47
Figura 14	Mapa de áreas protegidas de la provincia de Tucumán.....	48
Figura 15	Centro de Interpretación Ambiental y Tecnológico, CIAT - Parque <b>Sierras de San Javier</b> .....	49
Figura 16	Mapa hidrográfico del departamento Tafí Viejo - Tucumán.....	50
Figura 17	Mapa de las Cuencas Hídricas de Tucumán.....	51
Figura 18	Zonas productoras de agua subterránea en la zona de estudio.....	52
Figura 19	Perfil Long. Casco de la ciudad de Tafí Viejo.....	53
Figura 20	Zonificación sísmica de Tucumán.....	54
Figura 21	Área metropolitana con gestión de residuos efectuada por CPM.....	59
Figura 22	Ubicación de centro de interpretación ambiental, CIAT en Tafí Viejo.	61
Figura 23	Diagrama de flujo del manejo de RSU en Tafí Viejo .....	62
Figura 24	La producción per cápita (PPC) promedio diario de residuos sólidos <b>urbanos</b> .....	65
Figura 25	Gráfico cantidad esperada de metano m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /año. Modelo <b>LandGem</b> .....	86
Figura 26	Caudal de CH <sub>4</sub> que puede producir el vertedero según el modelo de	89

	cálculo utilizados.....	
Figura 27	Esquema corte de vertedero controlado.....	96
Figura 28	Preparación de suelo para la instalación de celdas nuevas de un relleno sanitario.....	97
Figura 29	Esquema vertedero controlado con aprovechamiento del biogás.....	99
Figura 30	Esquema de la extracción de biogás en un vertedero controlado. ....	100
Figura 31	Colectores y cabezales para extracción de biogás en un vertedero controlado. Captación vertical.....	100
Figura 32	Alternativas propuestas para ubicación de vertedero.....	101
Figura 33	Ubicación alternativa 2. Las Talitas - departamento Tafí Viejo.....	102
Figura 34	Imagen satelital de la ubicación de cavas en Villa Carmela.....	102
Figura 35	Ubicación, superficie y profundidad de sector de cavas propuestas para vertedero.....	103

## RESUMEN

En este trabajo se estudió el aprovechamiento sustentable del potencial energético de los gases provenientes de la disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el municipio de Tafí Viejo mediante tecnología de vertederos controlados. Actualmente, el municipio, cuenta con una planta para tratar y comercializar residuos inorgánicos reciclables, los residuos orgánicos e inorgánicos no reciclados se trasladan a la planta de disposición final perteneciente al Consorcio Público Metropolitano (CPM). Se evaluó el potencial energético del biogás producido por el componente inorgánico de degradabilidad rápida no tratado y el componente orgánico de los RSU.

Se estimó la producción de metano mediante el uso de modelos matemáticos aceptados por Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC) y se calculó la energía eléctrica que puede generar; se evaluaron aspectos ambientales de la tecnología de vertederos y se plantearon alternativas de emplazamiento.

Los resultados obtenidos mostraron potencialidad del vertedero para la producción de biogás y su aprovechamiento energético considerando que el caudal obtenido obedece a condiciones climáticas, técnicas de operación y tecnologías de captación y transporte.

Se observaron acciones institucionales del manejo de RSU que propician proyectos de economía circular y esta propuesta aporta a la transformación del RSU en un activo sustentable.

**Palabras Clave:** Biomasa; residuos sólidos urbanos; abastecimiento energético; bioenergía.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

El crecimiento económico y el incremento de la prosperidad de la población generan un mayor consumo de energía a nivel mundial, a su vez existe la necesidad de impulsar una transición más rápida hacia un futuro con menos emisiones de carbono y la posibilidad de incorporar energías renovables sustentables (BP, 2019). En la actualidad se está incrementando el empleo de las energías de origen renovable en relación al siglo anterior y está previsto que su utilización sea cada vez mayor (IEA, 2017). Las disminuciones de las reservas de combustibles fósiles conllevan la implementación de políticas ambientales que evalúen alternativas de energía provenientes de recursos no agotables. (United Nation, 1998; Cárdenas, G. 2011; Falzone, S. 2019).

Por otro lado, el problema de los residuos sólidos urbanos (RSU), en la gran mayoría de los países y particularmente en determinadas regiones, se viene agravando como consecuencia del acelerado crecimiento de la población y concentración en las áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y mejor nivel de vida, así como también debido a otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017)

Se prevé que en el curso de los próximos 30 años la generación de desechos a nivel mundial, impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de las poblaciones, aumentará de 2010 millones de toneladas registradas en 2016 a 3400 millones.

Los países con ingresos altos, si bien representan el 16 % de la población mundial, generan el 34 % de los desechos del mundo. La región de Asia oriental y el Pacífico genera casi un cuarto (23 %) del total. Asimismo, se espera que para 2050 la generación de desechos en las regiones de África al sur del Sahara y de Asia meridional se triplique y se duplique con creces, respectivamente. (Informe

del Banco Mundial. Septiembre 2018: “Waste 2.0: A Global Snapshot of solid waste Management to 2050”).

Un tercio de estos residuos producidos se entierran en rellenos sanitarios y el resto constituye un serio problema desde el punto de vista ecológico, higiénico, sanitario, político, social y económico.

El costo del manejo de los residuos (recolección, transporte y eliminación) es elevado. La disposición y quema de los residuos en un vertedero a cielo abierto no controlados genera una alta contaminación y desaprovechamiento de la potencialidad energética que podría compensar o minimizar los costos devenidos de la gestión adecuada de los RSU (Femayor Garay et al., 2016).

Según De Luca y Giorgi, 2015, las actividades humanas generan residuos y estos deben ser gestionados y dispuestos en forma correcta, minimizando los posibles impactos sobre la salud y el medio ambiente (De Luca y Giorgi, 2015).

Los actuales sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos incorporan tecnologías con el fin de valorizar el pasivo energético de los RSU (Waste-to- Energy TE).

La conversión de RSU en energía es una actividad extendida en países del primer mundo, con el objetivo fundamental de disponer en forma eficiente los residuos producidos por las comunidades, minimizando así la contaminación ambiental asociada a su inadecuado manejo y disposición (Castellón Zelaya y Rivera Madriz, 2015). En este sentido, en el mundo se continúa estudiando el potencial de valoración energética directa de los RSU, y la optimización del aprovechamiento energético de los mismos con miras a la inclusión de este sector energético en el plan de energías renovables (IDAE, Madrid 2011). Con esa finalidad se implementan diferentes tecnologías que permiten evaluar y comparar resultados.

En el plano local, la población del municipio de Tafí Viejo, Tucumán, alcanza los 56.407 habitantes (censo Nacional 2010) y según actualización Municipal, para el año 2019, la población ascendió a 90.000 habitantes. Si consideramos una producción de RSU de 0,73 Kg hab./día (Cámara Argentina de la Construcción, 2010), se generan 65.700 Kg/día de residuos sólidos urbanos, de los cuales el

48,62% corresponde a materia orgánica (CPM GIRSU, 2015- 2016) y un 51,38 % de los residuos es materia inorgánica siendo un 50 % factible de ser reciclada (Informe provisto por el Municipio de Tafí Viejo, 2018). La materia inorgánica no reciclada y la materia orgánica se trasladan a la planta de disposición final de Overo Pozo, donde se disponen todos los RSU del Gran San Miguel de Tucumán gestionados por el Consorcio Público Metropolitano (CPM).

Los datos de esta pequeña población nos alertan sobre la dimensión del problema de gestión de residuos y la posibilidad del aprovechamiento energético de los gases (producto de la descomposición anaeróbica de los RSU) aplicable a la fracción orgánica y remanentes inorgánicos no reciclables.

La tarea de gestión también implica determinar las características energéticas del biogás producido por un vertedero que dependerán del manejo de los RSU. Por lo tanto, es posible intervenir en las distintas etapas de la disposición de los residuos, desde el traslado hasta el vertido, con la finalidad de optimizar los rendimientos energéticos del biogás (García et al, 2011). Una forma de optimizar la gestión de los residuos es mediante el empleo de modelos matemáticos (IPCC, Modelo Mexicano, EPA) y la aplicación de tecnología de software, como el programa informático GENBIVER (Modelo de Producción de Biogás para Vertederos de RSU). Aplicando estas herramientas se pueden determinar: el volumen teórico de biogás que produce la degradación anaerobia, el volumen anual de biogás del vertedero (desde su inauguración hasta su clausura), la producción teórica de metano y la energía que puede generarse.

La transformación de la materia orgánica en biogás varía en cantidad y calidad según: el tipo de residuo y la diversidad de degradabilidad biológica; el funcionamiento del vertedero como digestor anaerobio y las condiciones climáticas del sitio de emplazamiento (Panesso et al, 2011; Weihz, 2011).

Mediante una tecnología adecuada, podría emplearse los RSU para el abastecimiento de energía térmica y eléctrica de la planta de disposición de residuos y generar excedentes de energía eléctrica para la red nacional.

Si analizamos en este contexto que Tucumán en 2014 generó 6.158.738 MWh de energía eléctrica, de los cuales sólo un 2,6% (160.932 MWh) fueron a

partir de energías renovables, siendo la mayor parte obtenida a partir de gas natural (Informe IDEP, 2017). El objetivo fijado por la Ley Nacional N° 27.191 del año 2015 es lograr una contribución de las fuentes de energía renovables de 20% del consumo de energía eléctrica nacional en el año 2025, nos damos cuenta que representa un reto importante para la provincia.

En base a lo expuesto, el aprovechamiento de los RSU como biomasa para la producción de energía podría contribuir a disminuir el consumo de energía convencional, reducir el impacto ambiental de la disposición de los residuos y lograr un proceso más sustentable, disminuyendo costos de producción y generando beneficios económicos a la región, nos propusimos los siguientes objetivos para el desarrollo de este trabajo:

## 1.2 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo fue determinar la capacidad energética de los RSU dispuestos en un vertedero controlado en el municipio de Tafí Viejo con la finalidad de generar energía eléctrica, considerando tecnologías aplicables en las distintas etapas de la gestión de los RSU.

## 1.3 Objetivos específicos.

- Realizar un diagnóstico preliminar de la gestión de residuos sólidos urbanos para el Municipio de Tafí Viejo, a fin de poder evaluar mediante el uso de modelos matemáticos predictivos y software de aplicación, la cantidad y calidad de biogás que puede ser producido por los RSU dispuestos en un vertedero controlado.
- Realizar una modelización utilizando un modelo matemático “Landfill Gas Emisión Model” (LandGEM, versión 3.02) o similar, para la obtención de resultados teóricos de producción de biogás y con ello la generación de energía.
- Evaluar a partir de bibliografía, la disponibilidad de tecnologías aplicables en vertederos controlados de RSU para la optimización del potencial energético del biogás producido en el proceso de biometanización. Considerando las distintas

etapas de manejo de los RSU desde la recolección, separación, transporte y disposición, como también tecnologías apropiadas para la captación transporte y almacenamiento del biogás.

- Diagramar una propuesta del proceso que involucre todas las etapas desde el vertido de los RSU hasta la generación de energía eléctrica.
- Realizar una evaluación ambiental para determinar la potencial reducción de gases de efecto invernadero con el proceso.
- Valorar el aporte energético de los RSU a la eficiencia energética de las urbanizaciones, en este caso, mediante la disposición en vertederos controlados.

#### 1.4 Justificación.

Para lograr mejoras en el manejo de RSU, se requiere de voluntad por parte de los gobiernos, fuertes inversiones para la realización de estudios y el desarrollo de proyectos de ingeniería, y educación continua de la ciudadanía en el tema del aprovechamiento de los residuos. (Sáez, et al. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe 2014).

Con el objetivo de disminuir el consumo de energía tradicional, diversificar la matriz energética argentina y disminuir el impacto ambiental, se realizan estudios a nivel nacional y regional relacionados con la producción de energías provenientes de fuentes renovables.

La producción de biogás a partir de diversas corrientes de residuos y su conversión en biometano están siendo ya comercializadas a pequeña escala para múltiples aplicaciones, entre ellas, el transporte en pequeñas redes en Suecia, y la generación de calor y energía eléctrica en varios países nórdicos y europeos. Un factor clave es la combinación de las corrientes de residuos, incluidos los residuos agrícolas. Es también necesario introducir mejoras y reducir costos (Informe IPCC 2013).

El biogás producido por los RSU de un vertedero es una opción importante que atiende la disminución de la contaminación ambiental y da valor al pasivo energético del metano, principal componente energético del biogás.

Es por ello, que el desarrollo de esta tesis contribuirá a la sustentabilidad de los proyectos relacionados al aprovechamiento energético de los RSU y a la efficientización energética de los desarrollos urbanísticos.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Fundamentación

Las tecnologías utilizadas para la valorización energética de los residuos son variadas en la actualidad, pudiendo diferenciarse los procesos de tecnologías de tratamiento térmico, como la incineración, gasificación, pirolisis o gasificación por plasma y procesos de tecnologías de tratamiento biológico, como biometanización o digestión anaerobia de la fracción orgánica con valorización del biogás obtenido.

Las tecnologías más probadas a nivel mundial son: la incineración, la coincineración y la digestión anaeróbica o biometanización para aplicaciones industriales, siendo éste último el proceso con mayor aceptación a nivel social.

En ese sentido, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía.

En la Argentina, se están desarrollando proyectos urbanísticos con el uso de energías alternativas, entre los que se incluyen el aprovechamiento energético de la biomasa por ejemplo el proyecto RENOVAR para el aprovechamiento de la biomasa en la provincia de Tucumán.

La ley Nacional Nº 26.190 y el decreto 562/09, a los que las provincias pueden adherir, fomentan el uso de energías renovables y establecen metas de aporte de energías renovables en el consumo de electricidad nacional.

Según el Estudio de estrategias y factibilidad de la gestión de los RSU para la República Argentina realizado por la cámara de la Construcción y publicado en 2015 (De Luca y Giorgi) se puede citar:

- Generación de electricidad a partir del biogás producidos por RSU en provincia de Buenos Aires. Este proyecto fue implementado por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE). Para realizar la desgasificación de cada uno de los módulos de

Relleno Sanitario dentro del mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de Kioto. Se utiliza el biogás, que entre sus componentes contiene, aproximadamente un 50% de gas Metano, como insumo para la producción de energía eléctrica. El CEAMSE posee dos centrales de generación de energía eléctrica utilizando como insumo para la producción el biogás generado en dos de los módulos de relleno. Las centrales se encuentran emplazadas en los partidos de San Martín y San Miguel de la provincia de Buenos Aires. La Central San Miguel, ubicada en el partido de San Miguel, Provincia de Buenos Aires, utiliza como insumo energético el biogás del módulo Norte IIIC. Esta planta tiene una capacidad instalada de 11,8 MW. El equipamiento de generación de energía eléctrica está constituido por 6 unidades impulsadas por motores alternativos de combustión interna alimentados con biogás proveniente del relleno sanitario que acciona los generadores eléctricos conectados a la red de 13.2 Kv de la empresa distribuidora de energía. La Central San Martín, ubicada en el partido de San Martín, Provincia de Buenos Aires, utiliza como insumo energético el biogás del módulo Norte IIIA. Esta planta tiene una capacidad instalada de 7,1 MW. En este caso el equipamiento de generación de energía eléctrica está constituido por 5 unidades impulsadas por motores alternativos de combustión interna alimentados con biogás proveniente del relleno sanitario (Módulo Norte III c), y al igual que en el caso anterior están vinculados eléctricamente a la red de 13.2 Kv de la empresa distribuidora.

- Proyecto “Regionalización del área Metropolitana Mendoza que incluye los Departamentos: Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Maipú, Luján y Luján de Cuyo. Proyecto incluido en la ficha de obras de gestión integral de residuos sólidos plan de inversiones 2015-2025. Informe cámara de la Construcción -2015 “Estudio de estrategia y factibilidad de la gestión deRSU para la República Argentina”. La gestión integral de los RSU de la Región Área Metropolitana Mendoza (AMM), comprende los siguientes departamentos: Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Maipú,

Lavalle y Lujan de Cuyo. Esta área tiene una población al 2015 de 1.080.218 habitantes (población estable y flotante). La PPC para el año 2015 es de 0,958 kg por habitante por día, resultando una generación total de 1077 toneladas diarias. El sistema de tratamiento propuesto es una planta de tratamiento mecánico biológico (TMB) con una planta de valorización térmica para la recuperación de energía eléctrica. El material bioestabilizado (de alto poder calorífico) y los rechazos serán enviados al sistema de valorización térmica.

- Proyecto Gestión Integral de RSU de Comodoro Rivadavia. Proyecto incluido en la ficha de obras de gestión integral de residuos sólidos plan de inversiones 2015-2025. Informe cámara de la Construcción-2015 “Estudio de estrategia y factibilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) para la República Argentina”. La gestión integral de los RSU de la Región Comodoro Rivadavia - Rada Tilly comprende la solución para una población al 2015 de 197,627 habitantes. La Producción Per Cápita PPC para el año 2015 es de 1,252 kg por habitante por día, resultando una generación total de 234 toneladas diarias. El sistema de tratamiento propuesto es una plantade TMB con valorización térmica para la recuperación de energía eléctrica y eventualmente calor.
- Proyecto de tratamiento de residuos orgánicos de la Federación de Cooperativas Federadas Limitadas (FECOFE) y la Cooperativa Eléctrica de Huinca Renancó (CEHR). Realizado por la FECOFE, asociada con la CEHR con el apoyo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Se trata de un proyecto localidad de Huinca Renancó (Departamento General Roca, provincia de Córdoba, Argentina). Su objetivo es el tratamiento de 1.449 ton/año dela fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) de 11 localidades (30.000-35.000 habitantes) del sur de la provincia de Córdoba pertenecientes a la Comunidad Regional de General Roca, 2.353 ton/año de desechos de

frigorífico bovino, 322 ton/año de residuos de frutas y verduras provenientes del mercado concentrador fruti-hortícola y la incorporación de silaje de sorgo silero o biomásico para producir energía eléctrica y biofertilizantes permitiendo revalorizar pasivos ambientales en activos económicos. La tecnología empleada es la digestión anaeróbica mediante la cual se van a generar unos 300 Kwh de energía eléctrica destinando a la red interconectada nacional unos 265 Kwh.

- Proyecto de separación y recuperación de Residuos Sólidos Urbanos inorgánicos ingresados al vertedero Municipal de Salta, en la provincia de Salta. El 06 Febrero 2008, mediante Ordenanza Ad-Referéndum N° 13277, dando continuidad al proyecto de Captura y Quema del Gas Metano del Relleno Sanitario que el Municipio de Salta lleva adelante en San Javier II, San Javier III , en el marco de los Mecanismos para un Desarrollo Limpio, el Municipio de Salta aprobó el Convenio celebrado entre la Municipalidad de la Ciudad de Salta y los Recuperadores de Residuos Sólidos Urbanos pertenecientes a los grupos denominados “San Benito I” y “San Benito II”, autorizando la Separación y Recuperación de los Residuos Sólidos Urbanos Inorgánicos ingresados al Vertedero Municipal. En el año 2017, se elevó un proyecto al banco interamericano de desarrollo, BID para el aprovechamiento energético del biogás recuperado. (G. Blanco et al, marzo 2017).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Análisis del contexto en el cual se encuentra inmerso el proyecto.

Se realizó un relevamiento de datos del sitio donde se va a desarrollar el proyecto: municipio correspondiente al área de estudio (ubicación, vías de accesos, actividad económica, clima, vientos, medio físico natural, hábitat natural, suelos, áreas protegidas, hidrología, etc.).

### 3.2 Estudio del manejo de los RSU en el municipio de Tafí Viejo.

Se realizó el relevamiento de datos correspondientes al Sistema de Gestión Integral de los RSU, como también de la ubicación y funcionamiento de la planta de reciclaje.

Para el análisis de la cantidad de RSU producido por habitante por día se tuvo en cuenta el cálculo de la PPC teniendo como base lo establecido en Planning Guidefor Municipal Solid Waste Management (MSWM) – World Bank (Step 2 – Defining the Baseline) donde, el cálculo de la producción per cápita individual (kg / Habitante x día) para cada punto muestreado según los estratos, previamente determinados y clasificados según uso de suelo y nivel socioeconómico, se realiza según las siguientes fórmulas:

$$PPCi = PDi / Pobi$$

Donde:

PPCi= Producción Diaria per Cápita por vivienda

PDi: Peso Promedio Diario de RSU por vivienda (Kg/día)

Pobi: Población promedio por vivienda

La Producción per Cápita media dentro de cada estrato (PPC<sub>n</sub>, Kg/ Hab. x día), se calculó según la siguiente fórmula:

$$\overline{PPC_n} = \sum_{i=1}^I PPC_i / n_i$$

Donde:

PPCi: Producción per Cápita de cada una de las áreas muestreadas en cada estrato (Kg/Hab. x día)

n<sub>i</sub> = N° de habitantes por vivienda identificado para cada estrato

La Media Total de Producción per Cápita (PPC, Kg/Hab. x día) se calculó con la siguiente fórmula:

$$PPC = \sum_{h=1}^H N_h \overline{PPC}_h$$

Donde:

$N_h$ : Porcentaje de participación de cada estrato, categorizado según Uso del Suelo (UDS) y Nivel Socioeconómico (NSE) dentro de la población total.

Se estimó la PPC por rango poblacional en el país, empleando la metodología de ponderación estadística de los datos de generación de cada una de las localidades en función de su población.

Para la estimación del GPC se consideró la tasa media de generación de residuos con destino final en el relleno sanitario de Overo Pozo y la población servida según censo 2010.

### 3.3 Determinación de la cantidad de RSU destinado como biomasa para generación de biogás

Para la determinación de la cantidad de RSU destinado como biomasa para la generación de energía se determinó el volumen total de RSU generados y el porcentaje destinado a reciclaje en el CIAT.

### 3.4 Caracterización de los RSU

Para la caracterización primeramente se realizó entrevistas a directivos de CIAT se obtuvo información sobre caracterizaciones realizadas por el CPM en años anteriores.

Para conocer la variación porcentual en la composición del RSU en el radio servido por la municipalidad de Tafí Viejo se realizó un muestreo y caracterización,

Para el muestreo se tuvo en cuenta lo siguiente:

- a) Se recogieron 12 bolsas de residuo domiciliario elegidas al azar en vivienda familiares, no se tuvieron consideraciones particulares sobre la elección ya que no se pensó en segmentar la población en uso de suelo o nivel socioeconómico.
- b) Las bolsas recolectadas fueron llevadas a laboratorio de EEAOC, en un espacio previamente dispuesto para la separación y posterior pesaje de los componentes de la muestra.
- c) Para realizar el pesaje se utilizó una balanza calibrada de hasta 2 kg de capacidad.
- d) Se pesó cada bolsa llena, luego se volcó el contenido de cada bolsa en un sector identificado para cada muestra.
- e) De cada muestra (contenido en bolsas) se separaron los componentes y se pesaron por separado.

### 3.5 Análisis de la calidad de RSU

Se realizaron estudios mediante análisis normalizados, que permitieron determinar la calidad del RSU en relación a su potencial energético. A partir de las muestras se determinaron los siguientes parámetros:

- Contenidos de humedad (% W) - ASTM D 5142-02 modificada (ASTM, 2002): las muestras se secaron en una estufa eléctrica (marca ORL) con circulación de aire forzada, regulada a la temperatura de 105°C hasta peso constante, durante ocho horas, basado en las normas ASTM D 5142-02 modificada (ASTM, 2002). (Equipamiento para estudio proporcionado por EEAOC).

Posteriormente se realizó la trituración de las muestras en un molino del tipo fresa, (marca Fritcher), hasta alcanzar una granulometría adecuada (aproximadamente 1mm).

- Poder calorífico superior (PCS) determinado para cada componente de la muestra de RSU: según ASTM D 2015-96 (ASTM, 1996), por medio de bomba calorimétrica automatizada, (marca IKA), modelo C5000 en operación adiabática (Equipamiento para estudio proporcionado por EEAOC).

A partir del valor del PCS se determinó el valor de Poder calorífico inferior (PCI): La ecuación utilizada se basa en la expresión de la norma UNE 164.001 (Posluszny, 2012).

Ecuación

$$\text{PCI (b.h.)} = [\text{PCS (b.s.)} \times 1000 \times (1-W) - 11,27 \times W \times 100 - 1322] / 1000$$

Donde:

PCI: Poder calorífico inferior de cada componente de RSU a la humedad W (b.h) [MJ/Kg].

PCS: Poder calorífico superior del componente de RSU a W = 0[%], en [MJ/Kg].

W: Humedad definitiva de utilización de los RSU, [%].

- Contenidos de cenizas (% Cz), sólidos volátiles (%SV) y carbono fijo (%CF): se utilizó un equipo analizador termo gravimétrico (TGA), marca LECO, modelo TGA 701. Esta metodología sigue el procedimiento de la norma ASTM D 5142-02 modificada (ASTM, 2002). (Equipamiento de la EEAOC).
- Contenidos de cloro total (% Cl), siguiendo la metodología propuesta en la norma ASTM E 776-87 modificada (ASTM, 1987). (Equipamiento de la EEAOC).
- Contenidos de azufre total (% S): siguiendo la metodología indicada en la norma ASTM D 3177 modificada (ASTM, 2002). (Equipamiento EEAOC).

### 3.6 Poder calorífico del Biogás

El PCI del biogás a partir de los RSU, y sólo considerando el PCI de metano, se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\text{PCI biogás} = \% \text{CH}_4 * \text{PCI CH}_4$$

Donde:

$$\% \text{CH}_4 = 60 \%$$

$$\text{PCI CH}_4 = 11.973 \text{ Kcal/ Kg}$$

### 3.7 Cálculo del biogás producido en un vertedero

Muchos métodos fueron estudiados para poder proyectar el potencial de generación de biogás desde los RSU. Podemos citar entre otros:<sup>1</sup>

- Modelo de Scholl Canyon o LandGem simplificado
- LandGem (v.3.02) - EPA E.E.U.U.
- Modelo Mexicano de Biogás, 2.0 - EPA.
- GasSim (UK) Modelo MDL-UNFCCC (Herramienta para determinar las emisiones de metano evitadas en CDF RS).

#### 3.7.1 Modelo de Scholl Canyon o LandGem simplificado.

Es una ecuación exponencial de decaimiento de primer orden que está aceptada en la industria de generación de biogás. Se basa en que la tasa de generación de gas en un instante determinado es función de la masa disponible de residuos (M), el potencial de generación de gas (L0), la tasa de generación de gas (k) y la edad de los residuos. Este modelo ignora las tres primeras etapas de la actividad bacteriana y se basa simplemente en las características observadas del crecimiento de las bacterias en los sustratos.

Los parámetros del modelo son determinados empíricamente por medio de la correlación de datos de campo con mediciones en la variación de la humedad y otras condiciones dentro del vertedero.

Se asume que la producción de gas encuentra su máximo justo después de su emplazamiento, considerando un determinado tiempo de retraso en el cual se considera que se establecen las condiciones anaeróbicas, y luego la producción decrece exponencialmente, dado que el contenido de materia orgánica en el residuo es consumido.

---

<sup>1</sup> El modelo más aceptado por IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change), es el LandGEM (v.3.02) - EPA E.E.U.U.

Para evaluar de generación de metano y de biogás total, se consideraron las cantidades promedio anuales de disposición de residuos, junto con otros parámetros tales como la constante de velocidad de generación de metano  $k$  y el potencial de generación de metano  $L_0$ . Se asume que la composición del gas en volumen es de 50% metano y 50% dióxido de carbono (Sharma y Reddy, 2004; USEPA 2005).

La ecuación considerada fue:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n kL_0M_i e^{-kt_i}$$

Donde:

$Q_{CH_4} [m^3/Tn]$  = Generación anual de metano en el año de cálculo  $n$ .

$i$  = incremento de un año

$n$  = año de cálculo

$k$  [años<sup>-1</sup>] = coeficiente de velocidad de generación de metano (Tabla 1)

$L_0 [m^3/Tn]$  = Potencial de generación de metano.

$M_i [Tn]$  = Masas de residuos aceptada en el año  $i$ -ésimo.

$t$ [años] = Edad de la masa de residuos aceptada en el  $i$ -ésimo año.

**Tabla 1.** Indicador de  $K$  y  $L_0$  según precipitación anual.

Precipitación anual (mm/año)	$K(año^{-1})$	$L_0(m^3/ton)$
0-249	0,040	60
250-499	0,050	80
500-999	0,065	84
$\geq 1000$	0,080	84

Fuente García Funes, 2003

Para el caso de la generación total de biogás, la ecuación sufre una ligera modificación teniendo en cuenta que la cantidad de biogás total se asume que es el doble de la cantidad de metano generado.

$$Q = 2 \sum_{i=1}^n kL_0 M_i e^{-kt_i}$$

Donde:

$Q$  [m<sup>3</sup>/año] = Cantidad total de biogás generado.

Existen dos variantes de este modelo a aplicar, las cuales son el modelo LandGEM (Landfill Gas Emisión Model) y el modelo de British Columbia.

### 3.7.2 Modelo LandGEM (Landfill Gas Emisión Model) v. 3.02.

El modelo LandGEM es un programa desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Está basado en la ecuación de Scholl-Canyon, con la particularidad de que la masa de residuos aceptada en el año  $i$ -ésimo es dividida en submasas con el objetivo de lograr un mayor refinamiento del modelo, diferenciándose del modelo de Scholl-Canyon en que este integra la producción de gas anualmente, en tanto que la última versión del modelo LandGEM v 3.02 integra la generación de metano en incrementos de un décimo de año. La ecuación se transforma entonces en:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}}$$

Donde:

$Q_{CH_4}$  [m<sup>3</sup>/año] = Generación anual de metano en el año de cálculo  $n$ .

$i$  = incremento de un año

$n$  = año de cálculo

$j$  = incremento de 0,1 años

$k$  [años<sup>-1</sup>] = coeficiente de velocidad de generación de metano

$L_0$  [m<sup>3</sup>/Tn] = Potencial de generación de metano

$M_i$  [Tn] = Masas de residuos aceptada en el año  $i$ -ésimo

$t_{ij}$  [años] = Edad de la  $j$ -ésima sección de la masa de residuos aceptada en el  $i$ -ésimo año (expresado en decimales. Ej.: 3,2 años)

Este modelo también asume que la composición del gas en volumen por 50% metano y 50% dióxido de carbono. Teniendo en cuenta esto, el volumen de biogás total será el doble del calculado mediante la ecuación anterior.

Según Amini et al. (2011) el modelo es relativamente insensible a la variación de los parámetros  $k$  y  $L_0$ . Para mejorar la sensibilidad del modelo, es necesario incluir la adición otros parámetros o utilizar un modelo de mayor orden. Sin embargo, estos cambios podrían comprometer una de las principales ventajas de este modelo, su simplicidad (Amini et al, 2011).

La mayoría de los modelos tienden a sobreestimar la generación de biogás, sin embargo, se ha registrado que el modelo LandGEM tiende a subestimar dichas emisiones (Thompson et al, 2009; Amini et al, 2011; Ogor y Guerbois, 2005 en Amini et al, 2011)

Esto puede considerarse como comportamiento conservador del modelo desde el punto de vista del aprovechamiento del biogás frente a las incertidumbres asociadas a los procesos físicos, químicos y biológicos de la generación de biogás.

Otra modificación de LanGem considera la siguiente ecuación donde se estima la generación máxima de metano teniendo en cuenta los años posteriores al cierre. La ecuación quedaría.

$$Q_{mT} = F k L_0 \sum_i^n M_i e^{-k(T-i)}$$

Donde:

$Q_{mT}$  = Generación máx. de CH<sub>4</sub> en el año  $T$  [m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/año].

$F$  = fracción de metano en el biogás [%].

k = constante de generación de metano [año<sup>-1</sup>]. Depende de factores medio ambientales (humedad, pH, temperatura)

L<sub>0</sub> = potencial de generación de metano [m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ton]. Depende de contenido orgánico de la basura y de la humedad

M<sub>i</sub> = masa de residuo dispuesto en el año de inicio de funcionamiento de vertedero [ton].

T= año de estudio (varía desde el año de inicio de funcionamiento, hasta año de clausura)

T= años después de clausura.

i= años desde la apertura hasta el año de estudio.

Los valores típicos de K y L<sub>0</sub> fueron obtenidos de datos de rellenos sanitarios. Estos valores fueron determinados con modelos teóricos y datos de campo (Tabla 10).

Estos valores resultan apropiados para el cálculo de emisiones durante la vida útil del relleno se utilizan datos de entrada específicos (Panesso, A.F. et al., 2011)

Se asume que la producción de metano depende sólo de la cantidad de RSU depositado y que el metano generado para el año T (año de estudio) es el resultado de los RSU depositados en el año i mas la generación de metano acumulado por los RSU depositados en los años anteriores al de estudio.

### 3.7.3 Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0.

El modelo provee automáticamente valores para índice de generación de metano (k) y el potencial de generación de metano L<sub>0</sub> (SCS Engineers 2009). Estos pueden ser modificados de acuerdo a las características *in situ*.

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}})(MCF)(F)$$

Donde:

$Q_{CH_4}$  = es el caudal de metano máx. estimado

En estos modelos pueden tomarse valores preestablecidos de K y  $L_0$ , pero también pueden calcularse según las características particulares de sitio y residuos.

Se han asignado valores de k para cuatro categorías de degradación:

- 1- degradación de residuos muy rápida (DRR),
- 2- degradación de residuos moderadamente rápida (DRMR),
- 3- degradación de residuos moderadamente lenta (DRML), y
- 4- degradación de residuos muy lenta (DRL),

Se puede asimilar en cantidad de lluvia a la zona centro interior con precipitaciones entre 750- 1000 mm, con características climáticas similares y considerando la degradación del residuo DRMR (moderadamente rápida ya que, se consideran orgánicos y rechazos de residuo reciclable de cartón, papel en gran porcentaje. Tablas 2 y 3

**Tabla 2.** Valores de K según categoría de degradación y precipitación anual.

Categoría de residuo	Valores el índice de generación de metano (k)				
	Sureste	Oeste	Centro/interior	Noroeste	Noroeste e Interior Norte
DRR	0.300	0.220	0.160	0.150	0.100
DRMR	0.130	0.100	0.075	0.070	0.050
DRML	0.050	0.040	0.032	0.030	0.020
DRL	0.025	0.020	0.016	0.015	0.010

Fuente: SCS Engineers (2009)

**Tabla 3.** Valores de  $L_0$  según categoría de degradación y precipitación anual.

Categoría de residuo	Valores el índice de generación de metano ( $L_0$ )				
	Sureste	Oeste	Centro/interior	Noroeste	Noroeste e Interior Norte
DRR	69	69	69	69	69
DRMR	115	126	138	138	149
DRML	214	214	214	214	214
DRL	202	202	202	202	202

Fuente: SCS Engineers (2009)

Dónde  $L_0$ , es el potencial de generación y se calcula con la siguiente ecuación.

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

Donde:

MCF, es el factor de corrección para el metano.

DOC, es el carbono orgánico degradable (fracción).

DOCF, es la fracción de carbono orgánico degradable asimilado.

F, es la fracción de  $CH_4$  en el biogás.

16/12 es la constante estequiométrica.

**MCF** es un ajuste de la estimación de la generación de biogás que toma en cuenta el grado de degradación anaeróbica de los residuos. Su valor depende de la profundidad del vertedero y el tipo de prácticas de manejo. La Tabla 4 resume los valores de MCF aplicados por el modelo (IPCC 2006; Kumar et al. 2004a; IIE 2007; SCS Engineers 2009).

**Tabla 4.** Factor de corrección de metano.

Manejo de sitio	Factor de corrección de metano (MCF)	
	Profundidad < 5m	Profundidad ≥ 5m
Sin manejo	0,4	0,8
Con Manejo	0,8	1
Semiaeróbico	0,4	0,5
Condición desconocida	0,4	0,8

Fuente; IIE (2007), IPCC (2006), Kumar et al. (2004a), SCS Engineers (2009)

**DOC.** Su valor depende de la composición de los residuos (Kumar et al. 2004a; IPCC2006).

DOC= 15% Restos de comida + 40% base húmeda de papel y cartón + 24% base húmeda. Textiles

**DOCF.** Esta es una porción de DOC que es convertida en biogás y su estimación es basada en el modelo teórico que varía solo con la temperatura en la zona anaerobia (IPCC 2002, Kumar et al. 2004a). El valor predeterminado utilizado por la IPCC es de 0,77. No obstante, este factor puede variar de 0,42 para 10°C a 0,98 para 50°C. De hecho, en muchos rellenos profundos (>20 m) las temperaturas que se han registrado son mayores a 50°C, condiciones claramente anaerobias (IPCC 2002).

### 3.8 Potencia disponible y energía eléctrica producida.

Para la determinación de la potencia disponible se utilizó la siguiente ecuación que relaciona la valoración energética del biogás el PCI del biogás y el rendimiento térmico. (Blanco, G.; et al. 2017)

Potencia disponible [kW] =  $\eta$  t \* PCI biogás \* Q biogás

Donde:

$\eta$  t: rendimiento térmico de la generación eléctrica. Asume valores de 25, 35, y 40% para los escenarios bajo, medio, y alto, respectivamente

PCI biogás: poder calorífico inferior del biogás: se asume 5 kwh/m<sup>3</sup>

Q biogás: caudal de biogás capturado, escenarios bajo, medio, y alto (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/hora)

- Potencia disponible escenario bajo= 25%\* 5 kwh/m<sup>3</sup>\* QCH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/ hora
- Potencia disponible escenario medio = 35%\* 5 kwh/m<sup>3</sup>\* QCH<sub>4</sub>m<sup>3</sup>/hora
- Potencia disponible= 40%\* 5 kwh/m<sup>3</sup>\* Q CH<sub>4</sub>m<sup>3</sup>/hora

Se realizó el cálculo para un escenario medio con un rendimiento térmico para la generación eléctrica de 35% y para una captación del 100%.

La energía eléctrica a generar se estimó en función de la potencia disponible y un factor de disponibilidad de 85 % por mantenimiento.

### 3.9 Diagrama de la Propuesta

Para realizar el diagrama de a propuesta para la empresa se realizaron las siguientes actividades:

- Diseñar los vertederos teniendo en cuentas condiciones del/os lugar/es donde se instalarán los vertederos. Se tuvo en cuenta las instalaciones básicas necesarias para su funcionamiento.
- Desarrollar operaciones para la instalación de un vertedero: sistema integral de captación, conducción y tratamiento del biogás.
- Estudiar alternativas de ubicación para el vertedero.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Análisis del contexto en el cual se encuentra inmerso el proyecto.

#### 4.1.1 Departamento Tafí Viejo

El área de estudio comprendió el departamento Tafí Viejo, al norte de la ciudad de San Miguel de Tucumán. El departamento Tafí Viejo fue creado en el año 1907 por la reforma de la constitución provincial, y lo dividió del antiguo departamento Tafí (Figura 1). Cuenta con una superficie total de 13 km<sup>2</sup>, limita: al Norte con el departamento Trancas; al Este con los de Burruyacú y Cruz Alta; al Sur con Capital, Yerba Buena y Lules, y al Oeste con el de Tafí del Valle.

Este departamento está organizado en municipios y comunas. Posee dos municipios: Tafí Viejo y Las Talitas (que creció como una continuación de la ciudad capital hacia el norte). Las comunas comprenden a Ancajuli, El Cadillal, La Esperanza, Los Nogales, Los Pocitos y Raco.

La ciudad cabecera es Tafí Viejo, situada unos 16 km al norte de San Miguel de Tucumán.



Figura 1. Croquis de ubicación del departamento Tafí Viejo

Fuente: Servicio WFS de dirección de Catastro e ING, Dirección de Tecnologías de la Información, Secretaría de Estado de Gestión pública y Planeamiento. Gob. de Tucumán. - 14 de marzo de 2018.

#### 4.1.2 Municipio de Tafí Viejo

La ciudad de Tafí viejo se encuentra a 16 kilómetros de San Miguel de Tucumán, es la mayor región productora y exportadora de cítricos del mundo. La centralidad en este municipio tiene como característica principal una estructura espacial urbana generada en torno del polígono de los Talleres Ferroviarios – de una superficie de alrededor de treinta hectáreas – y la vía del ferrocarril. Estos elementos fueron importantes en la consolidación de la ciudad que a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de las ciudades argentinas, el centro comercial e institucional de la ciudad no está alrededor de la plaza principal, sino a lo largo de la Avenida Leandro N. Alem, reflejo de la vida social de la localidad. Hoy los talleres están cerrados y en la sede de su administración funciona la Municipalidad. Otras arterias importantes son Avenida Roca, Camino del Perú y la Diagonal Raúl Lechesi (Diagonal a Tafí Viejo) que conecta esta localidad con la ciudad capital de la provincia. Hoy busca reconvertirse, como centro productor de limón. Además, es una ciudad con un gran potencial turístico, deportivo, eco- deportivo y centro administrativo del departamento homónimo de pretendida producción agropecuaria variada (Figura 2).

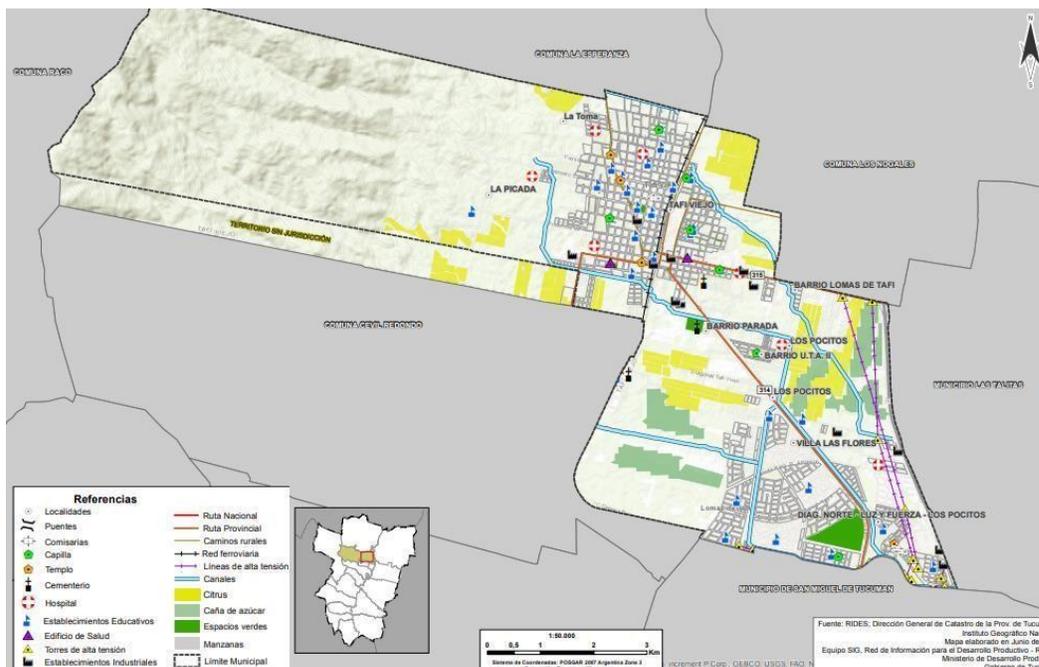


Figura 2. Límites del municipio. Sectores y servicios.

Fuente: <http://rides.producciontucuman.gov.ar/>

#### 4.1.3 Tafí Viejo en el Gran San Miguel de Tucumán

El Municipio de Tafí Viejo forma parte del conglomerado urbano Gran San Miguel de Tucumán, GSMT. Su conformación puede observarse en Figura 3. El proceso de metropolización del GSMT fue heterogéneo, paulatino, la población de la provincia se redistribuyó territorialmente generando un desequilibrio por la importancia proporcional de la población del GSMT en la provincia.

Las necesidades y requerimientos en infraestructura fueron en aumento debido al crecimiento poblacional, la calidad y cantidad de los servicios se vieron afectados como también las condiciones ambientales. En relación al área comprendida entre ciudad capital y Tafí Viejo, la trama urbana sufrió una importante intervención con el gran emprendimiento Lomas de Tafí.

Actualmente, hay una incidencia visible en el crecimiento poblacional debido a la construcción de varios barrios principalmente en los accesos a la ciudad de Tafí Viejo desde la ciudad capital (Diagonal Tafí Viejo, ruta N° 314; ruta Nacional 9 y Camino del Perú). La tendencia en el proceso de urbanización en el sector del conglomerado Tafí Viejo – San Miguel de Tucumán, reside en el cambio de áreas agrícolas en áreas residenciales (Ortiz de D´arterio et al. 2009).

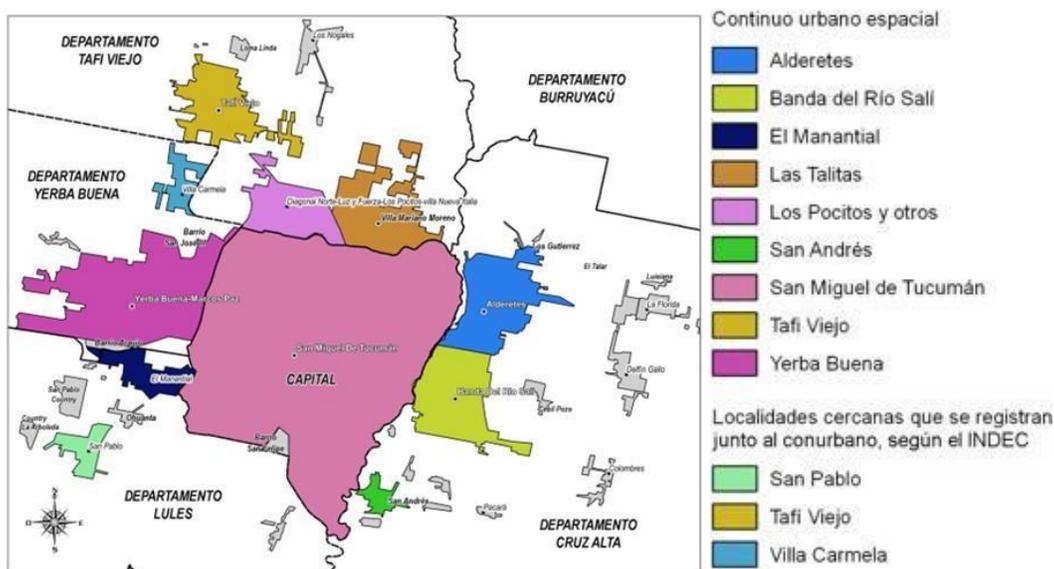


Figura 3. Conglomerado del Gran San Miguel de Tucumán

Fuente: Servicio WFS de dirección de Catastro e ING, Dirección de Tecnologías de la Información, mapa elaborado por el equipo SIG de la Secretaría de Estado de Gestión pública y Planeamiento. Gov. de Tucumán. - 14 de marzo de 2018.

#### 4.1.4 Vías de acceso

Las principales vías de acceso al departamento Tafi Viejo y a la ciudad homónima desde la ciudad capital son:

- Ruta Provincial N° 314, también conocida como “Diagonal a Tafi Viejo”
- Ruta Provincial N° 315 (Camino del Perú) y Ruta Nacional N° 9 (Figura 4).



Figura 4. Redes de vías de vinculación entre San Miguel de Tucumán y Tafi Viejo.

#### 4.1.5 Actividad económica.

Actualmente, la actividad económica del departamento, no tiene sus bases en las actividades relacionadas a los talleres ferroviarios sino en la producción de cítricos, en especial del limón. Se desarrollaron plantas cítricas de avanzada tecnología y se instalaron también varias empacadoras al norte y este de la ciudad de Tafi Viejo, además se debe agregar el fuerte desarrollo agropecuario, la actividad minera artesanal y a escala industrial (cavas y taludes) para producir ladrillos (Figura 5).

Se desarrollaron otras actividades, como la industria del plástico, la mecanización agraria y una paulatina reconversión del uso del suelo, con

plantaciones de cítricos y otros cultivos no tradicionales y las industrias metalúrgicas generadas en torno a los antiguos talleres ferroviarios de Tafi Viejo, lentamente han modificado y continúan haciéndolo, la organización del espacio.

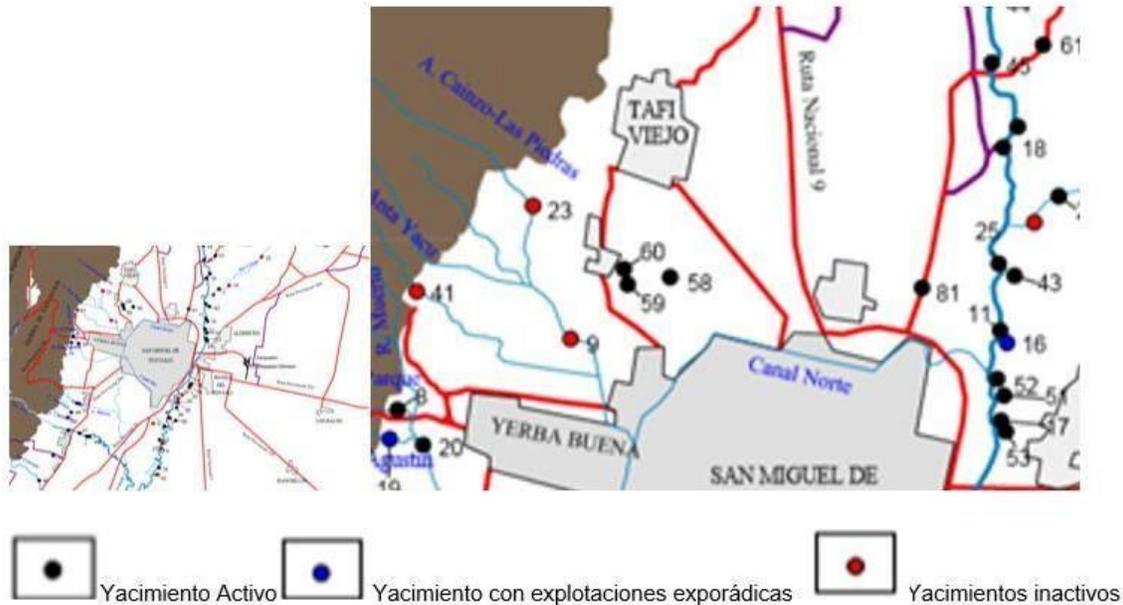


Figura 5. Yacimientos activos y no activos en el departamento Tafi Viejo

AUTORES: María E. Viruel, Diego S. Fernández y Julio Plano

#### 4.1.6 Clima.

El clima de esta región está caracterizado como subtropical con estación seca. Según Koppen (1901) pertenece al tipo Cwah, es decir clima templado, cálido, húmedo con veranos cálidos e inviernos secos (Figura 6).

Las precipitaciones varían en: menos de 600 mm en las llanuras del este y en el Valle de Trancas, casi 1000 mm en promedio donde se encuentran las principales ciudades, 2000 mm inmediatamente al pie y en las primeras estribaciones de las montañas más altas, 400 mm o menos por arriba de los 2000 m de altura y entre 100 y 200 mm en el Valle Calchaquí, rodeado de altas cadenas montañosas.

Entre los meses de octubre a marzo se registran abundantes lluvias, que sobrepasan los 1000 mm anuales. Posee un régimen pluvial de tipo monzónico, torrencial y estacional. Tucumán presenta una marcada estacionalidad hídrica. Durante los meses de verano se registran más del 90% de las lluvias anuales. Desde la distribución de clima en la República Argentina (Figura 6) podemos observar la pertenencia climática de la provincia y de Tafi Viejo.



Figura 6. Distribución del clima en Tucumán

Fuente: <https://www.geografiainfinita.com/2019/03/el-clima-de-argentina-a-traves-de-los-mapas/>

La provincia de Tucumán, el departamento Tafi Viejo y la ciudad de Tafi Viejo - con nomenclador 2 - Cwah - corresponde Subtropical con estación (invierno) seca (verano cálido).

La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C (Figura 7). Este clima es una variación del pampeano y se da en regiones alejadas del mar que no reciben tantas precipitaciones por lo que la estación menos lluviosa es bastante seca, la estación lluviosa es más cálida.

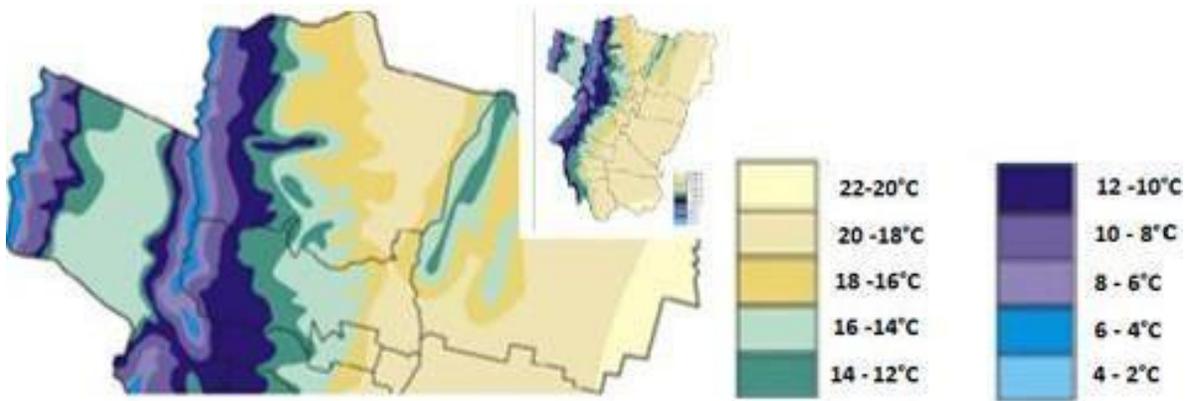


Figura 7. Temperaturas medias anuales en la provincia de Tucumán

Fuente: [http://www.mecontuc.gov.ar/dpv/descargas/audiencia/rp\\_314/EIA\\_CAP4a.pdf](http://www.mecontuc.gov.ar/dpv/descargas/audiencia/rp_314/EIA_CAP4a.pdf),

En el departamento Tafí, el volumen de las precipitaciones pluviales se caracteriza por tener mayores volúmenes en las cumbres de las sierras de San Javier, con 1.500 mm anuales. Desde aquí decrece en forma brusca y concéntrica hasta llegar a los 1.000 mm anuales en Tafí Viejo, al pie de la serranía (Figuras 8 y 9).

Las temperaturas oscilan entre una media de 25 °C para el verano, y de 12 °C para el invierno. Las condiciones climáticas antes mencionadas y las características morfológicas posibilitan el desarrollo agrícola de la zona.

La elevada intensidad de las lluvias constituye un factor de riesgo ya que producen severos procesos de erosión y crecientes que afectan a Tafí Viejo, Yerba Buena y San Miguel de Tucumán.

Históricamente, Tafí Viejo registra en la época estival problemas de inundaciones y aluviones, provenientes de los numerosos cursos de agua que descienden desde la sierra de San Javier ubicada al oeste de la ciudad mencionada. Como consecuencia causan cuantiosos daños económicos en barrios, calles y rutas de acceso a esta ciudad (Moreno 1974). El registro pluviométrico oscila entre los 900 y 1000 mm (en la cumbre de la sierra mencionada puede llegar a 1200 - 1500 mm) anuales Halloy *et al.* (1994).

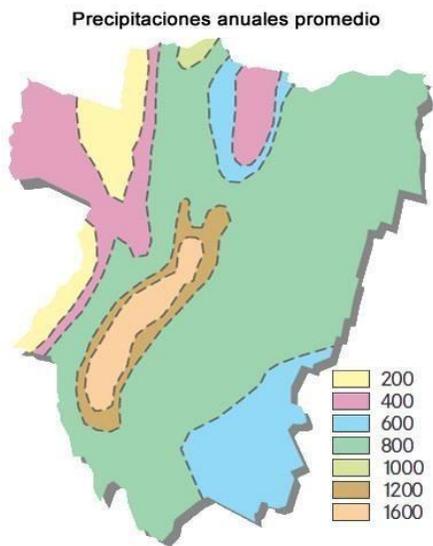


Figura 8. Precipitaciones anuales promedio en la provincia de Tucumán

**MAPA DE ISOHIETAS**

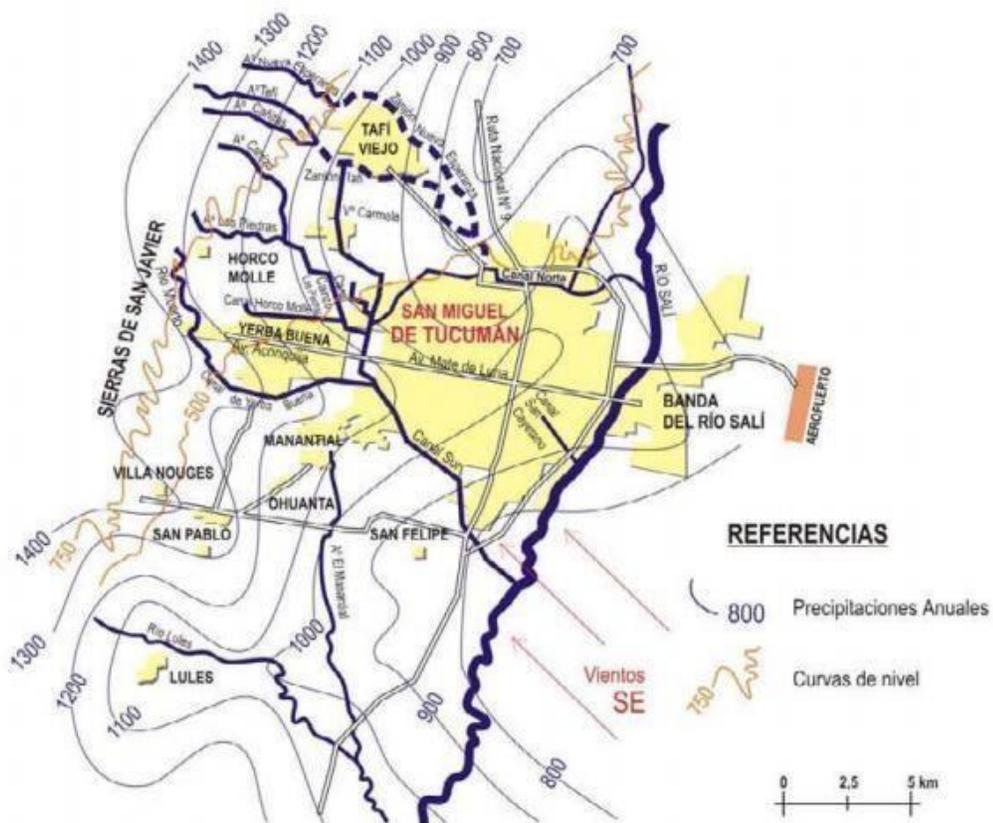


Figura 9. Mapa de Isohietas en Gran San Miguel de Tucumán

Fuente: (Págweb: [http://www.mecontuc.gov.ar/dpv/descargas/audiencia/rp\\_314/EIA\\_CAP4a.pdf](http://www.mecontuc.gov.ar/dpv/descargas/audiencia/rp_314/EIA_CAP4a.pdf))

#### 4.1.7 Vientos.

Las condiciones de viento dependen en gran medida de la topografía local; la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora (Figura 10). Las masas de aire provenientes del Océano Atlántico son cálidas y húmedas. En Tafí Viejo predominan los vientos del sector Suroeste sobre los del Sur y del Norte.

Los vientos del Sur son generalmente débiles pero continuos y se manifiestan como una lenta corriente de aire fresco. En la zona llana hacia el Este, los vientos predominantes son los que soplan del Noreste, éstos son cálidos y húmedos.

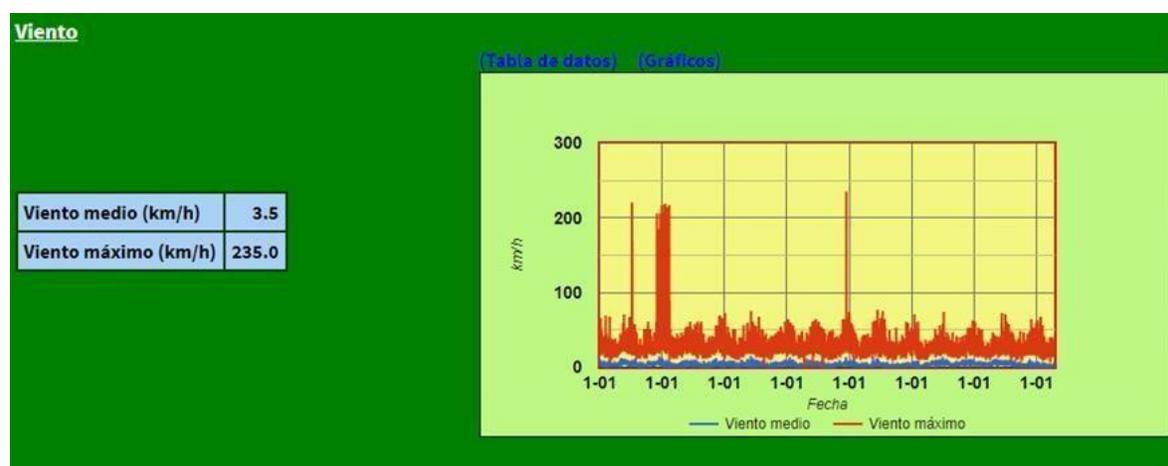


Figura 10. Valores máximo y promedio de velocidad de viento. Eje San Miguel de Tucumán – Tafí Viejo.

Fuente <https://agromet.eeaoc.gob.ar/graficos>.

En la Tabla 5 se muestra los parámetros climáticos de manera resumida que identifican el área de estudio.

**Tabla 5.** Parámetros climáticos para la región de Tafí Viejo. Cuadro resumen.

	Media anual	Máxima	Mínima	Observaciones
<b>Precipitaciones</b>	1000-1200 mm			
<b>Temperatura</b>	20°C	30°C en diciembre-enero	6,4°C en Julio	
<b>Vientos</b>	3,5 Km/h			Predominan los vientos del sector Suroeste sobre los del sur y del Norte

Fuente: elaboración propia basado en datos oficiales entes públicos y privados.

#### 4.1.8 Medio físico natural.

La fisiografía de la zona de estudio participa de las unidades principales

- Sierras pampeanas
- Sierras subandinas
- Llanuras chaqueñas

Se observan grandes contrastes que condicionan el desarrollo de la actividad humana; en pocos kilómetros de Este a Oeste se pasa de cumbres con 1.880 msnm hasta una región de llanura con 550 msnm. (Figura 11).

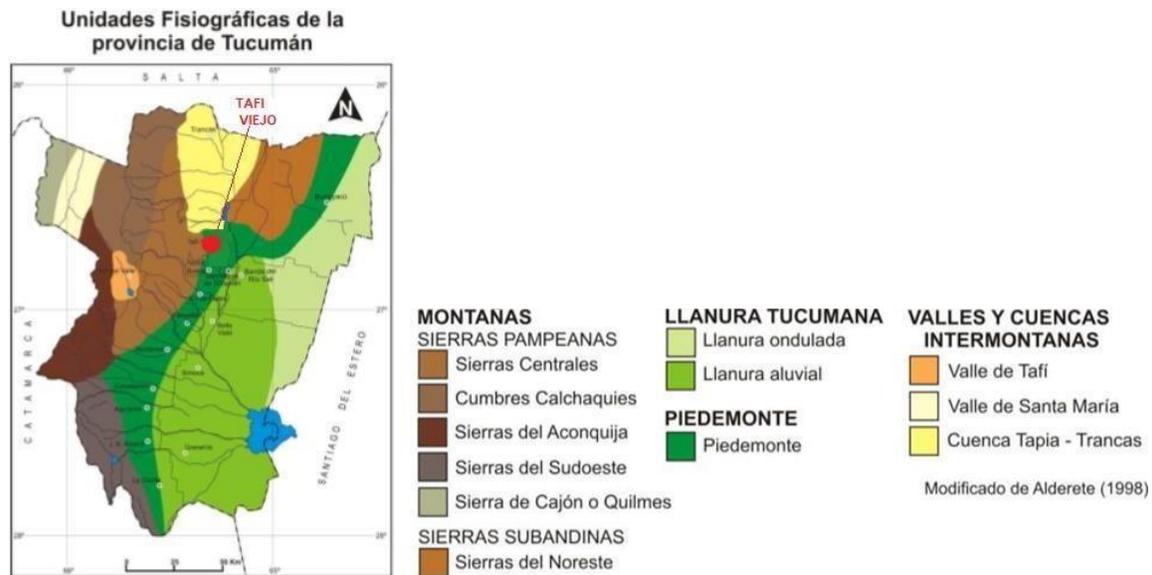


Figura 11. Unidades fisiográficas de la provincia de Tucumán

Fuente: Libro de Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán

#### 4.1.9 Hábitat Natural.

La región montañosa de la zona de estudio forma parte de la Sierra de San Javier que es un anticlinal asimétrico de orientación NNE - SSO, cuya altura crece de sur a norte culminando en la cumbre de Taficillo con 1.900 y 2.100 msnm y una extensión de 30 km de longitud (Figura 12).

Esta sierra, que se desarrolla desde los 600 hasta los 2.100 msnm, tienen una superficie aproximada de 21.390 has, de las cuales 14.000 has corresponde al Parque Sierra de San Javier (Fernández y Sirombra, 2005).

El pedemonte se desarrolla entre los 400 a 700 msnm, en la transición entre la llanura tucumana al oriente y las cadenas montañosas al oeste y en la dirección norte sur desde las Sierras del Nordeste hasta las Sierras de Sudoeste. Esta región se caracteriza por las numerosas lomadas de baja altura cortadas por cauces de ríos y arroyos temporarios donde se desarrollan conos aluviales y glaciais. (Sal, 1997). Fisiográficamente el pedemonte se extiende desde la base de la sierra de San Javier hasta aproximadamente el Río Salí y tiene una pendiente con dirección NO – SE, evidenciada por el sentido de los flujos de agua

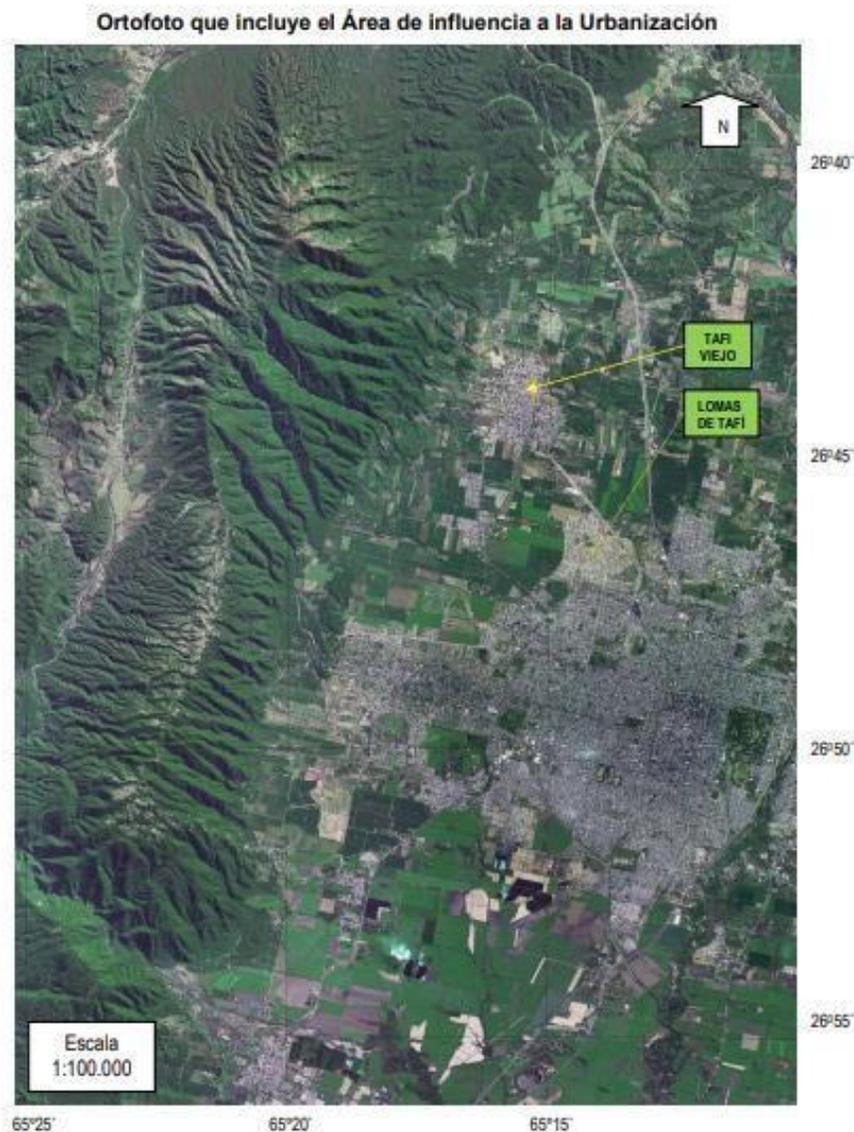


Figura 12. Ladera Oriental de la Sierra San Javier. Fuente Atlas de Tucumán

#### 4.1.10 Suelos.

La ciudad de Tafí Viejo está situada en una llanura de superficie irregular perteneciente al pie de monte de la Sierra de San Javier. La loma vecina al cerro le da un perfil suave y rebajando su altura abriendo numerosas cárcavas en los terrenos más llanos. Los cursos de agua que bajan de las sierras, depositan en esta zona, parte de su carga sólida, recogiendo a su vez los materiales resultantes de la erosión local para transportarlos a niveles inferiores; por lo tanto, hay casi equilibrio entre los procesos erosivos y acumulativos, aunque predominan los primeros. Cuando las quebradas entran en la llanura, la potencia neta de los cursos de agua disminuye, se hace negativa y la carga sólida transportada se deposita construyendo conos de deyección. Al Oeste de Tafí Viejo hay seis conos de deyección que coalescen desde el río Cainzo en el Sur hasta Nueva Esperanza en el Norte. Todos ellos avanzan sobre el radio municipal. El aluvial de la Quebrada El Cochuchal, es de menor tamaño, pero de gran importancia ya que sobre él se ha emplazado un sector de la ciudad en condiciones muy precarias.

En la zona cumbral se presentan suelos procedentes de un amplio abanico de rocas, entre ellos destacan los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial (cambisoles); suelos formados por material poco consolidado presentes en zonas de pendientes acusadas (regosoles) y suelos superficiales sobre roca (litosoles) estos últimos de poca capacidad agrícola. (Toledo, M. 1992).

En la zona pedemontana se encuentran tres tipos de suelos.

- Suelos de baja textura y alta permeabilidad, estos suelos se convierten en una importante zona de recarga hídrica de los acuíferos freáticos y profundos que son explotados hacia el este de dicha zona.
- Suelos aptos para la agricultura, formados a partir de una cubierta loésica más potente, retransportada y por material clástico; suelos sueltos y oscuros, que poseen una alta proporción de materia orgánica y con buen drenaje. (molisoles) de mayor fertilidad y de mayor valor económico.
- Finalmente, en el sector de terrazas fluviales los suelos están constituidos por gravas, arenas y limos fluviales, caracterizados por una fuerte antropización. (Sesma *et al.*, 2010).

En cuanto a su aptitud y uso se puede decir que los suelos en su mayor extensión, se han desarrollado sobre materiales de origen eólico, bajo condiciones de formación bastantes similares lo que se ve reflejado en la gran uniformidad de su morfología. Es predominantemente utilizado para la actividad agropecuaria, dicha actividad está siendo relegada solo a pequeños sectores representados por cultivos de citrus, caña de azúcar, soja y hortalizas. Desde hace varios años la extracción del suelo para la fabricación de ladrillos ha cobrado importancia ocupando alguna de estas. (Carilla, L. 2008) (Masmut, P., 2018)

La distribución espacial de los Suelos de la Provincia de Tucumán puede observarse en la Figura 13.



Figura 13. Mapa de suelos de la provincia de Tucumán. Fuente: Puchulu, M. E. y Fernández, D. S. (2014).

#### 4.1.11 Áreas protegidas.

Las áreas naturales protegidas (ANP) son porciones de territorios destinados a mantener patrimonios biológicos, geológicos, arqueológicos, expresiones culturales actuales, paisajes y además procesos naturales, los que en su mayoría se traducen en servicios ambientales para el hombre. La vida en nuestro planeta se basa en la diversidad física y biológica.

En este sentido es muy importante establecer formas adecuadas de gestión, conservación y el buen manejo de los recursos naturales con el fin de conservar el ambiente y sus especies animales y vegetales.

Las políticas de conservación toman en cuenta los distintos usos del suelo, como el uso agrícola, urbano, turístico, etcétera. La mayoría de las áreas protegidas de nuestro país se planifican considerando las actividades económicas. En muchos casos se acuerdan formas de manejo de los recursos naturales con los actores sociales involucrados, de manera que sus actividades no alteren el medio ambiente.

Las áreas protegidas de nuestra provincia se caracterizan por la riqueza excepcional de su flora y su fauna, y la belleza de sus paisajes varias de estas áreas poseen gran valor arqueológico, antropológico y prehistórico (Figura 14).

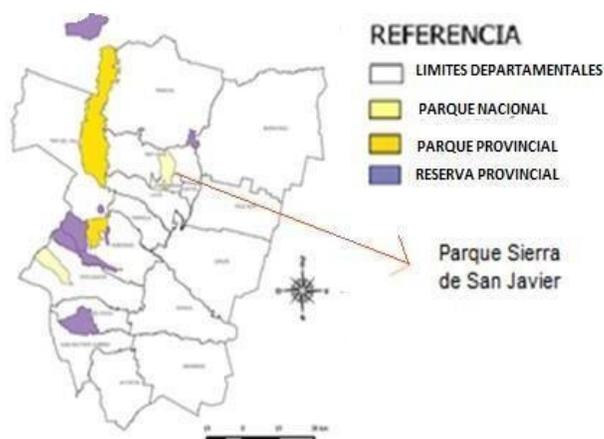


Figura 14. Mapa de áreas protegidas de la provincia de Tucumán Fuente: Geosplan Tucumán <sup>2</sup>

<sup>2</sup> <http://geosplan.tucuman.gob.ar/wp-content/mapas/LED2014/LED-AreasProtegidas-211014.png>  
Consultado 17/05/2020

Las áreas protegidas son de importancia vital para las poblaciones aledañas por sus funciones biológicas, al asegurar la estabilidad de las cuencas hídricas; agua para consumo y el desarrollo de actividades agrícolas ganaderas y protección de la flora y fauna autóctona;

El Parque Sierra de San Javier, ex Parque Biológico, es un área protegida de 14.174 has. creada en 1974, a partir de la Resolución Universitaria 001030/73.

Como se puede ver en Figura 15, la planta de CIAT se ubica en las cercanías del Parque Sierra de San Javier y forma parte del área de reserva acuífera y Bosque de Yungas.



Figura 15. Ubicación del Centro de Interpretación Ambiental y Tecnológico, CIAT - Parque Sierras de San Javier

#### 4.1.12 Hidrología.

La región hidrográfica en la que se encuentra el Departamento Tafi Viejo, es la Cuenca del Río Salí. Presenta una densa red de drenaje (Figura 16) y las características preponderantes de sus ríos son:

- Período estival con grandes volúmenes de precipitaciones pluviales, seguido de un período primaveral invernal con valores mínimos de precipitaciones y con cauces secos, gran parte del tiempo.
- Régimen de precipitaciones torrenciales, determinante de crecientes e inundaciones que constituyen un factor de riesgo por su peligrosidad. (Ruiz, *et al.*, 2014). Por el Norte, el río Chasquivil y Anca Juli (se originan en las cumbres Calchaquies) contribuyen a formar el río Vipos. Desaguan en el río Salí, en la subcuenca de Tapia-Trancas- Salí- Cadillal. Por el Sur, los ríos Liquimayo, de la Hoyada, Anfama, de las Juntas, San Javier y las Tablas, contribuyen a formar el río Lules en la subcuenca Aconquija- Salí-Río Hondo. (Castelluccio, *et al.*, 2007).

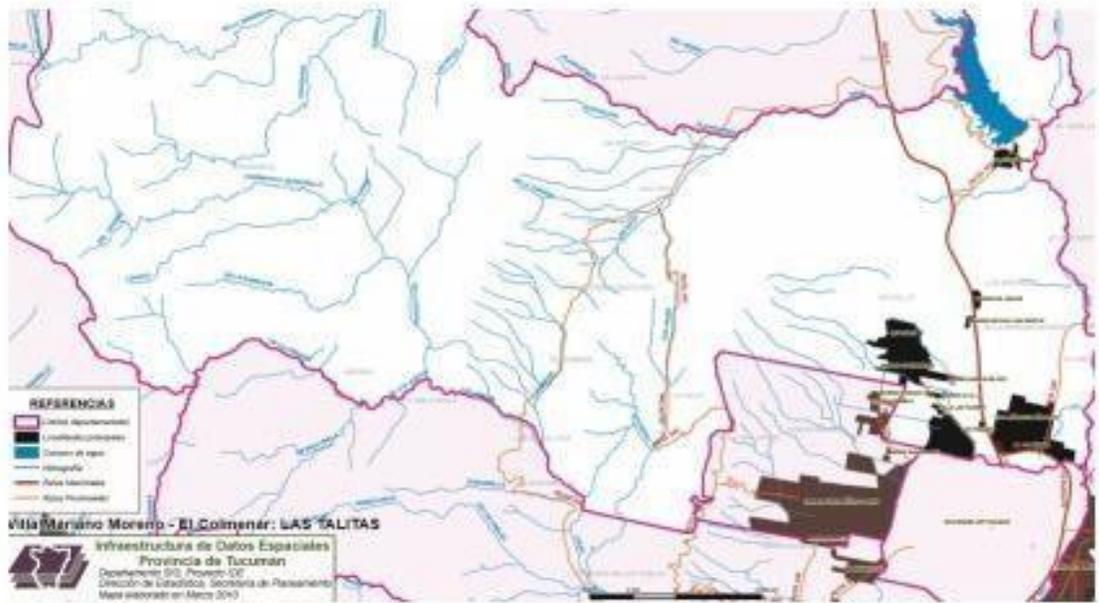


Figura 16. Mapa hidrográfico del departamento Tafi Viejo - Tucumán  
Fuente: Idep Tucumán <sup>3</sup>

#### 4.1.13 Cuenca hídrica

La Cuenca del Río Salí Dulce se extiende sobre el territorio de las provincias de Catamarca, Córdoba, Salta, Santiago del Estero y Tucumán. Abarca unos 57.000 km<sup>2</sup> y en ella viven aproximadamente 2.5 millones de personas (Figura 17).

<sup>3</sup> <http://idet.tucuman.gov.ar/geoserver/www/Educativo/pdf/DptoTafiViejo.pdf>

El Río Salí desagua la mayor parte del territorio de Tucumán, recibiendo además afluentes de Salta y Catamarca. Al ingresar a Santiago del Estero toma el nombre de Río Dulce y luego de atravesar la provincia en forma diagonal desemboca en la laguna Mar Chiquita en Córdoba.

Son muchas las actividades antrópicas que han afectado esta cuenca, entre las que se destacan los residuos de la industria azucarera, las destiladoras de alcohol, las actividades citrícolas y frigoríficas, la generación de residuos sólidos urbanos, cloacales, patogénicos, la actividad de papeleras, textiles, efluentes mineros, agricultura, ganadería, actividades de servicios, entre otras. La calidad de las aguas del río Salí es impactada por todas ellas.

A partir de la creación comité interjurisdiccional de la cuenca del Río Salí Dulce en el año 2007 y la posterior firma del Acta acuerdo entre las provincias de Tucumán; Santiago del Estero y la Defensoría del Pueblo de la Provincia de Santiago del Estero, con el propósito de trabajar coordinadamente se logró controlar la contaminación en la cuenca del Río Salí – Dulce.

Asimismo, en el marco de la Resolución JGM N° 169/2013 y dando cumplimiento a las leyes N° 25.675, N° 24.051, Decreto N° 831 de fecha 03 de mayo de 1993, que crea la Unidad Técnica de implementación de acuerdos de la Cuenca Salí Dulce y Embalse de Río Hondo, los expertos de esta dirección y los técnicos de la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero y de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de Tucumán, desarrollaran inspecciones a ingenios sindicados en los acuerdos de referencia.



Figura 17. Mapa de las Cuenas Hídricas de Tucumán. Fuente: Geosplan Tucumán <sup>4</sup>

<sup>4</sup><http://geosplan.tucuman.gob.ar/wp-content/mapas/LED2014/LED-OrdenamTerritxCuenca-171014.png>

#### 4.1.14 Hidrogeología.

El borde oriental de las Sierras de San Javier presenta una serie de abanicos aluviales con buen desarrollo desde Tafi Viejo hasta Lules. Los sedimentos gruesos de estos abanicos cubren una importante superficie en el área pedemontana y se extienden hacia el este, alcanzando la depresión del Bajo Hondo, con intercalaciones limo arenoso y limo arcillosas en la zona distal de los mismos, constituyéndose en buenos reservorios del agua que se infiltra desde las zonas cumbres. En el área pedemontana se explotan estos acuíferos para abastecimiento de agua potable, en Tafi Viejo, Villa Carmela y para riego de citrus de excelente calidad (Casteluccio, op. cit.).

El abastecimiento de la población se realiza mediante perforaciones subterráneas pertenecientes al servicio brindado por la empresa concesionaria y tomas superficiales: Toma Cainzo (sobre el río homónimo), El Nogalar y Tafi (sobre el arroyo del mismo nombre). En Villa Mariano Moreno-Las Talitas y Villa Carmela solo se abastecen mediante perforaciones subterráneas (Figura 18).



Figura 18. Zonas productoras de agua subterránea en la zona de estudio  
Fuente: Grimaldi, *et al.* 2007.

En el perfil siguiente, puede observarse que el material subyacente atravesado en Tafí Viejo presenta escasos niveles “a priori” permeables respecto a los impermeables. Aquel constituye depósitos de material muy grueso en matriz de arena finas y limos, cuando nos encontramos en la zona del glacis de acumulación, pasando a material más seleccionado, con mayor permeabilidad y caudales más importantes hacia el sector distal, entre las calles Velez Sarfield al Oeste y las vías del Tafí Viejo ferrocarril, al Este y al Sur, en la zona del Bº S.A. de Padua y Circulo Nicolás Avellaneda, donde se formaron lentejones con selección del material acumulado producto de la divagación en tiempos pretéritos de los torrentes que descienden hacia la capital siguiendo la pendiente hidráulica NO- SES. Las perforaciones en la zona de acumulación del material arrastrado por estos procesos de remoción en masa, presentan caudales de entre 4 a 50 m³/h, con niveles dinámicos profundos y escasa recuperación, mientras que los segundos presentan niveles dinámicos medios y arrojan caudales de entre 90 y 137 m³/h, con una mejor recuperación que los anteriores (Grimaldi, *et al.*, 2007) (Figura 19).

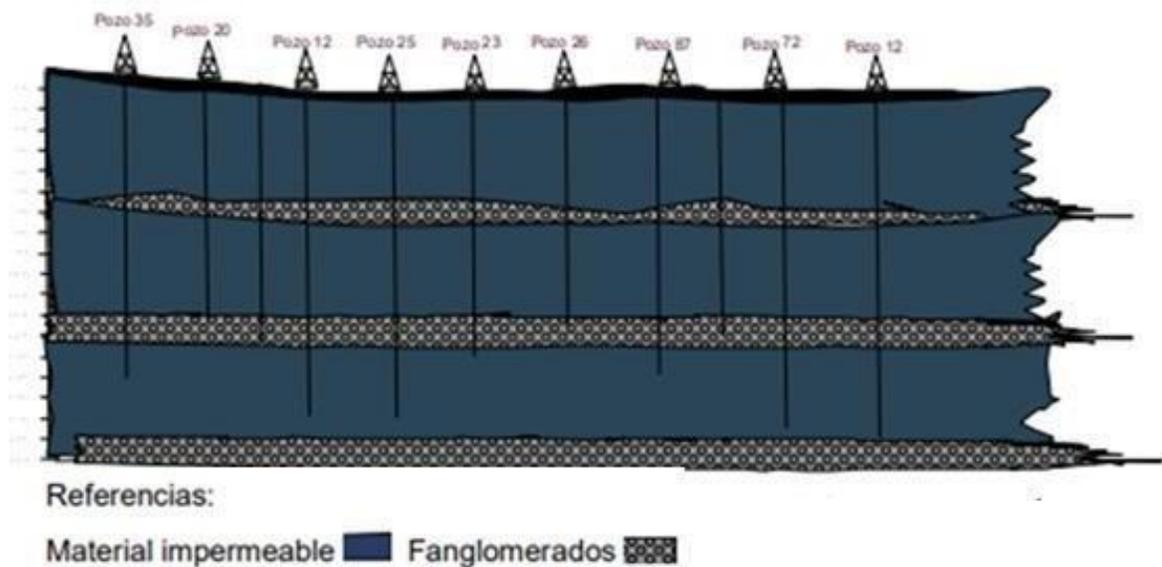


Figura 19. Perfil longitudinal. Casco de la ciudad de Tafí Viejo. Fuente Grimaldi *et al.* 2007

#### 4.1.15 Sismicidad - zonificación sísmica.

El territorio de la República Argentina se divide en cinco zonas de acuerdo con el grado de peligrosidad sísmica. Dichas zonas se indican en el mapa de la Figura 20.

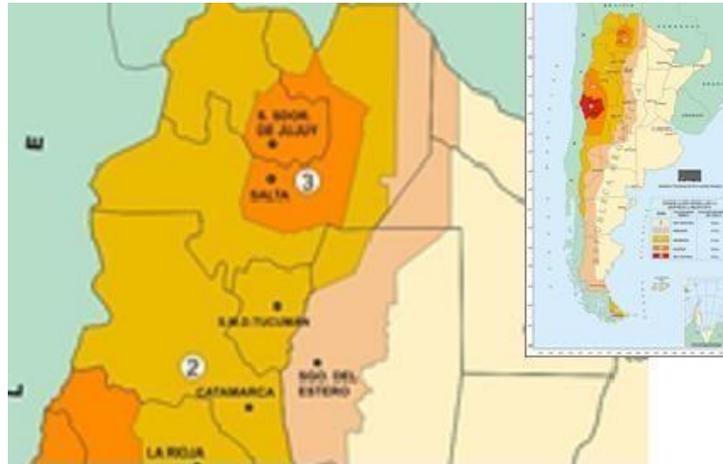


Figura 20. Zonificación sísmica de Tucumán

Fuente: Reglamento INPRES - CIRSOC 103.

<http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Reglamentos>

El territorio tucumano se encuentra en un área de riesgo sísmico moderado (2), y por lo tanto enfrenta la posibilidad de que se produzcan temblores y terremotos de mediana y baja intensidad.

#### 4.1.16 Población.

El departamento Tafi Viejo tiene una población de 121.638 habitantes y su homónima ciudad cabecera, tiene una población de 56.407 habitantes (censo 2010)<sup>5</sup>.

Relacionando la cantidad de habitantes del Censo Nacional 2001 (48.459 habitantes) y Censo 2010, Tafi Viejo es uno de los municipios que más incrementó su población, alrededor de un 16 %, el doble que la media provincial que es del 8%. (Censo 2010)

Tomando de referencia diferentes maneras de estimar la población al año 2020

<sup>5</sup>[http://sep.tucuman.gov.ar/dataset/poblacion\(INDEC,2010\)\(http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2D\\_90\\_105.pdf](http://sep.tucuman.gov.ar/dataset/poblacion(INDEC,2010)(http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2D_90_105.pdf), consulta del día 17 de mayo 2020)

- Media provincial 8% (en 10 años)
- Media Tafí Viejo 16% (en 10 años)

En la tabla 6 se muestra la población alcanzada en el Municipio de Tafí Viejo tomando la media provincial (8%) y la media municipal (16%).

**Tabla 6.** Evolución de la población según datos censales, proyección hasta año 2020 considerando la media provincial y la media para Tafí viejo determinada por INDEC.

Evolución de la población entre los años 2010 y 2020 para la municipalidad de Tafí Viejo		
Año	Media provincial 8%	Media Municipal 16%
2010	56.407,00	56.407,00
2011	56.858,26	57.309,51
2012	57.313,12	58.226,46
2013	57.771,63	59.158,09
2014	58.233,80	60.104,62
2015	58.699,67	61.066,29
2016	59.169,27	62.043,35
2017	59.642,62	63.036,05
2018	60.119,76	64.044,62
2019	60.600,72	65.069,34
2020	61.085,53	66.110,45

- Por el método de tasa constante

Para este método, el cálculo de la tasa anual de variación se realiza considerando todos los valores históricos de población, de manera de determinar una tasa anual de variación promedio, por lo tanto, para este caso se consideraron los valores de los censos de los años 2001 y 2010.

**Censo 2001 Ciudad de Tafí Viejo - 48.351 habitantes**

**Censo 2010 Ciudad de Tafí Viejo- 56407 habitantes**

Con esto se obtuvo un valor de la tasa anual de variación de la población igual a:

$$i = \left( \frac{P2}{P1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Dónde:

i: tasa media anual de variación promedio de la población de la localidad = 1,4

P2: población de la localidad según el último censo nacional, que para nuestro caso es el del año 2010

P1: población de la localidad según el censo nacional más antiguo con el que se cuente, que para nuestro caso es el del año 2001

n: cantidad de años entre los censos considerados (10 años)

Teniendo en cuenta este índice la población al 2020 asciende a 64.820,53 habitantes.

En la tabla 7 se muestra la población alcanzada en el municipio de Tafi Viejo mediante el método de tasa constante.

**Tabla 7.** Evolución de habitantes entre los años 2010- 2020 por el método de tasa constante.

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Población	56.407,00	57.196,70	57.997,45	58.809,42	59.632,75	60.467,61	61.314,15	62.172,55	63.042,97	63.925,57	64.820,53

- Según entrevista realizada a funcionarios de la Municipalidad de Tafi Viejo, la Población servida por el municipio asciende hoy aproximadamente a 90.000 habitantes.

La diferencia con respecto a las proyecciones para 2020 que surge a partir de datos de censo 2001 y 2010 surge porque:

Según censo 2010, en Tafi Viejo, la población ascendía a 39.695 habitantes, este valor fue corregido posteriormente a 56.407 habitantes considerando la población del conjunto habitacional Lomas de Tafi habilitado en etapas desde fines de los años 2000 y construido por el Instituto de Vivienda de la Provincia que

constituye en su totalidad 5 mil viviendas en un predio de casi 400 hectáreas ubicado dentro del ejido del municipio sobre ruta provincial N° 314.

Se adiciona, además, el sector denominado por el INDEC “Los Pocitos y barrios aledaños” compuesto por: Diagonal Norte - Luz y Fuerza - Los Pocitos - Villa Nueva Italia (Los Pocitos y barrios Aledaños (contaba en censo 1991 con 4.902 habitantes y en 2001 con 7.295 personas). El municipio estima que a 2020 residen en este sector 25.000 habitantes, por lo que la totalidad, servida ascendería a 89.820 habitantes (64.820 + 25.000 = 89.820 habitantes).

Por lo antes dicho se adoptará una población servida de 90.000 habitantes.

#### 4.1.17 La situación socio económica de Tafí Viejo.

La dinámica demográfica se refleja en los hechos relacionados con el tamaño de la población, su composición y distribución espacial. La estructura poblacional de municipio impacta sobre la estructura del empleo, los niveles y distribución del ingreso, y las necesidades de la población en campos como salud, educación, vivienda y provisión de servicios en general.

La población del Municipio de Tafí Viejo representa aproximadamente el 6% de la población total de Tucumán y la tercera ciudad más densamente poblada de la provincia (Secretaría de Estado de gestión pública y Planeamiento, 2015 <sup>6</sup>).

Según censo 2010 el porcentaje de la población con Necesidades Básicas Insatisfechas NBI fue del 11,3 % (Tabla 8). Puede observarse también, que es uno de los municipios con NBI más bajos después de Yerba Buena, Cevil Redondo y San Miguel de Tucumán; se ubica en tercer lugar en relación al área servida con cloacas y el porcentaje de hacinamiento es bajo respecto a otros sectores de la provincia. Se puede considerar que el municipio de Tafí Viejo se encuentra entre los que tienen indicadores más favorables dentro del Gran San Miguel de Tucumán, sin embargo, datos extraídos del diario La Gaceta de 31 de julio de 2020 indican

---

<sup>6</sup> Diagnóstico Municipal Tafí Viejo - <http://led.tucuman.gov.ar/>

que la tasa de pobreza en el eje San Miguel de Tucumán - Tafí Viejo al cierre de 2019 alcanzó el 37,3 % <sup>7</sup>.

**Tabla 8.** Indicadores socioeconómicos en municipios y comunas del área metropolitana, AMet Tucumán.

Municipio o Comuna	% con Cloacas	% Hog. Con NBI	% Hacinamiento (1)
Alderete	4,52%	16,90%	7,73%
Banda del Río Salí	22,79%	15,20%	6,70%
Cevíl Redondo	9,39%	9,00%	3,67%
El Manantial	59,68%	15,60%	5,68%
La Esperanza	0,00%	31,40%	8,76%
La Florida y Luisiana	0,79%	18,80%	8,41%
Las Talitas	3,78%	12,70%	5,41%
Los Nogales	2,81%	19,00%	8,16%
Lules	63,89%	16,70%	6,91%
San Felipe y Santa Bárbara	15,82%	31,50%	14,83%
San Javier	16,36%	32,30%	7,69%
San Miguel de Tucumán	79,74%	9,60%	3,89%
San Pablo y Villa Nougues	2,05%	19,50%	7,81%
Tafí Viejo	62,85%	11,30%	4,78%
Yerba Buena	25,67%	8,00%	3,00%

Fuente: INDEC\_CENSO NACIONAL 2010- Procesado con Redatam +SP, CEPAL/CELADE

## 4.2 Estudio del manejo de los RSU en el municipio de Tafí Viejo

### 4.2.1 Tafí Viejo en el Consorcio Público Metropolitano, CPM.

En relación a las acciones vinculadas específicamente con los Residuos Sólidos Urbanos, la Secretaría de Ambiente de la Nación puso en marcha hace unos años el “Proyecto Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos” (PNGIRSU) en el cual se reconoce que “si bien los municipios son los responsables directos del manejo de los residuos, la magnitud de la problemática requiere de la participación de los distintos niveles de gobierno, ya que su inadecuada gestión compromete las condiciones necesarias para asegurar la salud pública y la protección ambiental”. Frente a este escenario la Nación a través de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) diseñó la

<sup>7</sup> Información: Observatorio de la Fundación León, con datos de Observatorio de la deuda social de Universidad Católica Argentina, UCA e INDEC.

Estrategia Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) que incluye llevar adelante programas y proyectos nacionales relacionados con los residuos sólidos urbanos (PNGIRSU Ley Nº 25916/04).

El municipio de Tafí Viejo fue una de las municipalidades que el 24 de agosto de 2009 acordó abordar en forma conjunta con otras municipalidades y comunas el desarrollo de un Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos integrado para el Gran San Miguel de Tucumán, constituyéndose el Consorcio Publico metropolitano (CPM). conformado por los Municipios de Alderete, Banda del Rio Salí, Las Talitas, San Miguel de Tucumán, Tafí Viejo y Yerba Buena. En cumplimiento de la ley provincial 8177 y su decreto reglamentario 203/9, que obliga a los responsables de la gestión de los RSU a realizar y presentar un plan de gestión integral. además de los seis municipios antes mencionados el servicio se extiende a Municipalidades de Lules y Bella Vista, además de las Comunas Rurales y localidades: Cebil Redondo, El Manantial, Raco, San Javier, San Pablo y San Andrés. (Figura 21 y Tabla 9).

A partir de la constitución del CPM el municipio recolecta los RSU domiciliarios mediante un sistema combinado de camión compacto y de caja abierta lo trasladaba a la planta de transferencia de San Felipe y desde allí se traslada para su disposición final en Overo Pozo.

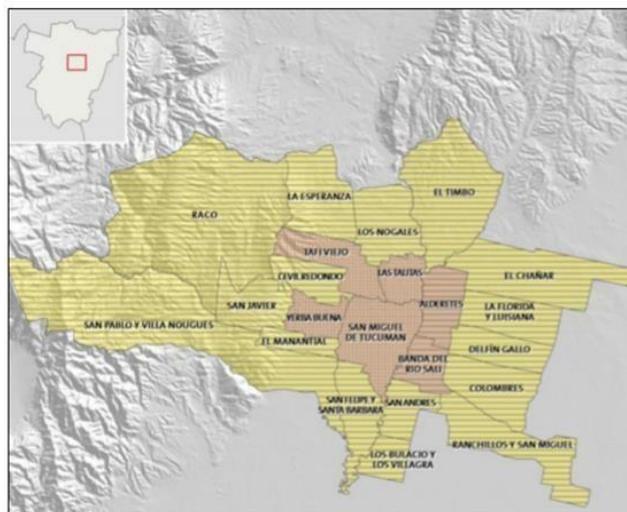


Figura 21. Área metropolitana con gestión de residuos efectuada por CPM  
Fuente: Rubén Costilla, 2018. Aporte metodológico para la evaluación de impacto ambiental de proyectos de gestión integral de residuos sólidos urbanos en Tucumán (Argentina)”.  
59

**Tabla 9.** Número de habitantes y viviendas de Municipios y comunas servidos por CPM

Municipio/ Comuna	Habitantes	Viviendas	Habitantes / Viviendas
Alderete	45.223	10.673	4,24
Banda del Rio Salí	68.054	15.691	4,34
Bella Vista	17.158	4.642	3,7
Las Talitas	54.458	12.654	4,3
Lules	31.106	7.225	4,13
SMT	541.866	15.7553	3,48
Tafí Viejo	56.407	15.020	3,76
Yerba Buena	59.104	15.550	3,8
Cevil Redondo	15.690	4.029	3,89
San Pablo	12.227	3.120	3,92
El Manantial	17.793	4.574	3,89
Raco	3.161	1.531	2,06
San Javier	282	125	2,26
Total	929.529	252.687	3,68

Fuente: Consorcio Público Metropolitano CPM

La recolección de los residuos es realizada por la Municipalidad, de forma domiciliaria a todos los habitantes de la jurisdicción municipal (incluido conjunto Lomas de Tafí y B. Judicial), Comuna Los Pocitos y barrios aledaños, regularmente acorde a un cronograma que fija el recorrido por los distintos barrios y está organizado por sectores perfectamente delimitados. El camión recolector, propiedad de la municipalidad traslada los residuos a la planta de transferencia de San Felipe para luego ser llevados a Overo Pozo para su disposición final.

Existen sectores barriales en los que la recolección es de manera irregular debido a anegamientos de calles que imposibilitan el ingreso de los camiones recolectores.

Además, con el concepto de revalorización de los RSU en el Municipio de Tafí Viejo se propone la separación y reciclado de los RSU.

El Centro de Interpretación Ambiental y Tecnológico (CIAT) se inauguró en marzo de 2018 para el tratamiento de residuos sólidos urbanos recuperables y la promoción del cuidado del medio ambiente, para ello dispone de una propiedad de 5 has ubicada en San Juan 2015, al Oeste de la ciudad de Tafí Viejo (Figura 22).

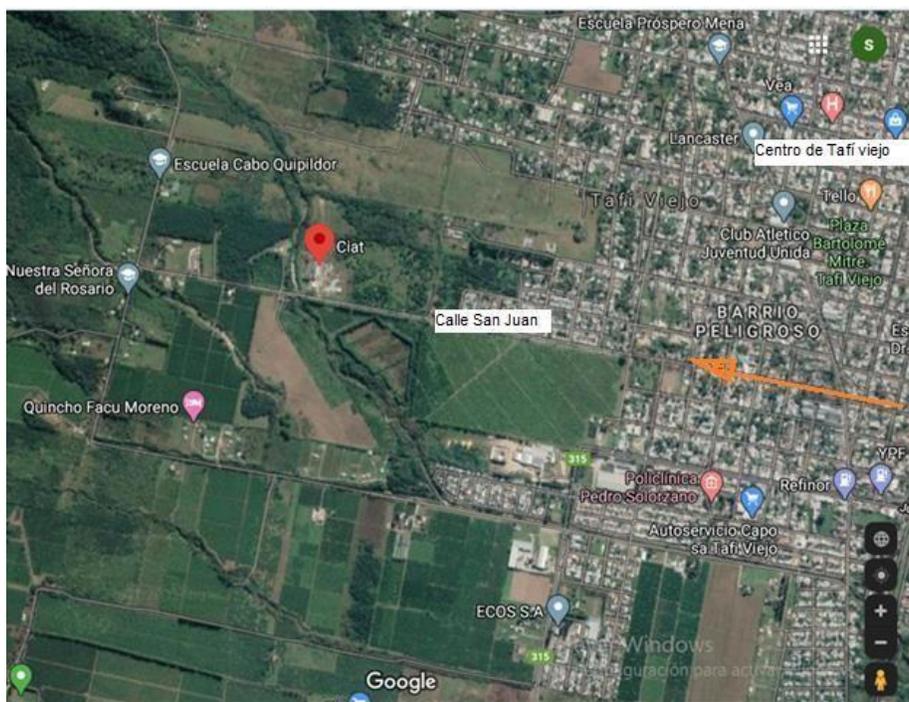


Figura 22. Ubicación de Centro de Integración Ambiental - Planta de reciclaje en Tafí Viejo

En este predio funciona la planta de separación y clasificación de residuos secos, pionera en el norte argentino donde se recuperan diferentes tipos de los cuales son clasificados de acuerdo a su composición y comercializados como insumos industriales reciclables. En la actualidad, CIAT recibe solo los RSU depositados voluntariamente por los vecinos del municipio en los puntos verdes ubicados en lugares estratégicos de la localidad.

Además, se estimula la separación en origen de los residuos mediante campañas de concientización. Tafí Viejo es el único municipio de Tucumán que recupera sus residuos secos y los vende como materia prima.

La Planta de Clasificación y Separación de Residuos Urbanos Secos de Tafí Viejo concretó la venta del material reciclado que se recupera a través del sistema de separación en origen, tanto de los domicilios como de los grandes generadores. Aproximadamente se comercializaron 430 toneladas de material reciclable desde su inauguración y aún quedan 100 toneladas almacenadas.

Los materiales reciclables están compuestos por plástico, vidrio, cartón, metal y aluminio y tienen diferentes destinos de venta según su composición. El

destino del plástico y papel reciclado es Buenos Aires, el vidrio tiene destino a provincia de San Juan, el cartón a Lules, y el metal destino a Palpalá, Jujuy. Además, tienen 100 toneladas de material reciclable enfardadas, procesadas y listas para ser comercializadas.

A la Planta de reciclaje ingresan aproximadamente 100 Toneladas mensuales de RSU a tratar para su comercialización.

La gestión y revalorización de los residuos sólidos urbanos permite reducir las toneladas de residuos que antes eran transferidas a la Planta de San Felipe para su posterior traslado a la planta de disposición final de Overo Pozo. De esta forma la ciudad se beneficia de la venta y en los costos de la disposición final.

El siguiente diagrama explica la gestión actual de los RSU desde el origen hasta la disposición final, Figura 23.

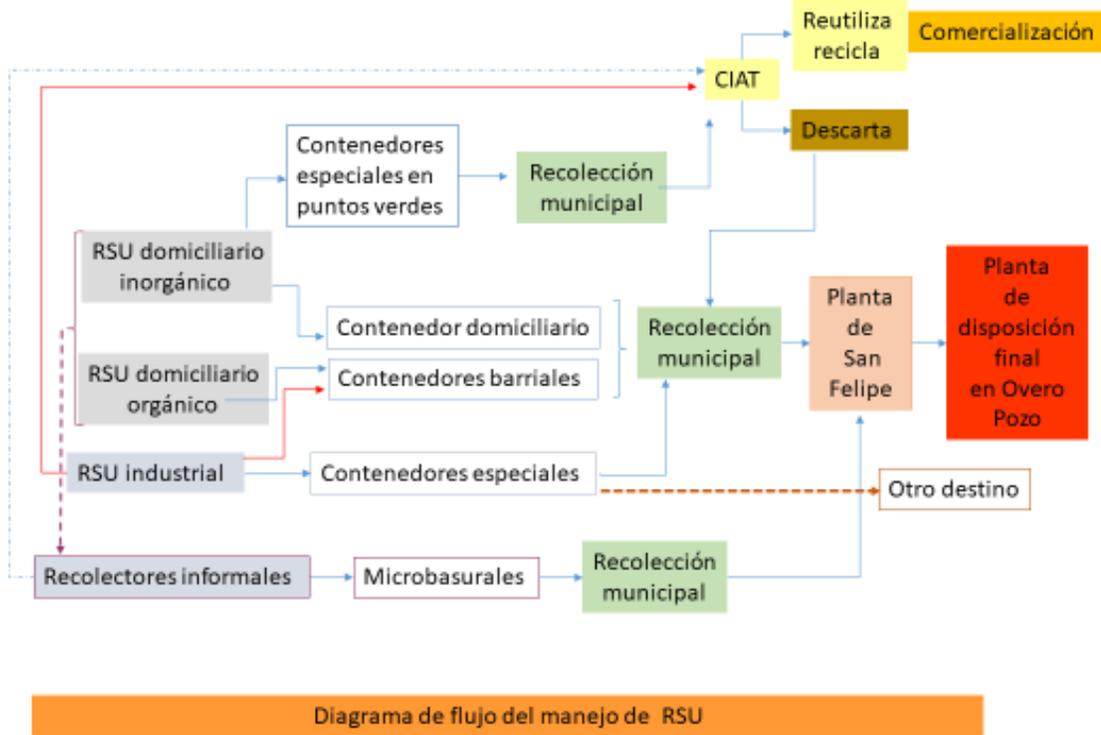


Figura 23. Diagrama de flujo del manejo de RSU en Tafí Viejo

#### 4.2.2 Análisis de la cantidad de RSU producido por habitante por día.

En la composición y generación de Residuos Sólidos Urbanos inciden factores estrechamente ligados a las actividades de un área y las características demográficas y socioeconómicas de la población, en su relación con el sistema de gestión o manejo de dichos residuos, y en el marco del contexto de desarrollo socioeconómico del país, en general, y del área específica en particular. Para la determinación de la producción diaria per cápita (PPC) o Generación diaria per cápita (GPC) se puede considerar la siguiente metodología que permite conocer la producción diaria por determinado estrato para luego calcular una producción media diaria per cápita. Estos estudios fueron realizados en el marco del ENGIRSU (Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos) a nivel nacional para cada provincia y localidades y se establecieron rangos válidos según las consideraciones tomadas para el estudio. Esto nos permite establecer valores de producción diaria PPC válidos para el uso de suelo y condición socioeconómica de Tafí Viejo.

Con el fin de estimar la producción de RSU por habitante diaria para la municipalidad de Tafí Viejo, y comparar con los valores establecidos por estudios previos como los realizados por la Cámara de la Construcción u otro que los estratifica por localidades con un determinado número de habitantes se realizó la proyección para 2020 de la población servida de Tafí Viejo, basándonos en datos de población según el Censo 2010. Además, se recabó la información sobre los RSU generados en el municipio.

La Cámara de la Construcción basándose en datos recolectados, utilizando datos previos, o una combinación de ambos determinó la tasa de generación diaria y anual total por provincias en base a la población proyectada por el INDEC a partir de los datos del CENSO 2001 para los años 2005, 2010 y 2015.

Para la realización de la Tabla 10, se usó como base los datos de generación per cápita (GPC) relevados en el 2005 en el marco de la ENGIRSU, donde la GPC promedio estimada por la cámara de la construcción para todo el país fue de 0,85 kg/hab\*día. Y para la provincia de Tucumán fue de 0,73 kg/ Hab.\*día.

Si bien la GPC es un valor que varía en función de factores económicos se consideró para este tipo de análisis un número fijo promedio para proyectar la generación futura. La GPC determinada por la Cámara de la Construcción incluyó también los residuos generados por el servicio de barrido y limpieza de calles y sumideros.

**Tabla 10.** Promedio de generación de RSU per cápita diaria en los años 2005, 2010 y 2015 en Tucumán.

Provincia	GPC	Año 2005		Año 2010		Año 2015	
		Kg/ hab. *día	Población (HAB)	Gen diaria Ton/día	Población (HAB)	Gen diaria Ton/día	Población (HAB)
Tucumán	0,73	1.421.824	1.037,93	1.511.516	1.103,41	1.601.540	1.169,12

Fuente: Cámara de la Construcción: Residuos sólidos urbanos en Argentina. Tratamiento y disposición final. Situación actual y alternativas futuras. Ing. Gisela Laura González. Área de Pensamiento Estratégico- Anexo.

Empleando la Tabla (Anexo 4) que indica la Generación per cápita diaria de RSU para las provincias argentinas para los años 2005-2010-2015, se puede observar que la mayor producción per cápita fue en Capital Federal (1,23 kg/hab.\*día), Córdoba (1,05 kg/hab.\*día) y Mendoza (1,15 kg/hab.\*día). Por el contrario, la provincia con menor GPC fue Misiones con un valor de 0,44 kg/hab.\*día.

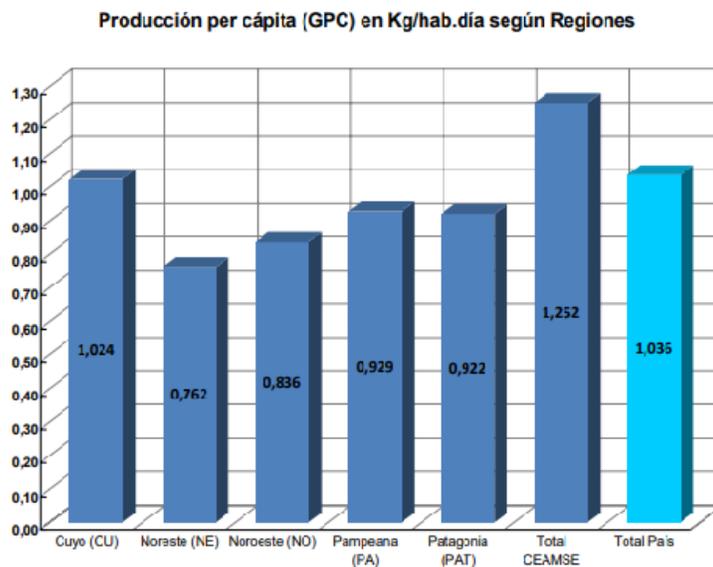
En la Tabla 11 y Figura 24 se observan los valores de la PPC por rango poblacional en el país, teniendo en cuenta los datos de generación de cada una de las localidades en función de su población.

Los valores resultantes se indican.

**Tabla 11.** Producción de RSU per cápita, promedio por rango poblacional (censo 2010) de la República Argentina

Producción per cápita (PPC) promedio por rango poblacional (año 2010)	
Habitantes	Generación per cápita promedio (kg/habitantes x día)
Menor a 10.000 habitantes	0,632
Entre 10.000 a 50.000 habitantes	0,694
Entre 50.000 a 100.000 habitantes	0,844
Entre 100.000 a 200.000 habitantes	0,964
Entre 200.000 a 500.000 habitantes	1,015
Entre 500.000 a 1.000.000 habitantes	1,151
Mayor a 1.000.000 habitantes	1,252

La PPC promedio diario de residuos sólidos urbanos, para el país se estimó en 1,036 kg/hab.\*día, para la región Noroeste 0,83 kg/hab.\*día; para la provincia de Tucumán 1,252 Kg/hab.\*día y para Tafí Viejo en 0,844 Kg/hab.\*día.



**Figura 24.** La producción per cápita (PPC) promedio diario de residuos sólidos urbanos.

Fuente: Estudio de estrategia y factibilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) para la República Argentina. Ing. Marcela De Luca e Ing. Néstor Giorgi. Área de Pensamiento Estratégico

Al analizar la generación diaria per cápita (GPC) para el Gran San Miguel de Tucumán, se observó que se describe un escenario con crecimiento lineal desde 0,60 kg/hab.\*día en 2015 hasta 0,80 kg/hab.\*día en 2040<sup>8</sup>.

Por otro lado, se analizaron estudios realizados en el CPM que consideraban para el cálculo de la GPC, 56.407 habitantes para Tafí Viejo (censo 2010) y una producción mensual (promedio) de RSU, 1.458.527 Kg de RSU dispuestos en Overo Pozo (Tabla 12).

**Tabla 12.** Producción mensual de RSU en Tafí Viejo y San Miguel de Tucumán realizado por CPM año 2017.

Localidad	JUL -17 Kg	AGO-17 kg	SEP- 17 kg	PROMEDIO Mensual	TOTAL Trimestre
SMT	17.070.880	18.941.420	17.961.600	17.991.300	53.973.900
TAFI VIEJO	1.402.780	1.525.680	1.447.120	1.458.527	4.375.580

Fuente: Consorcio metropolitano 2017. Planilla original en Anexo

En la Tabla 13 se muestra valores de PPC teniendo en cuenta N° de habitantes resultantes de la proyección a tasa constante para el año 2017 (62.173 habitantes) de datos extraídos de censo 2010 y los habitantes servidos que refiere la municipalidad de Tafí Viejo de 89.990 habitantes para año 2017.

**Tabla 13.** Cuadro comparativo de la producción diaria de RSU para el municipio de Tafí Viejo. Datos de producción de RSU del año 2017, considerando la proyección del censo 2010, con método de tasa constante y con datos aportados por el municipio.

Producción Per Cápita de RSU - con datos año 2017			
	N° de habitantes del año 2017	RSU por día en Kg	PPC
Según tasa constante	62.173	72.926,35	1,17
Según datos municipales	88.990	72.926,35	0,81

<sup>8</sup> (Datos obtenidos de relevamientos y estimaciones realizados por el Consorcio Publico Metropolitano). Alanís. S. y Martínez S., 2013. *Diagnóstico para planta de Lixiviados*)

En esta tabla observamos que si tomamos el número de habitantes servidos por el municipio (88.990) y los kg de RSU declarados por CPM para el año 2017, los valores de la producción per cápita diaria obtenidos se encontraron en el rango de los estudios realizados por la cámara de la construcción y los de Censo 2010.

#### 4.2.3 Determinación de la cantidad de RSU destinado como biomasa para generación de biogás.

La producción de RSU en la Municipalidad de Tafí Viejo fue de 72.900 Kg diarios. De los cuales ingresó a CIAT, 7.290 Kg diarios, correspondientes al 10 % del volumen de RSU producido, que voluntariamente los vecinos depositan en puntos verdes y lo que ingresa por convenios con empresas del medio como botellas de vidrio, cartón y papeles. Los RSU restantes (65.610 Kg diarios) fueron enviados a la planta de transferencia de San Felipe para su posterior disposición final en Overo Pozo (Tabla 14).

**Tabla 14.** Cantidad de RSU producido en el municipio de Tafí Viejo y residuo que ingresa a CIAT.

Cantidad de habitantes	Kg de producción diaria por habitantes	Total diario producido en Kg	A CIAT Kg	Residuo rechazado en CIAT en Kg
90.000	0,81	72.926	<b>7.290</b>	2.187

#### 4.2.4 Caracterización de los RSU.

Para determinar la masa de RSU destinada a la producción de biogás se debe conocer los porcentajes de cada componente de RSU.

Mediante entrevistas a directivos de CIAT se obtuvo información sobre caracterizaciones realizadas por el CPM en años anteriores:

- En caracterización realizada en el año 2013-2014 para los municipios y comunas servidas. En la tabla 15 se observa caracterización de muestras de barrios de los municipios de: Las Talitas, Banda del río Salí, Alderetes y Tafí Viejo - el componente orgánico para el municipio de Tafí Viejo

corresponde al 56,62%; junto con la Municipalidad de Alderetes tienen un componente orgánico mayor que las otras localidades. El componente tetrapack tiene un porcentaje mayor que en las otras localidades, el componente plástico en general, es más alto que en otras localidades y el componente patológico y residuos peligrosos alcanza el 0,38% valor intermedio entre las otras localidades.

- En caracterizaciones realizadas en 2015- 2016, también por el CPM, para el municipio de Tafí Viejo (Tabla 16), puede observarse que el porcentaje de los componentes orgánicos disminuyeron en relación a la caracterización 2013-2014, alcanzando el 44,61 % de la totalidad de los RSU, que es menor al porcentaje general para el sector servido por CPM. El componente patogénico tiene un porcentaje menor a la caracterización 2013-2014 y además menor al porcentaje general

**Tabla 15.** Caracterización de los RSU generados en localidades servidas por el CPM Tafí Viejo en 2013-2014.

<b>Composición de RSU de muestras provenientes de barrios de</b>					
<b>Fracción</b>		<b>Las Talitas</b>	<b>Banda del Río Salí</b>	<b>Tafí Viejo</b>	<b>Alderetes</b>
1	Orgánicos	53,44%	51,79%	56,62%	60,98%
2	Papel	6,84%	8,66%	4,92%	2,61%
3	Cartón	3,75%	5,58%	4,12%	3,59%
4	Tetrapak	1,07%	1,13%	1,30%	0,98%
5	Plásticos varios	1,82%	2,46%	2,48%	1,96%
6	Bolsas plásticas	13%	9,07%	10,55%	9,42%
7	Plásticos PET	2,55%	1,64%	1,93%	1,91%
8	Pañales descartables	6,30%	9,12%	10,05%	11,05%
9	Trapos	5,63%	2,51%	2,14%	2,61%
10	Telgopor y goma espuma	0,36%	0,15%	0,21%	0,37%
11	Vidrios	2,06%	3,94%	2,48%	1,77%
12	Hojalata y ferrosos	1,43%	1,43%	1,51%	0,93%
13	Aluminio	0,49%	0,51%	0,50%	0,28%
14	Calzado y goma	1,21%	1,79%	0,80%	0,75%
15	Patológicos y peligrosos	0,04%	0,20%	0,38%	0,79%

Fuente: informe de CPMGIRSU Caracterización año 2013-2014

**Tabla 16.** Caracterización de los RSU generados en Tafí Viejo, componentes constitutivos de los RSU totales generales año 2015 -2016.

<b>Cuadro de elementos constitutivos de los RSU totales generales</b>		
<b>Componentes</b>	<b>General</b>	<b>Tafí Viejo</b>
Papel	10,33	7,16
Cartón	5,39	10,27
Botellas PET	6,61	4,54
Plásticos soplados	3,06	4,61
Plásticos envoltorios	10,58	9,95
Pañales	6,49	3,93
Trapos	3,87	4,21
Metales	1,27	1,43
Orgánicos	46,75	44,61
Telgopor y goma espuma	0,37	0,19
Vidrios	3,4	6,57
Patogénicos	0,13	0,08
Tetra Pack	0,91	1,17
Madera	0,18	0,57
Aluminio	0,44	0,71
Goma	0,19	0
Materiales de la construcción	0,02	0
Pila y desechos electrónicos	0,01	0

Fuente: Informe del CPMGIRSU de muestreo años 2015-2016

Para la realización de las caracterizaciones 2013-2014 y 2015-2016, el CPM, efectuó trabajo de campo que incluyó la delimitación en un mapa del radio servido, conjunto de rutas de recolección de RSU para cada localidad (no se indican en planillas si se consideró clasificación de las rutas según Uso y Ocupación del Suelo y Niveles Socioeconómicos predominantes). Se consideró como universo de muestreo al conjunto de rutas de recolección en que se encuentra dividido el radio servido. Se determinó que la unidad muestral primaria, era el camión recolector, el cual tenía asignada una ruta fija de recolección. La metodología del muestreo utilizada fue la determinada por la Norma ASTM 5231-92 - “Standard Test of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Wastes “, que establece que, de cada uno de los camiones elegidos, unidades muestrales primarias, se

descargarán aproximadamente 500 kg. de residuos los cuales, luego de ser homogeneizados y cuarteados conforman la unidad muestral secundaria (200 kg.). Luego de cuarteos sucesivos se separarán alrededor de 90 a 150 kg., que constituyen la unidad muestral terciaria, que se destina a las determinaciones físicas y del peso volumétrico (40 a 70 kg).

A partir de la creación de CIAT, se realizaron diversas capacitaciones y campañas de concientización a la población taficeña sobre la importancia de la valoración del RSU y la posibilidad de rehúso y reciclado a través de la separación y clasificación, esto estimuló la separación en origen. Con los valores obtenidos, se realizó una planilla y se calculó la incidencia por componente promedio y la desviación estándar (Tablas 17 y 18).

**Tabla 17:** Planilla de la composición de los RSU de las muestras - incidencia en porcentaje de cada componente y desviación estándar.

Tipo de RSU	M1 %	M2 %	M3 %	M4 %	M5 %	M6 %	M7 %	M8 %	M9 %	M10 %	M11 %	M12 %
Plásticos	15	13	19	16	21	12	14	15	17	18	31	28
Telas	9	7	1	0	11	5	7	7	2	3	16	5
Papel y cartón	6	12	11	15	15	10	10	9	23	9	3	23
Orgánicos	27	35	42	43	39	34	30	36	30	40	45	30
Madera	14	11	1	0	0	6	18	2	1	11	0	0
Goma	4	3	0	0	0	8	0	0	11	1	0	0
Pañal	7	5	0	0	4	5	7	7	5	6	0	0
Vidrio	13	11	16	20	8	12	10	17	7	5	0	8
Telgopor y goma espuma	2	2	5	0	0	0	0	1	2	2	0	1
Tetrapack	3	1	5	6	2	8	4	6	1	5	5	2
Otros									1			3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tabla 18:** Promedio y desviación estándar por componente.

Tipo de RSU	Promedio	Desviación
Plásticos	18	5,86
Telas	6	4,52
Papel y cartón	12,99	5,06
Orgánicos	36	5,92
Madera	5	6,49
Goma	2	3,70
Pañal	4	2,98
Vidrio	11	5,53
Telgopor y goma espuma	1	1,48
Tetra pack	4	2,22
Otros	0	0,89

Se compararon los promedios de cada componente con los valores obtenidos en la caracterización realizada por el CPM en el año 2015-2016 (Tabla 19).

**Tabla 19.** Cuadro comparativo por componente de las caracterizaciones de RSU realizadas en los 2020 y 2015.

Tipo de RSU	Muestras 2020 incidencias promedio	CPM 2015 incidencias %
Plásticos	18	19
Telas	6	4
Papel y cartón	12,99	17
Orgánicos	36	45
Madera	5	1
Goma	2	0
Pañal	4	4
Vidrio	11	7
Telgopor y goma espuma	1	0
Tetrapack	4	1
Otros	0	2

Se puede observar que:

- en el caso de componente orgánico, la incidencia del componente disminuyó entre 2015 y 2020, manteniendo la tendencia si se considera que en la caracterización de 2013 la incidencia del componente orgánico alcanzaba el 56,62%.
- La incidencia de componentes como plásticos, papel y cartón disminuyeron; vidrios y otros reciclables y/o reutilizables factibles de enviar a CIAT como tetrapack, madera, telgopor y goma espuman, aumentaron.

Para la estimar la cantidad de RSU destinado como biomasa para generación de biogás se consideró incidencia promedio de las muestras tomadas en 2020.

#### 4.2.5 Calidad del RSU.

Los resultados de la caracterización de los RSU se detallan en la Tabla 20.

**TABLA 20.** Análisis realizados a las muestras caracterizadas de RSU.

	Humedad	Ceniza (% en masa)	CF (% en masa)	SV (% en masa)	PCS KJ/kg
Bolsas plásticas	14,57	5,75	0,04	94,2	40.814
Tela	18,72	0,74	11,37	87,88	22.022
Papel	20,00	8,71	10,02	81,27	13.902
Orgánicos	77,07	31,11	1,94	66,95	11.956
Plástico duro	5,19	2,33	0,25	97,43	40555
Plástico y papel aluminio	2,68	4,15	6,44	89,4	34.926
Metal y plástico	0,08	-	-	-	-
Tetra pack	18,85	9,81	9,01	81,18	20.463
Cartón	12,53	3,56	13,99	82,45	17.436
Telgopor	0,51	0,41	0,02	99,58	41.860
Vidrio	0,04	-	-	-	-
Botella PET	5,45	1,25	11,12	87,63	22.164
Madera	5,67	4,68	19,96	75,36	19.358
Goma espuma	1,49	5,79	3,85	90,36	25.300
Pañal	60,5	2,35	8,73	88,93	19.391
Goma negra	0,28	58,38	3,44	38,18	15.274

En la Tabla 21 se detalla la capacidad de biodegradación característica para cada componente de RSU.

**Tabla 21.** Biodegradabilidad de los componentes de una muestra de RSU.

Componente	Biodegradabilidad
Cartón	Rápida
Goma y Cuero	Lenta
Madera	Lenta
Materia orgánica	Rápida
Metal	Inerte
Pañal y celulosa	Inerte
Papel	Rápida
Plástico	Inerte
Poda y siega	Lenta
Tetrabrik	Inerte
Textil	Lenta
Vidrio	Inerte

Fuente: Optimización del diseño de vertederos de residuos sólidos basada en modelización Miguel Cuartas Hernández 12/12/2012<sup>9</sup>.

Se completó el estudio relacionado con la calidad de RSU en función de su potencial energético con otros datos útiles sobre sus componentes. El análisis elemental del RSU implica la determinación del porcentaje de Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S), y ceniza. Este análisis es importante debido tanto al aspecto energético, como a la emisión de compuestos clorados. En la Tabla 22 se detalla una composición media, obtenida con datos americanos, pero que son utilizados en la mayoría de los trabajos sobre la temática (Tchobanoglous y Theisen, 1996) y en la Tabla 23 se especifica la composición de la parte inorgánica que no contribuye al poder calorífico del RSU.

<sup>9</sup> <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/132246/TesisMCH.pdf?sequence>

**Tabla 22.** Composición media de los componentes.

Componente	Porcentaje en masa (% base seca)					
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
Restos de comida	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Papel/cartón	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Plásticos	60	7,2	22,8			10
Textiles	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Goma	78	10		2		10
Cuero	60	8	11,6	10	0,4	10
Jardín	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Madera	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5

**Tabla 23.** Composición de los RSU domésticos inorgánicos.

Componente	Porcentaje en masa de componentes inorgánicos				
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre
Vidrios	0.5	0.1	0.4	< 0.1	
Metales	4.5	0.6	4.3	< 0.1	
Cenizas	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2

Fuente: "Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía" Poletto y da Silva.<sup>10</sup>

#### 4.3 Resumen para especificar biomasa utilizada para generación de biogás.

En la Tabla 24 se detalla la masa útil en Kg/día para generación de Biogás a partir de RSU considerando porcentaje promedio de cada componente. Se tomó la fracción orgánica; 70% de la producción total del ítem papel y cartón, madera y telas, que corresponde a la masa de RSU que se transporta a la planta de transferencia de San Felipe para su posterior disposición final Overo Pozo.

<sup>10</sup> <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v20n2/art13.pdf>

**TABLA 24.** Biomasa útil de RSU en Kg/día para generación de biogás. Sin considerar el RSU rechazado en CIAT.

Tipo de RSU	Incidencia %	Producción diaria Kg
Plásticos	18%	13.126,68
Telas	6%	4.375,56
Papel y cartón	12%	8.751,12
Orgánicos	36%	26.253,36
Madera	5%	3.646,3
Goma	2%	1.458,52
Pañal	4%	2.917,04
Vidrio	11%	8.021,86
Telgopor y goma espuma	1%	729,26
Tetra pack	5%	3.646,3
Otros	0%	0
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>72.926</b>

Para determinar la biomasa útil total se tuvieron en cuenta: la biomasa útil en Kg/día calculada en tabla 20 (considerando porcentaje promedio de cada componente), más el RSU rechazado en CIAT (2187 Kg). El total diario de biomasa de RSU que ingresará al vertedero será de 43.263,45 Kg.

#### 4.4 Biogás proveniente de los RSU

El Biogás de vertedero es un combustible constituido por un conjunto de gases formados como subproductos de la descomposición de la fracción orgánica e inorgánica de los Residuos Sólidos Urbanos en condiciones anaeróbicas (fermentación en ausencia de oxígeno).

El biogás es una mezcla de gases, compuesta principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), constituyendo normalmente más del 97% del mismo. Sus componentes se indican en la Tabla 25.

**Tabla 25.** Composición del biogás.

<u>Componente</u>		<u>Porcentaje</u>
Metano	CH <sub>4</sub>	50-70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	35-55
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	2-5
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,1-1
Sulfuro	H <sub>2</sub> S	0-1,0
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	0,1-1
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0-0,2
Monóxido de carbono	CO	0-0,2

Fuente:<sup>11</sup>

Los RSU típicos contienen restos de residuos domiciliarios y comerciales que incluyen pinturas, solventes, pesticidas, adhesivos, etc.

También cantidades pequeñas de nitrógeno, oxígeno, e hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, menos del 1 % de compuestos orgánicos no metánicos (NMOCs) como cloruro de vinilo, benceno, tolueno, tricloroetano, metilo mercaptano y etilo mercaptano, y trazas de compuestos inorgánicos. Algunos han sido encontrados en concentraciones por encima del TLV (Threshold Limit Values), que es la concentración promedio para ocho horas diarias o 40 horas de trabajo semanales a la cual la mayoría de los trabajadores deben estar expuestos repetidamente sin efectos adversos (Env. Energy, 2003).

Cada uno de estos componentes del biogás tiene características propias, las cuales en circunstancias especiales pueden presentar serio peligro para la vida y salud humana (EPA, 2003). Según Hans Willumsen (2004), más de 100 compuestos orgánicos volátiles (VOCs) diferentes han sido identificados en el biogás, los cuales resultan en su mayoría cancerígenos cuando se encuentran en concentraciones altas.

Según la Environment Agency (2002a) del Reino Unido, se han registrado una totalidad de 557 trazas componentes en el biogás mientras que en la nota

<sup>11</sup> <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Generación-de-electricidad-a-partir-de-biogás-capturado-de-residuos-sólidos-urbanos-Un-análisis-teórico-práctico.pdf>

técnica del Departamento Militar de los EEUU (Department of the Army, 1995), están reportadas 94 especies de NMOCs.

En la Tabla 26 se indica algunos de los componentes más frecuentemente detectados en diversos rellenos evaluados y los TLV de tres países de la Unión Europea y de los EEUU.

El biogás es inflamable y explosivo (en concentraciones de 4-16% con O<sub>2</sub> > 14%), asfixiante, tóxico, corrosivo, odorífero, ecotóxico. También contribuyen al efecto invernadero y la contaminación fotoquímica.

**Tabla 26.** Principales trazas de componentes detectados en el Biogás.

Componente	Concentraciones Medidas en PPM
Cloruro de vinilo*	0.03-44
Benceno*	0,6-32
Cloroformo*	0,2-2
Diclorometano*	0,9-400
Talueno	4-197
Xilenos	2,3-139
Etilobenceno	3,6-49
Clorodifluorometano	6-602
Diclorodifluorometano	10-486
Tricloroetileno	1,2-116
Etanol	16-1450
Propano	4.1-630
Butano	2.3-626
Disulfuro de carbono	0.5-22
Metanotiol	0.1-430
Sulfuro de hidrógeno	2.8-275

Los componentes con asterisco presentan características cancerígenas

Los compuestos sin asterisco pueden resultar peligrosos para el sistema nervioso

Fuente:(Willumsen, 2004).

Los gases: CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> son incoloros e inodoros, por lo que son otros gases, como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y el amoníaco (NH<sub>3</sub>) los que le otorgan el olor característico al biogás y permiten su detección por medio del olfato.

El  $\text{CH}_4$ , base energética del biogás, se produce en los vertederos controlados en concentraciones dentro del rango de combustión, lo que confiere al biogás ciertas características de peligrosidad y, por ésta razón, la necesidad de mantener un control sobre él. Por su elevado contenido energético es un combustible eficaz.

El  $\text{CO}_2$  es el segundo componente de importancia, es un componente no energético. El  $\text{N}_2$  se debe a filtraciones de aire exterior en la fermentación o a arrastres por el influente. Los niveles del  $\text{O}_2$  se producen por filtraciones de aire y su presencia resulta tóxica para las bacterias metanógenas. Además, su exceso en el biogás acarrea potenciales peligros de explosividad para concentraciones altas comprendidas entre 8 y 20% del volumen total. El  $\text{H}_2\text{S}$  es un gas combustible, pero su gran inconveniente es su alto poder corrosivo al formarse ácido sulfúrico en la mezcla con  $\text{H}_2\text{O}$  y toxicidad a partir de cierta concentración. La existencia de amoníaco es señal de que existe  $\text{O}_2$  en el proceso y por lo tanto que se ha producido un proceso aerobio. El  $\text{H}_2$  es un componente energético su presencia denota una fermentación no estabilizada y poco optimizada al presentarse en exceso.

#### 4.5 Biometanización de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos.

La fermentación anaerobia comprende una compleja serie de reacciones de digestión y fermentación que llevan a cabo diferentes especies bacterianas, en condiciones anóxicas. Este proceso biológico se basa en la transformación, a través de reacciones bioquímicas, de la materia orgánica contaminante en biomasa y en un gas cuyos componentes principales son el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{CO}_2$ , y que se conoce con el nombre de biogás. Este proceso es uno de los mecanismos más frecuentemente utilizados por la naturaleza para degradar sustancias orgánicas. También se produce una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodos), entre los que se encuentran los componentes más difíciles de degradar, la mayor parte del nitrógeno y el fósforo, y la totalidad de los elementos minerales (K, Ca, Mg, etc.). Consta de cuatro fases secuenciales desde las primeras descomposiciones microbianas de la materia orgánica hasta la estabilización del producto con la producción del denominado biogás.

- Hidrólisis. El primer paso de la fermentación anaerobia es el proceso de hidrólisis, donde se produce la metabolización de los polímeros orgánicos como los carbohidratos, lípidos, polisacáridos, grasas y proteínas.
- Acidogénesis. Es la conversión microbiana de los compuestos resultantes del hidrólisis, como ácidos grasos de cadena larga, ácidos y amino ácidos, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como el ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), pequeñas concentraciones de ácidos grasos volátiles y otros ácidos más complejos. Los principales productos de ésta etapa son ácidos grasos volátiles,  $\text{H}_2$  y  $\text{CO}$ .
- Acetogénesis. Es la conversión intermedia para la obtención del biogás obteniéndose acetato,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$ .
- Metanogénesis. Ésta es la parte final en la fermentación anaerobia metanogénica; en esta fase se genera el  $\text{CH}_4$  a partir de la descomposición del ácido acético o a partir de las reacciones del  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2$ .

#### 4.6 Factores que influyen en la producción de biogás.

La complejidad de la fermentación o digestión anaerobia refleja la parte biológica de un ecosistema que está influido, por parámetros físicos y químicos, como por ejemplo el contenido de humedad, la temperatura, el pH, la presencia de nutrientes y de los compuestos tóxicos en el proceso.

- Contenido de humedad: La degradación de la materia orgánica se ve favorecida en presencia de agua. Los residuos antes de ser vertidos pueden tener valores variables de contenidos de humedad entre 20 y 60% (Gendebien, 1992). El valor normal de contenido de humedad de los residuos es 35%.
- Temperatura: El tratamiento de la fracción orgánica de los RSU en los reactores anaeróbicos es llevado a cabo, normalmente, dentro de dos rangos distintos de temperatura: el rango mesofílico, entre el intervalo de

temperatura de 25 a 40°C, y el rango termofílico, con temperaturas mayores a los 45°C. Parámetros físicos del proceso, como la viscosidad y la tensión superficial, dependen de la temperatura. En algunos casos, la fermentación anaerobia en el rango termofílico ha mostrado ser más inestable que la fermentación en el rango de condiciones mesofílicas. Un cambio entre condiciones de rango mesofílico a rango termofílico puede mostrar como resultado inmediato un cambio en la población metanogénica debida a una muerte rápida de los organismos en condiciones mesofílicas. La metanogénesis es también posible en condiciones de temperaturas menores a los 20°C (condición psicofílica), pero ocurre a velocidades más lentas y a menor proporción.

- pH: Cada grupo microbiano involucrado en la fermentación anaeróbica tiene una región de pH específica para su crecimiento óptimo. Para las bacterias acidogénicas el pH debe variar entre 4,5 a 8, mientras que, para las acetogénicas, el rango es más estrecho que las anteriores y para las metanogénicas entre 6,5 y 7,4. El pH es, además, un importante modulador del sistema, puesto que influye en varios equilibrios químicos, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Por ejemplo, altos pH favorecen la formación de amoníaco libre, inhibidor de la fase metanogénica.
- Nutrientes: En la degradación anaerobia de RSU mixtos o mezclas de aguas residuales se puede suponer que los nutrientes necesarios y micro nutrientes están disponibles en cantidades ilimitadas. En el tratamiento de un solo residuo o algunas aguas residuales la degradación puede limitarse por la disponibilidad de nutrientes. La adición de elementos de traza como el níquel y el cobalto a la fermentación estimula los procesos anaerobios.
- Toxicidad: Normalmente se considera que los metanogénicos son el grupo bacteriano más sensible a los tóxicos de los microorganismos implicados en

la fermentación anaerobia. Sin embargo, se puede dar el caso de una aclimatación o una reversibilidad a ciertos efectos tóxicos. Algunos de éstos efectos comunes en los RSU son los asociados a la presencia de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y ácidos grasos volátiles. La toxicidad de estos compuestos depende del pH. Las bacterias metanogénicas son muy sensibles al oxígeno. Y es por eso que en estos cultivos en los digestores anaeróbicos hay también bacterias anaeróbicas que presentan características facultativas en la hidrólisis y en la acidogénesis, pues al presentarse oxígeno es consumido rápidamente por estos.

#### 4.7 Poder calorífico del Biogás.

El valor del PCI de metano se extrajo de Tabla 27 donde se expresa el poder calorífico de principales fuentes energéticas.

**Tabla 27:** Poder calorífico de gases combustibles.

TIPO DE COMBUSTIBLE		(kWh/Kg)	(Kcal/Kg)
Gases	Metano	13,89	11.973
	Etano	13,2	11.350
	De refinería	13,71	11.820

Fuente: Eurostat, AIE y Resolución de la Secretaría de Estado de Energía de 27 de diciembre de 2013.<sup>12</sup> Ver anexo

- El PCI del biogás

$$60\% * 11.973 \text{ Kcal/ Kg} = 7.183,8 \text{ Kcal/ Kg}$$

- El potencial energético en Kcal/m<sup>3</sup> y en KJ/m<sup>3</sup>

$$7.183,8 \text{ Kcal/ Kg} \times 0,72 \text{ Kg/m}^3 = 59.81 \text{ Kcal/m}^3 = 25.036,64 \text{ KJ/m}^3$$

Considerando la siguiente relación 1Kcal = 4,186 KJ = 0,001163 Kwh;

El valor energético del metano= 6,97 Kwh/ m<sup>3</sup>,

<sup>12</sup> <https://ingemecanica.com/tutoriales/objetos/tablas/calorifico/calor49.jpg>

Otros estudios desarrollados en Argentina:

- a) estiman valores de potencial energético de metano en 10 Kwh/m<sup>3</sup> y el potencial energético del biogás en 7 Kwh/m<sup>3</sup> (Tabla 28).

**Tabla 28.** Valores característicos de energía equivalente - valor energético del biogás y otras fuentes.

Valores	Biogás	Gas natural	Gas propano	Gas metano	Hidrógeno
Valor calorífico (Kwh/m <sup>3</sup> )	7,0	10	26	10	3
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1,08	0,7	2,01	0,72	0,09
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido (m/s)	0,31	0,39	0,42	0,47	0,43

Fuente <sup>13</sup>

- b) Promedio valor energético del biogás proveniente de una composición media de RSU compuesto por: restos de comida (45%), papel y cartón (8.5%), y pañales (8%):

Valor energético = 5 Kwh/m<sup>3</sup> entendiendo como valor energético o potencial energético a la capacidad de producción de energía del metano. (G. Blanco, *et al.*, 2017).

Como se observa, el valor energético del metano varía principalmente por la composición del RSU. Se tomará el valor energético de 5 Kwh/m<sup>3</sup>, porque es el valor de mínima para la generación de energía. (Cuarta Hernández, Miguel, 2012).

<sup>13</sup> <https://www.emison.com/produccion%20biogas.htm>

#### 4.8 Aplicación para la Municipalidad de Tafí Viejo.

Para la determinación de la cantidad de metano que puede generarse en un año en un vertedero controlado,  $Q_{mT}$  [ $m^3CH_4/año$ ] se pueden utilizar diferentes métodos. Para el cálculo se consideró:

F = fracción de metano del biogás 50%, 60% (según método utilizado).

De la caracterización del sitio obtenemos que la precipitación anual es mayor a 1000 mm/anuales con este dato se ingresó a la Tabla 1 y se determinó:

$$K = 0,080 \text{ año}^{-1}$$

$$L_o = 84 \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$M_i = 43263,23 \text{ Kg/día} * 365 \text{ días} = 15791078,95 \text{ Kg anuales} = 15.791 \text{ ton}$$

La masa que se consideró fue de 11.460 Ton correspondiente al 70 % de la biomasa útil debido a pérdidas o falsos excedentes relacionados a la recolección y traslado.

Para el cálculo de la cantidad de metano producida se aplicaron distintas metodologías.

➤ Modelo de Scholl Canyon o LandGem simplificado

Empleando los siguientes datos se calcularon los valores para cada año de actividad del vertedero (Tabla 29).

$$M_i = 11.460 \text{ ton anuales}$$

$$L_o = 84 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$$

$$K = 0,08 \text{ año}^{-1}$$

$$F = 0,60$$

**Tabla 29.** Cálculo del caudal de metano generado,  $Q[m^3CH_4/año]$  según el modelo de Scholl Canyon o LandGem simplificado.

Año	Q ( $m^3 CH_4$ )/ año
2020	42.654,28
2021	82.029,24
2022	118.377,00
2023	151.930,28
2024	182.903,95
2025	211.496,31
2026	237.890,45
2027	262.255,38
2028	284.747,09
2029	305.509,61
2030	324.675,87
2031	342.368,61
2032	358.701,10
2033	373.777,93
2034	387.695,63
2035	400.543,32

No se consideró la variación de la población. El rango de F puede variar entre el 30 y 60% de la incertidumbre en la operación del relleno sanitario en relación al grado de compactación, a las coberturas diarias de los residuos, y a la cobertura final.

➤ Modelo Landgem 3.2

Se utilizó el programa que el modelo propone y se ingresaron los datos que se indican a continuación.

a) Tomando datos convencionales de K y Lo para Landgem 3.2

Mi = 11.460 ton anuales de RSU

K = 0,05 año<sup>-1</sup>

Lo= 170 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton

F= 50

En la tabla 30 se muestra lo resultados que entregó el programa, además de caudal de metano, entrega caudal de biogás (Ver anexo 5).

**Tabla 30.** Cálculo del caudal de metano generado,  $Q[m^3CH_4/año]$  según el modelo Landgem 3.2.

Año	Landgem 3,02 a) $Q m^3/añual$
2020	0,00
2021	95.252,57
2022	185.859,62
2023	272.047,71
2024	354.032,35
2025	432.018,56
2026	506.201,34
2027	576.766,18
2028	643.889,53
2029	707.739,24
2030	768.474,96
2031	826.248,56
2032	881.204,51
2033	933.480,23
2034	983.206,44
2035	1.030.507,46

La unidad de medida de la tasa de emisiones de gas se representó como  $m^3/año$ ;  $Kg/año$ ;  $mgr/año$  (Megagramo/año). Como restricción del programa el cálculo en  $m^3/año$ , solo para valores estandarizados. En la gráfica de la figura 25 pudo observarse la evolución en la producción de metano y dióxido de carbono con un vertido hasta el año 2035 y también cuando se produce la máxima cantidad de metano.

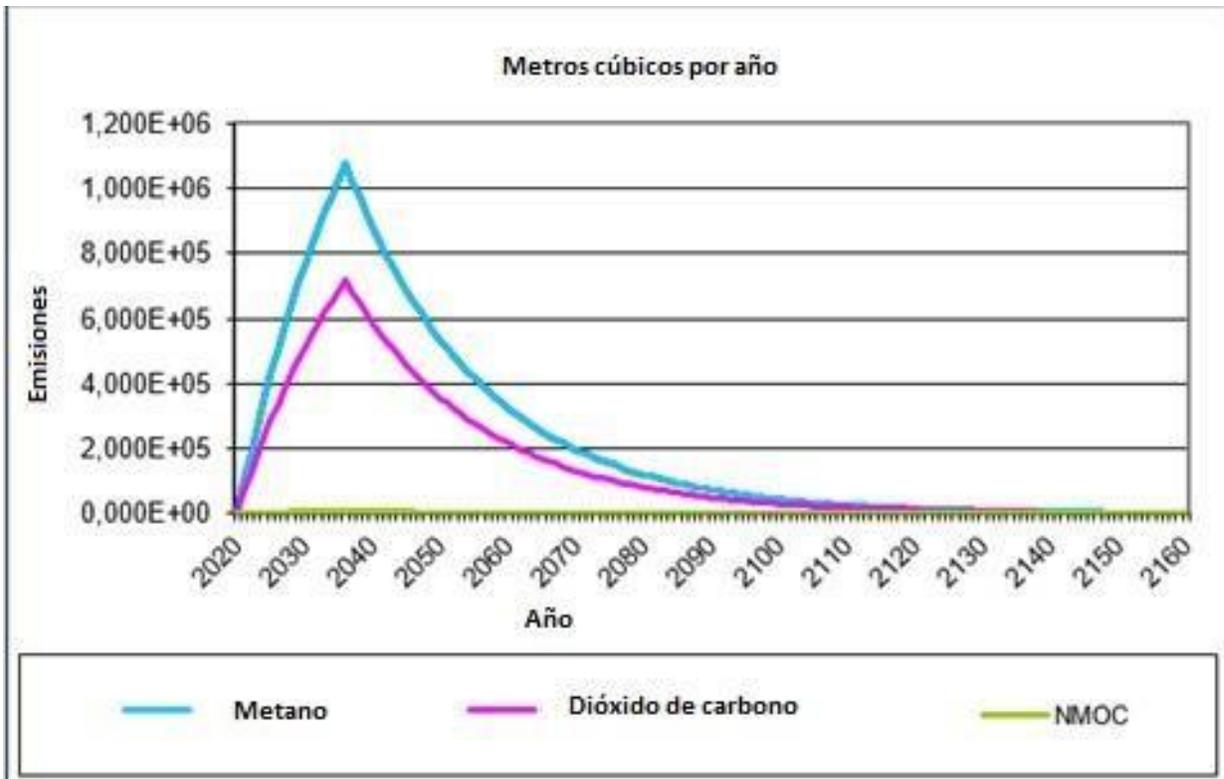


Figura 25. Gráfico indicativo de cantidad esperada de metano  $m^3CH_4/año$ . Modelo Landgem 3.2.

b) Tomando valores adaptados a Tafi. Viejo de K y Lo, e ingresando al programa se genera la planilla de cálculo Tabla 31.

$M_i = 11460$  ton anuales

$L_o = 84$   $m^3 CH_4/ton$

$K = 0,08$  año<sup>-1</sup>

$F = 60$

En esta tabla pueden observarse los resultados de: caudal de metano que produciría un vertedero ubicado en Tafí Viejo, teniendo en cuenta el clima y la caracterización de residuo.

**Tabla 31.** Cálculo del caudal de metano generado,  $Q[m^3CH_4/año]$  según el modelo Landgem 3.2. adaptado a Tafí Viejo. Considerando el ingreso de una masa de RSU anual de 11460 ton.

Año	Emisiones de metano m <sup>3</sup> /año
2021	7,431E+04
2022	1,429E+05
2023	2,062 E+05
2024	2,647 E+05
2025	3,186 E+05
2026	3,684 E+05
2027	4,144 E+05
2028	4,569 E+05
2029	4,961 E+05
2030	5,322 E+05
2031	5,656 E+05
2032	5,964 E+05
2033	6,249 E+05
2034	6,511 E+05
2035	6,754 E+05

➤ Modelo mexicano V 2.0

Se muestra la planilla de cálculo de volumen de metano según el modelo mexicano (Tabla 32)

Mi = 11460 ton anuales

Lo = 138 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton valor

K = 0,075 año<sup>-1</sup>

F= 50

MCF= Factor de corrección de metano =1 para sitio controlado (IPCC, 2006).

**Tabla 32:** Cálculo del caudal de metano generado, Q[m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/año] según el modelo mexicano.

Año	Emisión de metano (m <sup>3</sup> /año)
2021	1,147E+05
2022	2,211E+05
2023	3,198E+05
2024	4,114E+05
2025	4,964E+05
2026	5,752E+05
2027	6,484E+05
2028	7,162E+05
2029	7,792E+05
2030	8,375E+05
2031	8,918E+05
2032	9,420E+05
2033	9,887E+05
2034	1,032E+06
2035	1,072E+06

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de Q<sub>CH<sub>4</sub></sub> m<sup>3</sup>/año según las distintas metodologías aplicadas (Tabla 33) y se grafican en Figura 26.

**Tabla 33.** Cuadro comparativo con resultados de QCH4 m3/año según las distintas metodologías aplicadas. Considerando el ingreso de una masa de RSU de 11.460 ton.

	Landgem simplificado	Landgem 3,02 a)	Landgem 3,02 b)	Mexicano
Año	Qm <sup>3</sup> /anual	Q m <sup>3</sup> /anual	Q m <sup>3</sup> /anual	Q m <sup>3</sup> /anual
2020	42.654,28	0,00	0,00	0,00
2021	82.029,24	95.252,57	74.307,72	117.655,53
2022	118.377,00	185.859,62	142.902,39	226.591,59
2023	151.930,28	272.047,71	206.223,25	327.454,38
2024	182.903,95	354.032,35	264.675,78	420.842,21
2025	211.496,31	432.018,56	318.634,26	507.309,06
2026	237.890,45	506.201,34	368.444,21	587.367,84
2027	262.255,38	576.766,18	414.424,59	661.493,45
2028	284.747,09	643.889,53	456.869,84	730.125,60
2029	305.509,61	707.739,24	496.051,73	793.671,42
2030	324.675,87	768.474,96	532.221,19	852.507,84
2031	342.368,61	826.248,56	565.609,80	906.983,89
2032	358.701,10	881.204,51	596.431,37	957.422,71
2033	373.777,93	933.480,23	624.883,27	1.004.123,50
2034	387.695,63	983.206,44	651.147,68	1.047.363,29
2035	400.543,32	1.030.507,46	675.392,79	1.087.398,57

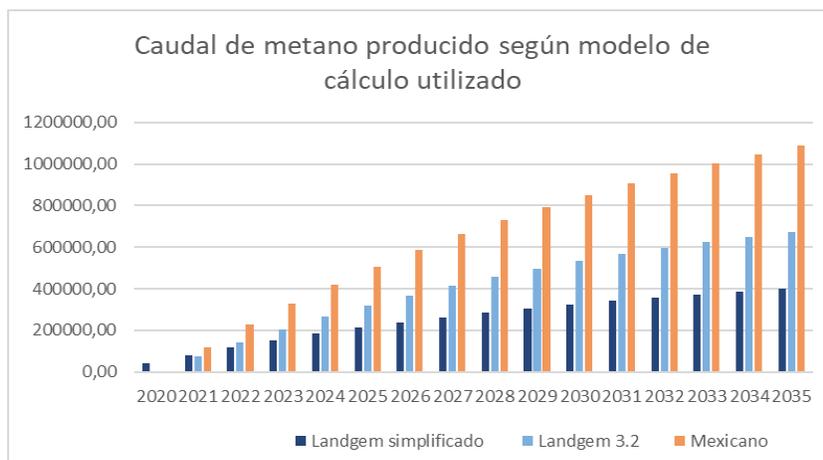


Figura 26. Caudal de CH<sub>4</sub> que puede producir el vertedero según el modelo de cálculos utilizados.

La eficiencia de captura de biogás varía según las condiciones de manejo de los RSU y de las instalaciones. Disminuyeron a 20% y 30 % en escenario bajo y alto, respectivamente (Tabla 34).

**Tabla 34.** Variación en el caudal de metano captado según condiciones del vertedero.

Año	QCH <sub>4</sub> / ton n		
	=100%	n= 30%	n= 20%
2020	0,00	0,00	0,00
2021	74.307,72	22.292,32	14.861,54
2022	142.902,39	42.870,72	28.580,48
2023	206.223,25	61.866,98	41.244,65
2024	264.675,78	79.402,73	52.935,16
2025	318.634,26	95.590,28	63.726,85
2026	368.444,21	110.533,26	73.688,84
2027	414.424,59	124.327,38	82.884,92
2028	456.869,84	137.060,95	91.373,97
2029	496.051,73	148.815,52	99.210,35
2030	532.221,19	159.666,36	106.444,24
2031	565.609,80	169.682,94	113.121,96
2032	596.431,37	178.929,41	119.286,27
2033	624.883,27	187.464,98	124.976,65
2034	651.147,68	195.344,30	130.229,54
2035	675.392,79	202.617,84	135.078,56

Los rangos utilizados corresponden a experiencias en la captura de biogás en vertederos del país y del mundo y que han sido reflejada en informes de verificación.

#### 4.9 Generación de electricidad.

##### 4.9.1 Potencia disponible y potencia a instalar.

Determinación de la potencia disponible para el caudal del biogás estimado, se utilizó la siguiente ecuación que relaciona la valoración energética del biogás el PCI del biogás y el rendimiento térmico.

$$\text{Potencia disponible [kW]} = \eta \cdot t \cdot \text{PCI biogás} \cdot Q \text{ biogás}$$

Donde:

$\eta$  t: rendimiento térmico de la generación eléctrica. Asume valores de 25, 35, y 40% para los escenarios bajo, medio, y alto, respectivamente

PCI biogás: poder calorífico inferior del biogás: se asume 5 kwh/m<sup>3</sup>

Q biogás: caudal de biogás capturado, escenarios bajo, medio, y alto (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/hora)

Aplicando para los valores de Q CH<sub>4</sub> para Tafí Viejo

- Potencia disponible escenario bajo= 25% \* 5 kwh/m<sup>3</sup> \* QCH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/ hora
- Potencia disponible escenario medio = 35% \* 5 kwh/m<sup>3</sup> \* QCH<sub>4</sub>m<sup>3</sup>/hora
- Potencia disponible= 40% \* 5 kwh/m<sup>3</sup> \* Q CH<sub>4</sub>m<sup>3</sup>/hora

Se realizó el cálculo para un escenario medio con un rendimiento térmico para la generación eléctrica de 35% y para una captación del 100% (Tabla 35).

**Tabla 35:** Cálculo de cantidad de la potencia disponible y la energía producida para un escenario medio con un rendimiento de 35% y para una captación del 100%. Considerando una masa de RSU ingresada anual de 11.460 Ton.

Año	Q CH <sub>4</sub> ; N = 100%	Q m <sup>3</sup> / hora	Rendimiento %	PCI Kwh/m <sup>3</sup>	Potencia disponible KW	Factor de disponibilidad	Electricidad [kWh/año]
2020	0,00	0,00	0,35	5,00	0,00	0,85	0,00
2021	74.366,08	8,49	0,35	5,00	14,86	0,85	110.619,54
2022	143.014,62	16,33	0,35	5,00	28,57	0,85	212.734,24
2023	206.385,21	23,56	0,35	5,00	41,23	0,85	306.998,00
2024	264.883,64	30,24	0,35	5,00	52,92	0,85	394.014,41
2025	318.884,49	36,40	0,35	5,00	63,70	0,85	474.340,68
2026	368.733,56	42,09	0,35	5,00	73,66	0,85	548.491,18
2027	414.750,06	47,35	0,35	5,00	82,86	0,85	616.940,71
2028	457.228,64	52,20	0,35	5,00	91,34	0,85	680.127,59
2029	496.441,30	56,67	0,35	5,00	99,17	0,85	738.456,44
2030	532.639,16	60,80	0,35	5,00	106,41	0,85	792.300,75
2031	566.053,99	64,62	0,35	5,00	113,08	0,85	842.005,31
2032	596.899,77	68,14	0,35	5,00	119,24	0,85	887.888,41
2033	625.374,01	71,39	0,35	5,00	124,93	0,85	930.243,84
2034	651.659,05	74,39	0,35	5,00	130,18	0,85	969.342,84
2035	675.923,20	77,16	0,35	5,00	135,03	0,85	1.005.435,76

Potencia disponible KW= Q CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/día \* rendimiento térmico \* PCI (Kwh/m<sup>3</sup>)  
 Electricidad = Q CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/año \* rendimiento térmico \* PCI (Kwh/m<sup>3</sup>)

También se calculó para un escenario con rendimiento de 35% y captación del 20% (Tabla 36). Luego se comparó ambos resultados (Tabla 37).

**Tabla 36.** Cálculo de la potencia disponible y la energía producida para un escenario medio con un rendimiento de 35% y para una captación del 20%. Considerando una masa de RSU ingresada anual de 11.460 Ton.

Año	Q CH <sub>4</sub> n= 20%	Q m <sup>3</sup> / hora	Rendimiento %	PCI Kwh/m <sup>3</sup>	Potencia disponible KW	Factor de disponibilidad	Electricidad [kWh/año]
2020	0,00	0,00	0,35	5,00	0,00	0,85	0,00
2021	14.861,54	1,70	0,35	5,00	2,97	0,85	22.106,55
2022	28.580,48	3,26	0,35	5,00	5,71	0,85	42.513,46
2023	41.244,65	4,71	0,35	5,00	8,24	0,85	61.351,42
2024	52.935,16	6,04	0,35	5,00	10,57	0,85	78.741,04
2025	63.726,85	7,27	0,35	5,00	12,73	0,85	94.793,69
2026	73.688,84	8,41	0,35	5,00	14,72	0,85	109.612,15
2027	82.884,92	9,46	0,35	5,00	16,56	0,85	123.291,32
2028	91.373,97	10,43	0,35	5,00	18,25	0,85	135.918,78
2029	99.210,35	11,33	0,35	5,00	19,82	0,85	147.575,39
2030	106.444,24	12,15	0,35	5,00	21,26	0,85	158.335,80
2031	113.121,96	12,91	0,35	5,00	22,60	0,85	168.268,91
2032	119.286,27	13,62	0,35	5,00	23,83	0,85	177.438,33
2033	124.976,65	14,27	0,35	5,00	24,97	0,85	185.902,77
2034	130.229,54	14,87	0,35	5,00	26,02	0,85	193.716,43
2035	135.078,56	15,42	0,35	5,00	26,98	0,85	200.929,35

**Tabla 37.** Cuadro comparativo de la potencia disponible por año, si la captación es de 20% y 100%. (Comparación de resultados de potencia disponible anual obtenidos según tablas N°35 y 36).

Año	Potencia disponible KW, captación 20 %	Potencia disponible KW Captación 100%
2020	0,00	0,00
2021	2,97	14,86
2022	5,71	28,57
2023	8,24	41,23
2024	10,57	52,92
2025	12,73	63,70
2026	14,72	73,66
2027	16,56	82,86
2028	18,25	91,34
2029	19,82	99,17
2030	21,26	106,41
2031	22,60	113,08
2032	23,83	119,24
2033	24,97	124,93
2034	26,02	130,18
2035	26,98	135,03

#### 4.9.2 Energía eléctrica producida.

La energía eléctrica a generar se estimó en función de la potencia disponible y un factor de disponibilidad de 85 % por mantenimiento (Tablas 36 y 37).

Se consideró el uso de moto-generadores para biogás con potencias que varían de acuerdo a la disponibilidad de biogás existente. Las características principales de estos equipos para potencias cercanas a los 150 y 300 Kw, es que los generadores pueden soportar variaciones de presión del biogás de 3 kPa a 10 kPa, mientras que la frecuencia de esa variación no debe superar 1 kPa por minuto.

Algunas de las recomendaciones para el uso de biogás en moto generadores son (Blanco, G. *et al.* 2017).

- El contenido de metano en el biogás no debe ser menor a 45% y su frecuencia de fluctuación no debe superar 2% por minuto. Se debe adaptar el equipo para contenidos de metano entre 30% y 45%.
- El contenido de H<sub>2</sub>S no debe superar los 200 mg/Nm<sup>3</sup> y el contenido de NH<sub>3</sub> no debe superar los 20 mg/Nm<sup>3</sup>.
- El contenido de las impurezas no debe superar los 30 mg/Nm<sup>3</sup> y la granularidad no debe superar los 5Qm.
- El contenido de agua en el biogás no debe superar los 40 g/Nm<sup>3</sup>.

Por otra parte, la tecnología para la producción de electricidad requiere la instalación de filtros para la remoción de sulfuro de hidrógeno y siloxanos, por lo que generalmente se recurre a filtros de carbón activado con una vida útil que depende del plan de operación y mantenimiento. En general se dimensionan para una vida útil de un año con controles periódicos para asegurar la capacidad de remoción del filtro.

## 5. DIAGRAMA DE LA PROPUESTA

### 5.1 Sobre los vertederos controlados para disposición de residuos sólidos urbanos consideraciones.

Importancia de la caracterización del entorno para la construcción de un vertedero.

Las características climáticas (lluvias, temperaturas, humedad) afectan la degradación de la materia orgánica; otras como la topografía, el nivel freático, los vientos, la sismicidad y tipo de suelo, van a condicionar el diseño, operatividad y funcionamiento del vertedero son la topografía, las aguas superficiales y subterráneas. la sismicidad, la característica del suelo, los vientos y las características climatográficas.

Según lo analizado en el capítulo 4 y resumido en Tabla 1. Los Parámetros climáticos para la región de Tafí Viejo son:

Temperatura media anual (°C) 20 °C

Precipitación media anual (mm) - isohieta 1000 mm

Índice de Dantín-Revenga (IDR)- 1,51

El Índice de Dantín Revenga se encuentra entre 0 y 2, zona húmeda.

### 5.2 Diseño de vertederos.

Respecto al diseño de los vertederos a construir, dependerá de las condiciones hidrogeológicas de cada emplazamiento. Existen diseños básicos (anteproyecto) que todos los vertederos controlados deberán cumplir como mínimo.

En el diseño mismo de la ingeniería básica de los vertederos controlados están incorporadas consideraciones ambientales con el objeto de minimizar los posibles impactos de este tipo de instalaciones.

Junto al diseño de los vertederos controlados deben delinearse manuales de operaciones, de higiene y seguridad del personal, así como las operaciones de monitoreo ambiental y control de vectores.

Estas herramientas permiten garantizar una correcta operación de los mismos, mientras que, por otro lado, permiten establecer términos de referencia para llevar adelante la supervisión y control de las operaciones.

La ingeniería básica de los vertederos considera dos tipos de instalaciones, que son denominadas: Básicas y complementarias con las que contarán obligatoriamente todos los vertederos controlados que permitirán alcanzar un mínimo de prestaciones y calidad de las operaciones (Figura 27).

El siguiente listado comprende las denominadas instalaciones básicas:

- Cerco perimetral.
- Control de accesos con barreras y casilla de control.
- Oficinas administrativas.
- Instalaciones y núcleos sanitarios para el personal.
- Instalaciones para mantenimiento general.
- Balanza para camiones.
- Sistema de control y extracción de lixiviados.
- Tratamiento de lixiviados. (lagunas, incineración, nanofiltración, ultrafiltración, otros).
- Red de monitoreo freaticométrico.
- Área de recepción de residuos de particulares.
- Área de pre procesamiento de residuos.
- Módulos para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos, con sistemas de impermeabilización de bases y taludes, sistemas de cobertura intermedia y final de los mismos.
- Sistema de control y gestión de gases del vertedero: extracción, conducción, almacenamiento y tratamiento de gases ya sea para su quema o aprovechamiento energético.
- Tratamiento del paisaje, mediante barreras forestales y visuales.



Figura 27. Esquema corte de un vertedero controlado.

### 5.3 Operación del vertedero

En una instalación o planta de disposición final de residuos se deben desarrollar los siguientes pasos metodológicos:

- Preparación del predio con obras de cercado perimetral, instalación de báscula, casilla de control de ingresos, control del drenaje, etc.
- Preparación de la base y taludes de las celdas de disposición final, pueden ser bajo o sobre el nivel topográfico, mediante la colocación o construcción de barreras de muy baja permeabilidad (naturales o sintéticas), y los elementos de drenaje y protección que correspondan según proyecto (Figura 28)
- Aceptación o rechazo de los residuos en el control de ingresos, registro.
- Disposición de los residuos sobre la superficie de trabajo, en capas del menor espesor posible técnica y económicamente.
- Compactación de dicha capa para reducir su volumen.
- Cobertura diaria de la capa de residuos, históricamente se ha hecho con capas de suelo, pero nada impide que se utilicen otros materiales que

- cumplan con las funciones de separar los residuos de los agentes atmosféricos.
- Extracción y tratamiento complementario de los líquidos lixiviados previamente a su reintroducción en el ciclo natural. Una alternativa viable es la recirculación de los lixiviados en el depósito de residuos.
  - Extracción y tratamientos complementarios de los gases de vertedero según el uso del biogás puede tratarse de filtrado, desulfuración, lavado, desnitrificación, entre otros.
  - Tratamiento de la superficie final del vertedero para su habilitación para otros usos.
  - Controles post-clausura.



Figura 28. Preparación de suelo para la instalación de nuevas celdas de relleno sanitarios.

#### 5.4 Descripción de sistema integral de captación, conducción y tratamiento del biogás.

Para la extracción del biogás se realizan pozos de extracción dentro de los módulos de relleno, dependiendo del área de producción de biogás. Estos pozos poseen una tubería de PVC interior para evitar la corrosión. El pozo comprende una sección de tubo sin perforar que evita infiltraciones (ej. oxígeno), el resto de la tubería está perforada permitiendo la penetración del biogás. La construcción y el funcionamiento de los pozos de captación dependen del radio que posean, del

sellado circundante, de la altura del residuo acumulado en los puntos de perforación y características de la masa a perforar.

La salida de los pozos se conecta a una cámara de bombeo. Cuenta con un separador de agua, de un filtro purificador de  $H_2S$  con óxido de hierro que absorbe el  $H_2S$ , y que evita su concentración.

Esta instalación posee además un filtro de sólidos antes de llegar al soplante, que posee un bypass para permitir el paso libre del biogás en caso se tenga problemas con el filtro.

La conducción del biogás debe realizarse mediante tuberías de polietileno de alta densidad, de pared ciega para evitar la entrada de aire.

El espesor de estas tuberías se tiende a sobredimensionar para aumentar el grado de seguridad de la instalación. Es común para este tipo de instalaciones utilizar tubería PN6 (de presión de trabajo a 6 bares), aun cuando en la conducción o transporte del biogás se realice en milibares.

Cada pozo debe conectarse a una única línea de conducción y cada línea se conecta a dos pozos; el extremo de esta conexión va hacia las entradas de la estación de regulación y medida; en ella se toman las muestras del gas. El gas se deberá analizar y, en función de sus características, se deberá ajustar la aspiración en cada línea.

Se deben tener en cuenta en la captación y conducción las condiciones de presión, temperatura, composición y humedad necesarias para su utilización en grupos de Motor - Generador.

Cuando el biogás tiene una concentración de  $CH_4$  inferior a la deseada, se cierra parcialmente la válvula de regulación correspondiente, de forma que disminuya el caudal de biogás captado. En caso que el biogás tenga un porcentaje mayor al deseado, se aumenta la captación en el pozo.

En la estación de regulación se obtienen muestras y medidas del biogás, se analiza la concentración de oxígeno en el gas con el fin de detectar posibles filtraciones de aire en el sellado o en las líneas de conducción.

La estación de regulación se conecta con la estación de extracción; en esta estación se disponen los soplantes que ponen en depresión a toda la red de captación de biogás y a su vez lo impulsa hacia el grupo Motor – Generador.

Para evitar cambios bruscos en el sistema de conducción del caudal de gas extraído hacia los grupos de generación y para asegurar la combustión correcta del biogás captado, se emplean dos sistemas simultáneamente:

- Un gasómetro: en él se almacena el biogás, además de realizar la función de amortiguar las puntas de producción y puntas de consumo.
- Una antorcha: que quema el exceso de biogás captado y que en dicho momento no puede ser consumido en los grupos generadores, ni almacenado en el gasómetro.

Es importante que la antorcha sea flexible, pues al hacer la función de amortiguador en el caudal del gas debe de trabajar más rápidamente que el gasómetro. (Figuras 29, 30 y 31)



Figura 29. Esquema vertedero controlado con aprovechamiento del biogás. (Weihs, 2011)

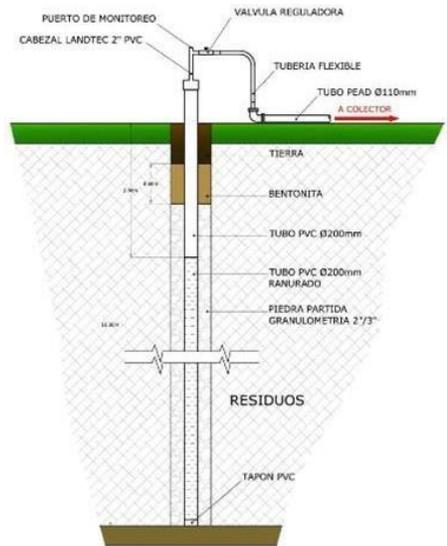


Figura 30. Esquema de la extracción de biogás en un vertedero controlado. (Weihs, 2011).

Colectores



Figura 31. Fotos colectores y cabezales para extracción de biogás en un vertedero controlado. Captación vertical (Weihs, 2011).

6. ALTERNATIVAS DE SITIO DE UBICACIÓN DEL VERTEDERO

Se analizaron 3 alternativas de ubicación para el vertedero cuyas ubicaciones se indican en Figura 32.

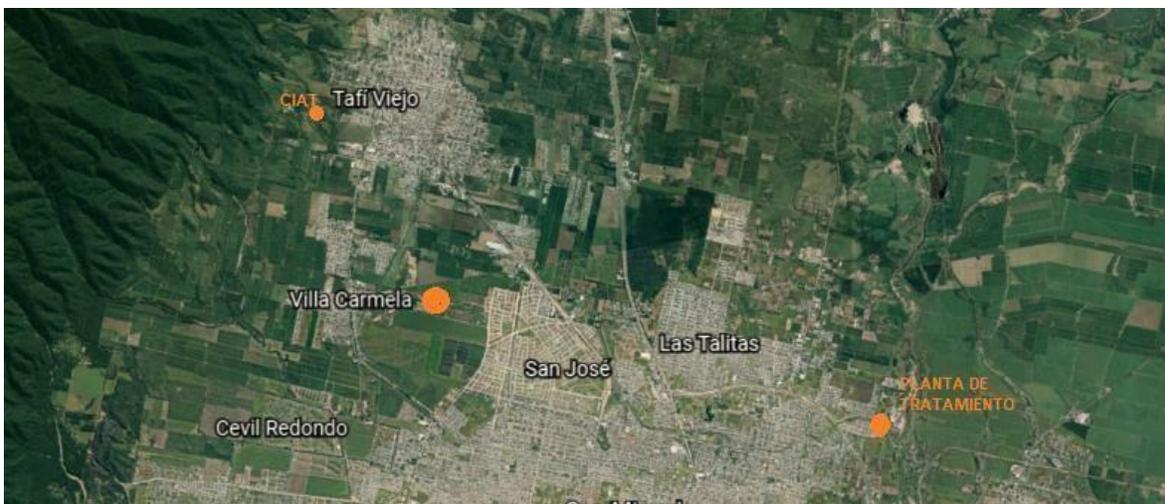


Figura 32. Alternativas propuestas para ubicación del vertedero.

#### Alternativa 1.

La primera alternativa de ubicación es la propiedad donde hoy se encuentran las instalaciones de CIAT, para lo cual tienen disponibles 3 has.

Es zona de reserva, las normativas ambientales vigentes condicionan el uso del suelo ya que, en el límite Norte de la propiedad se ubica el área protegida universitaria. El parque comienza con una cota 700 msnm (altura sobre el nivel del mar) y el CIAT está a 689 msnm.

Es un sector de pendientes pronunciadas debe tenerse en cuenta un diseño de canalizaciones adecuadas de manera que no afecten el funcionamiento del vertedero.

En relación a los RSU, con una previa separación, solo se agregaría al ingreso actual, la fracción orgánica de los RSU.

Se analizaron otros sectores en el departamento Tafí Viejo para posible ubicación, teniendo en cuenta áreas de recuperación de suelos (cavas inactivas) y se proponen otras alternativas.

#### Alternativa 2.

Se trata de un sector cercano a la ubicación de la planta de tratamiento de líquidos cloacales (figura 33) donde los lixiviados del vertedero junto a los lodos extraídos pueden tratarse mediante la tecnología de incineración.



Figura 33. Ubicación alternativa 2. Las Talitas departamento Tafi Viejo.

### Alternativa 3.

En el sector de canteras inactivas ubicadas en Villa Carmela, según se muestra en las Figuras 34 y 35, esto permitiría la restauración de suelo afectado por las cavas.



Figura 34. Imagen satelital de la ubicación de cavas en Villa Carmela.

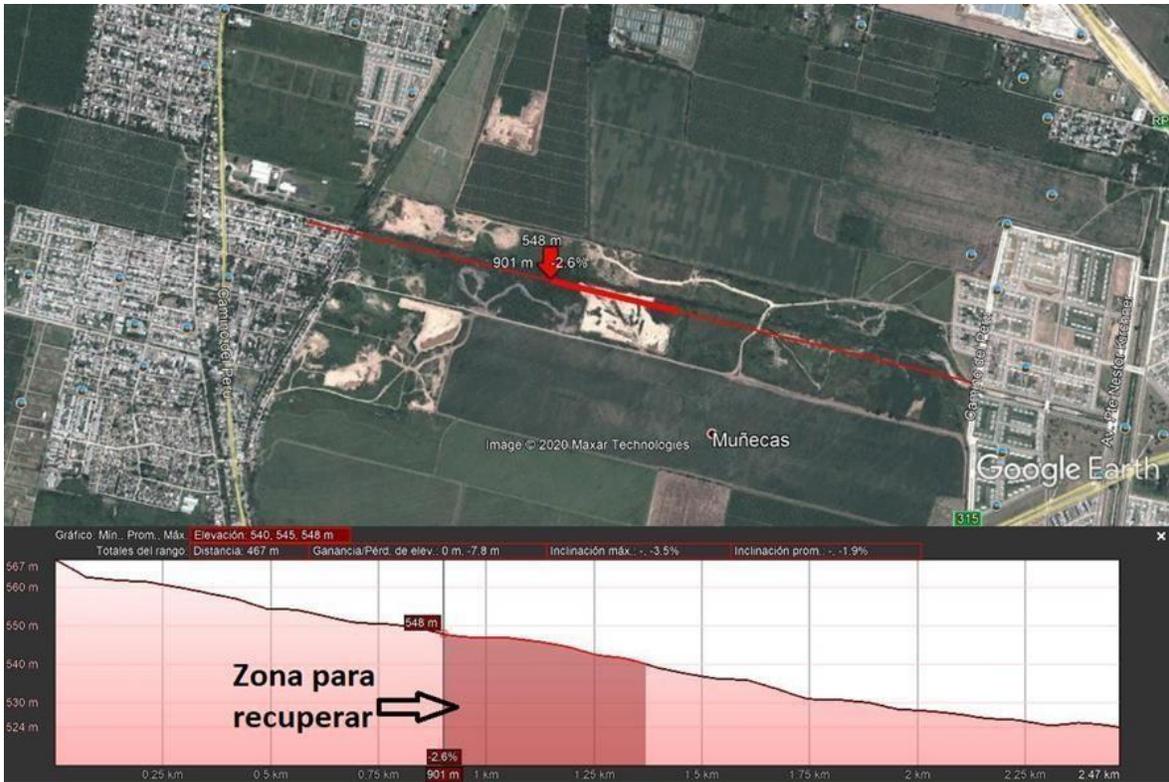


Figura 35. Ubicación, superficie y profundidad del sitio propuesto para emplazamiento de vertedero

## 6.1 Análisis de las propuestas de ubicación.

### Alternativa 3.

- Son canteras de arcillas que están en el ejido municipal de Tafi Viejo.
- Son cavas que pueden recuperarse y que ya han sido, en parte, usadas como depósitos de RSU.
- Escasa población en el sector. Mediante ordenanza se puede impedir la colonización cercana.
- Pendiente moderada factible de resolver con diseño adecuado de movimientos de suelo para canalizaciones y resguardos.
- Se enmarca dentro de lo dispuesto en ley provincial N° 8177.

### Alternativa 2

- Zona de pendiente pronunciada
- Emplazada en un sector muy próximo a la reserva de Parque San Javier.

- Zona de reserva acuífera.

#### Alternativa 1

Ubicar el vertedero en las canteras cercanas al río, implicaría la aplicación de diferentes recursos tecnológicos para cumplir con la Ley N° 8177 del año 2009, que incrementarían los costos de la planta. Además, se consideró:

- La logística de traslado de los RSU teniendo en cuenta la distancia.
- Profundidad de napa freática (napa freática alta).
- Si bien se encuentran en el departamento Tafí Viejo pertenecen al municipio de las Talitas.

Surge del análisis la conveniencia de la alternativa 3. En este sector se verificó la disponibilidad de superficie para el volumen de RSU a tratar.

Se consideró:

ancho de 100 m x 230 m (útiles de cava) x 16 m

Volumen disponible para relleno= 736. 000 m<sup>3</sup>

Para verificar si el volumen es suficiente para el RSU a disponer en los años contemplados de funcionamiento del vertedero, fue necesario realizar una proyección de población y de masa RSU.

Se consideró una masa de RSU inicial diaria de 43.263,23 Kg que varía según la proyección poblacional como se indica en la Tabla 38.

La densidad del RSU en vertederos controlados varía (baja, media y alta densidad) en función de la compactación en el vertedero. Para el cálculo del volumen de RSU que se depositarán en 15 años se consideró una densidad de RSU =350 kg /m<sup>3</sup>

Si el total de RSU a disponer en 15 años es de 187.029.179,04 Kg el volumen necesario aproximados se calculó en:

Volumen necesario para 15 años = 534.369,083 m<sup>3</sup>.

**Tabla 38:** Masa de RSU anual a disponer en vertedero.

Año	Evolución de la población considerando método de tasa constante	Producción de RSU en radio servido por día (Kg)	Producción de RSU en radio servido anual (Kg)
2020	90.000,00	43.263,23	10.383.175,20
2021	91.260,00	43.804,80	10.513.152,00
2022	92.720,16	44.505,68	10.681.362,43
2023	94.213,68	45.222,57	10.853.415,94
2024	95.710,94	45.941,25	11.025.900,29
2025	97.242,32	46.676,31	11.202.315,26
2026	98.798,19	47.423,13	11.381.551,49
2027	100.378,96	48.181,90	11.563.656,19
2028	101.985,03	48.952,81	11.748.675,46
2029	103.616,79	49.736,06	11.936.654,21
2030	105.274,66	50.531,84	12.127.640,83
2031	106.959,05	51.340,34	12.321.682,56
2032	108.670,40	52.161,79	12.518.830,08
2033	110.409,12	52.996,38	12.719.130,62
2034	112.175,67	53.844,32	12.922.637,18
2035	113.970,48	54.705,83	13.129.399,30
Total de RSU en 15 años (kg)			187.029.179,04

La producción total de RSU en los 15 años alcanzará los 187.029.179,04 Kg.

## 6.2 Evaluación ambiental para determinar la potencial reducción de gases de efecto invernadero con el proceso.

En el relevamiento realizado para conocer la gestión de los RSU en el municipio de Tafí Viejo se conocieron acciones institucionales que incorporan conceptos de economía circular, también puede observarse la predisposición de la población en prácticas de manejo de RSU. El municipio cuenta con una planta para tratar y comercializar residuos inorgánicos reciclables, CIAT; los residuos orgánicos e inorgánicos no reciclados se trasladan a la planta de disposición final perteneciente al Consorcio Público Metropolitano (CPM).

Los caudales de metano que puede producir el vertedero controlado de Tafí Viejo, alcanzan los valores que se muestran en Tabla 33, según los cálculos realizados con el modelo Landgem 3.2.

Se observó que la producción de biogás del vertedero es sensible a las condiciones ambientales y operativas del mismo. El volumen de biogás producido está condicionado a características climáticas del sitio de emplazamiento (temperatura, precipitación pluvial), a características de RSU dispuesto (degradabilidad, PCI; humedad), al manejo del vertedero (altura, características de permeabilidad, compactación de la cobertura, recirculación de lixiviados).

Se analizó que, debido a las tecnologías utilizadas en el vertedero, en relación a la captación y cobertura de la superficie, el volumen recuperable del biogás generado se reduce, verificándose escenarios donde solo se capta el 30 % o el 20% del caudal producido, tabla 34.

Se debe tener en cuenta que el aumento en la extracción y captación del biogás aporta a la disminución de la contaminación ambiental ya que, el biogás que no puede ser tratado se entrega al medio ambiente. Siendo el principal componente del biogás el metano (50-70 %) y que este es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono, las tecnologías aplicadas para evitar fugas en el vertedero toman relevancia.

En relación a las alternativas planteadas para la ubicación del vertedero, se consideró adecuada la alternativa 3.

Se analizó que la logística de recolección y traslado de los RSU puede ser óptima y ágil por su cercanía al ejido municipal y la buena conectividad existente.

Se observó las posibles mejoras en las condiciones ambientales del entorno que pueden surgir a partir de la ejecución de la propuesta ya que, los terrenos, en la actualidad se utilizan como depósitos de residuos (micro basurales).

Se consideró que las condiciones físicas del entorno en relación al suelo (molisoles) y al relieve son favorables, porque se trata de un terreno con poca pendiente que implicaría movimientos de suelos de baja envergadura y poco impacto para la implantación de un vertedero, contemplando el uso de técnicas de drenaje e impermeabilización apropiadas, además cuenta con la superficie suficiente para destinar a vertedero, en los próximos 15 años, que es el intervalo analizado.

Debe tenerse en cuenta en el análisis de la propuesta las disposiciones de la Secretaría de Medio Ambiente de la provincia (SEMA) y su certificación de aptitud ambiental.

En un contexto general sobre la problemática ambiental que generan los RSU en el gran San Miguel de Tucumán, se observa la próxima colmatación de la superficie destinada a la planta de disposición final de Overo Pozo, considerando que en 10 años de funcionamiento ocupó el 50 % de su superficie, esto implica que en los próximos 8 años ocupará la totalidad si no se realizan acciones en la gestión de RSU por el CPM y/o los municipios y localidades que lo componen. Además, debe considerarse la relevancia de la captación del biogás teniendo en consideración el daño ambiental que provoca,

### 6.3 Valoración del aporte energético de los RSU a la eficiencia energética de las urbanizaciones.

En la tabla 37 podemos observar la importancia del uso de las tecnologías de captación de biogás en relación a la potencia disponible y a la energía producida, se analizaron dos escenarios de captación del 20 % y 100%. En condición de captación baja, de un 20%, se observa que la potencia obtenida permitiría abastecer de energía eléctrica a la planta, se trata de una planta de menores dimensiones, que requiere de menos potencia disponible que Overo Pozo. Según datos provistos por la empresa de servicio eléctrico de la provincia de Tucumán, EDET SA, la planta de disposición de Overo Pozo tiene un consumo bimestral de 5000 Kwh.

Si se mejoran las tecnologías aplicadas en la captación y transporte del biogás sería posible aprovechar el 100% de la producción en el vertedero y la potencia disponible se quintuplicaría. Esto posibilitaría la extensión en el abastecimiento eléctrico a la urbanización vecina.

## 7. CONCLUSIONES

El Municipio de Tafi Viejo promueve la separación en origen y realiza un apoyo logístico para la recolección y transformación, en un activo disponible, de

una fracción del RSU producido en su ejido. El ímpetu de la comunidad taficeña y el acompañamiento de sus autoridades propician proyectos de economía circular, en este caso, que la totalidad de los RSU sean sosteniblemente aprovechables, ya sea por reciclaje, reutilización, redefinición y transformación en energía, debe tenerse en cuenta que en dicha circularidad interviene eficiencia energética asociada a los procesos y aprovechamiento de la energía residual.

Se estudiaron 3 alternativas para la ubicación de un vertedero controlado. La elección de la Alternativa 3 se supeditó, al cumplimiento de lo establecido por Ley N° 8177 (Ley provincial de gestión integral de los residuos sólidos urbanos) para la certificación de aptitud ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente de la provincia (SEMA) conforme a las previsiones de su Decreto reglamentario N° 203/9(MDP) del 08/02/10, a la aceptación social, a la viabilidad económica y, en este caso, a la posibilidad que ofrece para la remediación de espacios alterados por actividades lesionantes.

Es factible captar el biogás de la celda propuesta, pero se evidencia la necesidad de investigar tecnologías y técnicas operativas para optimizar la extracción y captación de biogás del vertedero mediante diseños de disposición de pozos de extracción, diseños de cobertura, estrategias que permitan la disminución de pérdidas en cañerías colectoras y de transporte, con la finalidad de incrementar el rendimiento del vertedero y por consecuencia aumentar la potencia disponible.

Estudios a futuro: Este trabajo abre un campo de posibilidades para continuar investigando y analizando alternativas, como, proyectos conjuntos entre los municipios y comunas del departamento de Tafi Viejo.

También otros usos de biogás, como combustible para tratar de manera conjunta los lixiviados resultantes del vertedero y los lodos resultantes de planta de tratamiento de líquidos cloacales, como una acción combinada para aliviar el costo en la logística que estos procesos implican.

En ese sentido, sería conveniente considerar sitios dentro del departamento de Tafi viejo para el emplazamiento.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alanís. S., Martínez S. 2013. *Diagnóstico para planta de Lixiviados*.
- ASTM D 2015-96. 1996. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428- 2959, United States.
- ASTM D 3177-02. 2002. Standard Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke.
- ASTM D 4687-95, revalidada en el 2001 Guía estándar para la planificación general de muestreo de residuos”, establece un plan apropiado y representativo de la población, teniendo presente las condiciones de seguridad y calidad en la operación.
- ASTM D-5115-90 revalidada en el 2004. Método de prueba estándar para recolectar muestras brutas y determinar la calidad del combustible de RDF (2004)
- ASTM D 5231-92. 1992. Método de prueba estándar para la determinación de la composición de Residuos Sólidos Urbanos No Procesados. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM D 5142-02. 2002. Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA.
- ASTM E 776-87. 1987. Standard Test Method for Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Blanco G, Estela Santalla, Verónica Córdoba, Alberto Levy, marzo 2017, *Generación-de-electricidad-a-partir-de-biogás-capturado-de-residuos-sólidos-urbanos-Un-análisis-teórico-práctico*.

- BP. 2019. BP (British Petroleum) Energy Outlook 2019 edition. Disponible en:  
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>.
- González, L. 2011. *Residuos sólidos urbanos argentina tratamiento y disposición final situación actual y alternativas futuras*. González área de pensamiento estratégico. Cámara de la construcción:
- Cárdenas, G. 2011. *Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación*. Revista de la bolsa de comercio de Rosario. Año C - Nº1514, 32-36. Disponible en:  
<https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/revista.aspx>.
- Carilla L. 2008. *Estudio geo ambiental de los suelos dedicados a la fabricación de ladrillos*. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. UNT.
- Castelluccio, G.F.; Sirombra M.G. y Gutiérrez, A. 2007. Índice de vulnerabilidad ambiental en urbanizaciones del NOA. Propuesta para su estimación: caso Tafí Viejo, Tucumán. *Índice de vulnerabilidad ambiental en urbanizaciones del NOA. Propuesta XXI CONAGUA 2007*. 25 pp. 10 mapas. San Miguel de Tucumán.
- *Censo 2010*  
[http://sep.tucuman.gob.ar/dataset/poblacion\(INDEC,2010\)\(http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2D\\_90\\_105.pdf](http://sep.tucuman.gob.ar/dataset/poblacion(INDEC,2010)(http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2D_90_105.pdf).
- Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado, 2009. Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos CEAMSE
- Costilla, R., 2018. *Aportes metodológicos para la evaluación de impacto ambiental de proyectos de gestión integral de residuos sólidos urbanos en Tucumán (Argentina)*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental Facultad Regional Tucumán. Universidad Tecnológica Nacional.
- Cuartas Hernández, Miguel; 2012. *Optimización del diseño de vertederos de Residuos sólidos basados en la modelización, Tesis doctoral*

- De Luca M., Giorgi N., Lungo M. de los A. 2015. *Estudio de estrategia y factibilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) para la república argentina. Área de Pensamiento Estratégico*
- Directrices del IPCC (2006) *para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero* Editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kioko Miwa, Todd Ngara y Kiyoto Tanabe.  
Disponible: [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_6\\_Ch6\\_Wastewater.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf).
- Dominguez, EG; Silva, IR; Bradl, H. 2008. Evaluation of the methane and electrical Energy potential and carbon credit revenues from the landfill transmission and distribution. Conference and exposition Latin America IEEE 2006.
- Dominguez E. G, Silva I.R. y Bradl H. (2008). *Evaluation of The methane and electrical Energy potential and carbon credit revenues from the landfill transmission and distribution*. Conference and exposition Latin America IEEE 2006.
- Estudio de Energías renovables para el futuro, Energías alternativas 2016, Agencia TSS- Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).
- Falzone, Sergio. 2019. capacitación CFI Gestores de Eficiencia Energética. CFI UTNFRT
- Femayor Garay et al., 2016. Pirolización de RSU: *Caracterización energética de los residuos y análisis de tecnologías aplicables para la generación de energía eléctrica*. III Congreso Argentino de Ingeniería. IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería. Resistencia. Chaco. Argentina. Actas del III Congreso Argentino de Ingeniería: CADI 2016. 1º Edición: 1970-1976.
- García, R; Pizarro, C; Lavín, AG; Bueno, JL. 2011. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology* 103 (2012) 249-258.
- García, F. 2003. *Determinación cuantitativa y cualitativa de los contaminantes atmosféricos emitidos por la disposición de residuos sólidos*

*en rellenos sanitarios, estudio de caso. Relleno Sanitario Curva de Roda*  
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

- García Darás et. al, 2013.
- García, F. 2003. *Determinación cuantitativa y cualitativa de los contaminantes atmosféricos emitidos por la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios, estudio de cas. Relleno Sanitario Curva de Roda* Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Garrido Vergara E.,.2008 Tesis doctoral “*Metodología de diagnóstico ambiental de vertederos, adaptación para su informatización utilizando técnicas difusas y su aplicación en vertederos de Andalucía*”.
- Gendebien (1992), A. “*Landfill Biogas. From Environment to Energy*”. Commission of the European Communities. Final Report EUR 14017/1 EN, Luxemburg, 1992.
- González, G.L. 2010. *Residuos sólidos urbanos Argentina. Tratamiento y disposición final. Situación actual y alternativas futuras*. Buenos Aires. ISBN 978-987-26993-5-2.
- González, Gisela Laura. *Residuos sólidos urbanos Argentina: situación actual y alternativas futuras* - 1a ed. - Buenos Aires: FODECO, 2011.
- Grimaldi, P. y De La Vega, E. 2007. *Estudio Hidrogeológico del Municipio de Tafí Viejo*. Tucumán. XXI CONAGUA 2007. San Miguel de Tucumán. Índice de autor N°64. Con CD.
- Grimaldi, P.; Lizárraga, L. y Masmut P. 2007. *Características hidrogeológicas del subálveo y de los acuíferos en el municipio de Yerba Buena, Prov. De Tucumán*. En V Congreso Argentino de Hidrogeología. Paraná. Entre Ríos. Argentina. Pp (514-520). Editores: Díaz, E.L.; Tomás, J. R.; Santi, M.; Paris, M.; Dalla costa, O. ISBN 978-987-23936-3-2.
- IDAE, Madrid 2011. *Situación y potencial de valoración directa de los residuos Estudio técnico PR 2011-2020*.

Disponible

en:

[https://www.documentos\\_11227\\_e15\\_residuos\\_c3ead071.pdf](https://www.documentos_11227_e15_residuos_c3ead071.pdf)

- IDEP. 2017. Dirección de estadísticas de la provincia de Tucumán. Generación de energía eléctrica en Tucumán – Informe febrero 2017, disponible en: <http://estadistica.tucuman.gov.ar>.
- Incidencia de la pobreza en Tucumán en el segundo semestre de 2019. Artículo de la gaceta, 31 de julio 2020. Observatorio de la Fundación León, con datos de Observatorio de la deuda social de Universidad católica Argentina, UCA e INDEC
- Informe del Banco Mundial. Septiembre 2018 “Waste 2.0: A Global Snapshot of solidwaste Management to 2050”. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- IEA. 2017. Global oil supply to lag demand after 2020 unless new investments are approved soon. International Energy Agency. 6 de marzo de 2017. Disponible en: <https://www.iea.org/>
- IIE 2007, IPCC 2006, Kumar et al. 2004a, SCS Engineers 2009
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2015. *Clima y Agua. Datos históricos. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Gobierno de la Nación Argentina*. Disponible en: <http://siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos/>. Página consultada: enero de 2015.
- IPCC 2013. Informe del Grupo de trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren\\_report\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf) 19428-2959, United States.
- Ley Nacional N° 25916 Gestión de residuos domiciliarios <http://www0.unsl.edu.ar/~atissera/Leyes%20Nacionales/Ley%20PPMM%2025916%20Residuos%20Domiciliarios.pdf>

- Ley provincial N° 8.177 - Ley de gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Año 2009  
<https://www.ecolex.org/details/legislation/ley-no-8177-ley-de-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-urbanos-lex-faoc109739/>
- Miembros de la Mesa de Biogás. 2010. El sector del biogás agroindustrial en España. Disponible en:  
<http://www.mapama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-ycondicionantes-de-la-produccion-ganadera/DOCBIOGASVersion21-09->
- Ortiz de D'Arterio P., Viviana del Valle Pérez y André Cardoso Magalhaes; 2009. *Expansión periurbana y calidad de vida en el Gran San Miguel de Tucumán.*
- Panesso, AF; Cadena, JA; Mora Flores, JJ; Ordoñez, MC. 2011. *Análisis de biogás captado en un relleno sanitario como combustible primario para la generación de energía eléctrica.* Scientia et technica. 1(47): 23-28. 2010\_tcm7-5925.pdf. Página consultada: octubre de 2017.
- Planning Guide for Municipal Solid Waste Management (MSWM) - World Bank (Step 2 - Defining the Baseline),
- Puchulu, M. E.; Sesma, P.; Guido, E. (2010). *Geología de la Ladera oriental de la Sierra de San Javier, Soporte físico para la gestión territorial.* En: Ecología de una interface natural – urbana. La Sierra de San Javier y el Gran San Miguel de Tucumán.
- Puchulu. M. E. y Fernández, D. S. (2014). *Características y Distribución Espacial de los Suelos de la Provincia de Tucumán.* En Moyano, S. Puchulu, M. E.; Fernandez, D.; Aceñolaza, G.; Vides, M. E.; y Nieva, S. (eds.). Geología de Tucumán 2014. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Quaiá, E. 2014. *Purificación y utilización del Biogás. Producción de biogás.* Especialización en Ingeniería Bioenergética.
- Ruiz, A.; Busnelli, J. 2014. *Hidrografía. En Geología de Tucumán. Edición. Moyano,*

- Sáez, A; Urdaneta, G; Joheni, A. *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Disponible en: ISSN 1315-8856.
- Secretaría de Energía de la Nación, 2018.  
Disponible en: <https://www.minem.gob.ar/energia-electrica/>
- Sal, T. 1996. *Características Hidrogeológicas de la Ciudad de Tafí Viejo y sus alrededores*
- *Secretaria de Estado de gestión pública y Planeamiento, 2015*  
*Diagnóstico Municipal Tafí Vejo.*
- Tchobanoglous, G., H. Theisen, y S. Vigil, 1994. *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: McGraw Hill.
- Toledo, M. A.; Fernández, R. I. y Sayago, J. M. (2001). *El Embalse Río Hondo como geo- indicador del creciente deterioro ambiental de sus cuencas de aporte*. 30 Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación de Territorio del Área del Mercosur. Mar del Plata. Argentina. Formato digital.
- UnitedNation1998. Framework Convention on Climate Change. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- US EPA 2,005; Sharma y Reddy, 2004.
- *Weihs, J.P. 2011. Concepto Básico sobre Biogás. Global Methane Initiative.* Disponible en: [https://www.globalmethane.org/documents/events\\_land\\_2011\\_06272\\_weihs.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/events_land_2011_06272_weihs.pdf). Página consultada: octubre de 2017.
- *Weiland, P. (2006). "Biomass Digestion in Agriculture: A succesful pathway for Energy Prod. and Waste Treatment in Germany"*. Engineering in Life Science. 6 (3):302-309.
- *Weihs, J.P. 2011. Conceptos básicos sobre biogás Global Methane initiative.* Disponible en:  
[https://www.globalmethane.org/documents/events\\_land\\_201106272\\_weihs.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/events_land_201106272_weihs.pdf)
- Actualización demográfica de gestión municipal. 2015. Disponible en: <https://www.municipalidad-argentina.com.ar/municipalidad-tafi-viejo.html#demography>.

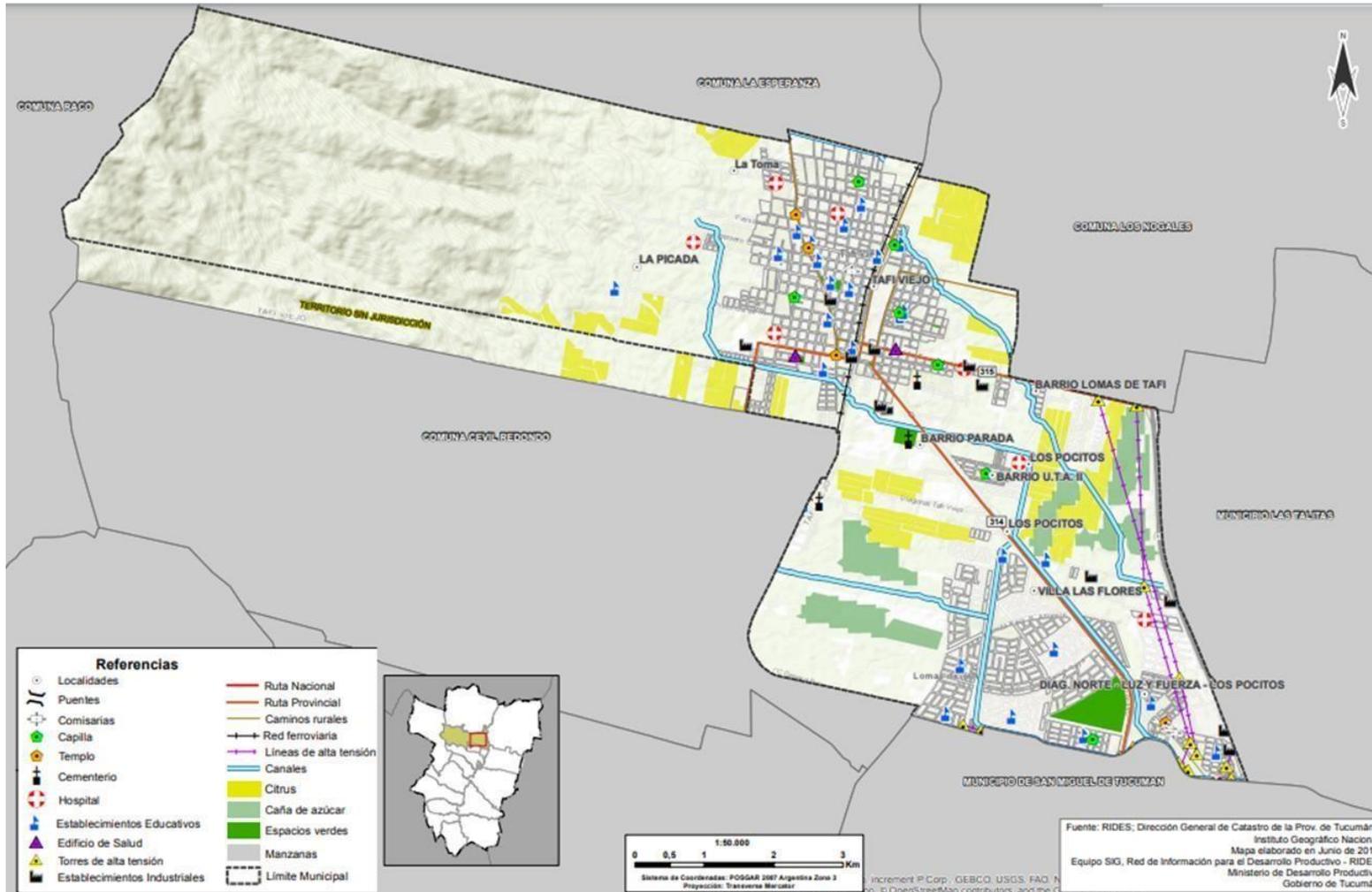
# ANEXO

# Anexo 1. Límites del municipio. Sectores y servicios.

Fuente:

htt

p://rides.producciontucuman.gov.ar/



## Anexo 2. Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas

Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas

Tipo de combustible		PCI (GJ/t)	PCI (kWh/Kg)	PCI (kcal/Kg)	PCI (tep/t)	
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo Bruto	42.55	11.82	10.190	1.0190	
	Materias primas de refinería	39.88	11.08	9.550	0.9550	
	GLP	45.89	12.75	10.990	1.0990	
	Propano	46.20	12.83	11.063	1.1063	
	Butano	44.78	12.44	10.723	1.0723	
	Queroseno	42.89	11.91	10.270	1.0270	
	Gasolina	43.89	12.19	10.510	1.0510	
	Gasolina aviación	43.89	12.19	10.510	1.0510	
	Gasóleo automoción	42.47	11.80	10.170	1.0170	
	Otros gasóleos	42.47	11.80	10.170	1.0170	
	Fuelóleo	39.88	11.08	9.550	0.9550	
	Alquitrán	39.88	11.08	9.550	0.9550	
	Nafta	43.89	12.19	10.510	1.0510	
	Lubricantes	39.88	11.08	9.550	0.9550	
	Gases	Coque de petróleo	31.90	8.86	7.840	0.7840
GNL		45.10	12.53	10.800	1.0800	
Gas natural						
Metano		50.00	13.89	11.973	1.1973	
Etano		47.51	13.20	11.350	1.1350	
Gas de refinería		49.36	13.71	11.820	1.1820	
Gas de coquería						
Gas de alto horno						
Biogases en general						
Biogás pobre						
Biogás de vertedero						
Biogás de depuradora						
Antracita eléctrica		19.23	5.34	4.594	0.4594	
Antracita industrial		24.40	6.78	5.829	0.5829	
Carbones		Antracita otros sectores de consumo final	26.10	7.25	6.235	0.6235
	Hulla eléctrica	22.60	6.28	5.399	0.5399	
	Hulla coquizable	29.55	8.21	7.059	0.7059	
	Hulla altos hornos	26.20	7.28	6.259	0.6259	
	Hulla industrial	24.10	6.69	5.757	0.5757	
	Hulla otros sectores de consumo final	26.86	7.46	6.417	0.6417	
	Carbón subbituminoso	13.37	3.71	3.194	0.3194	
	Lignito	13.34	3.71	3.195	0.3195	
	Coque de coquería	26.80	3.71	3.195	0.3195	
	Alquitrán de hulla	38.00	3.71	3.195	0.3195	
	Biomasa	Biomasa en general	14.12	3.92	3.382	0.3382
		Leña y ramas	15.87	4.41	3.800	0.3800
		Leñas taliares	10.44	2.90	2.500	0.2500
		Leñas de podas	10.44	2.90	2.500	0.2500
		Leñas de olivos y cultivos agrícolas	10.44	2.90	2.500	0.2500
Serrines y virutas		15.79	4.38	3.780	0.3780	
Cortezas		15.24	4.23	3.650	0.3650	
Astilla de pino triturada (Humedad <20%)		15.07	4.19	3.608	0.3608	
Residuos de poda		15.66	4.35	3.750	0.3750	
Otros residuos forestales		13.82	3.84	3.310	0.3310	
Biomasa de la industria forestal		14.60	4.06	3.497	0.3497	
Biomasa agrícola		12.53	3.48	3.000	0.3000	
Sarmientos de vid		13.70	3.80	3.280	0.3280	
Ramilla de uva		12.32	3.42	2.950	0.2950	
Hueso de aceituna		16.12	4.48	3.860	0.3860	
Orujillo		15.79	4.38	3.780	0.3780	
Orujo de uva		13.53	3.76	3.240	0.3240	
Cáscara de frutos secos		15.49	4.30	3.710	0.3710	
Cáscara de cereales		13.15	3.65	3.150	0.3150	
Cáscara de almendra (Humedad <20%)		15.90	4.42	3.808	0.3808	
Paja de cereales		13.20	3.67	3.160	0.3160	
Zuro de maíz (Humedad <25%)		16.24	4.51	3.888	0.3888	
Otros residuos agrícolas		13.82	3.84	3.310	0.3310	
Poso de café		27.14	7.54	6.500	0.6500	
Marro de café		25.06	6.96	6.000	0.6000	
Residuo molienda de café		8.14	2.26	1.950	0.1950	
Pellets en general		16.45	4.57	3.940	0.3940	
Pellet de madera (Humedad <15%)		18.04	5.01	4.319	0.4319	
Carbón vegetal	15.87	4.41	3.800	0.3800		
Biocarburantes	Bioetanol	26.93	7.48	6.449	0.6449	
	Biodiesel	36.90	10.25	8.837	0.8837	

Fuentes: Eurostat, AIE y Resolución de la Secretaría de Estado de Energía de 27 de diciembre de 2013.

<https://ingemecanica.com/tutoriales/objetos/tablas/calorifico/calor49.jpg>



**REFERENCIAS**

	Yacimiento activo		Río
	Yacimiento con explotación esporádica		Sector serrano
	Yacimiento inactivo		
	Localidad		
	Ruta pavimentada		
	Ruta sin pavimentar		
	Huella		

1. Cantera Agolio (aridos)
2. Cantera Río Calera (aridos)
3. Cantera Río Salí (aridos)
4. Cantera San Miguel (aridos)
5. Cantera Arroyo Muerto I
6. Cantera Elías Hnos (aridos)
7. Cantera Cuevas (aridos)
8. Cantera Arroyo El Parque (aridos)
9. Cantera Arroyo Cainzo-Las Piedras (aridos)
10. Cantera Chediae Hnos. (aridos)
11. Cantera Chediae Hnos. Río Salí (aridos)
12. Cantera Municipalidad Alderetes (aridos)
13. Cantera Municipalidad de Lules (aridos)
14. Cantera San Cayetano (aridos)
15. Cantera López I (aridos)
16. Cantera Chimenea Gómez (aridos)
17. Cantera Helpa (aridos)
18. Cantera INGECO SRL (aridos)
19. Cantera Arroyo San Agustín (aridos)
20. Cantera Horco Molle (aridos)
21. Cantera El Caci que de Timbó Viejo (aridos)
22. Cantera El Caci que de Timbó Nuevo (aridos)
23. Cantera Arroyo Cainzo (aridos)
24. Cantera Martín (aridos)
25. Cantera Municipalidad Las Talitas (aridos)
26. Cantera El Sirio (aridos)
27. Cantera Santa Rosa (aridos)
28. Cantera Saba (aridos)
29. Cantera Romero-Zotes (aridos)
30. Cantera Adriano (aridos)
31. Cantera Arroyo Muerto II (aridos)
32. Cantera Arroyo Curcuncho (aridos)
33. Cantera El Arenal II (aridos)
34. Cantera El Arenal I (aridos)
35. Cantera Toranzo (aridos)
36. Cantera Elías Hnos (aridos)
37. Cantera San Ramón (aridos)
38. Cantera Galindo (aridos)
39. Cantera Río Tafi (aridos)
40. Cantera Villagra (aridos)
41. Cantera Arroyo Anta Yacu (aridos)
42. Cantera Villafuerte (aridos)
43. Cantera San Miguel de Tucumán-Río Salí (aridos)
44. Cantera Guerrero Hnos. (aridos)
45. Cantera Martín II (aridos)
46. Cantera Donnarumma (aridos)
47. Cantera INGECO (aridos)
48. Cantera de la DPV (aridos)
49. Cantera Arroyo Yacuaco (aridos)
50. Cantera Cuevas (aridos)
51. Cantera Adrián Pérez (aridos)
52. Cantera Helpa (aridos)
53. Cantera Cuezzo (aridos)
54. Cantera López II (aridos)
55. Cantera Tucumán Aridos (aridos)
56. Cantera San Nicolás (yeso)
57. Cantera Staneff (arcillas)
58. Cerámica Marcos Paz (limos y arcillas)
59. Cantera La Cartujana (limos y arcillas)
60. Cantera LADRICER-AMERIPLASTES -ex Sacet- (limos y arcillas)
61. Cantera Ingrid y Astrid-El Timbó (sal)
62. Cantera de la Compañía Minera del Norte -ex calera- (caliza y yeso)
63. Cantera El Mollar (yeso)
64. Cantera Copo Quile I (yeso y caliza)
65. Canteras De La Bolsa, Buey Muerto y Peñalva (caliza)
66. Cantera El Mollar II (caliza)
67. Cantera El Naranjo (caliza)
68. Cantera El Potrerillo-Veta Alta (caliza)
69. Cantera El Sunchal (caliza oolítica)
70. Cantera Talavera (caliza oolítica)
71. Canteras Loma Pelada (caliza oolítica)
72. Cantera de la Compañía Minera del Norte -ex destape- (yeso)
73. Cantera De Los Curas -ex Puerta Palavecino- (caliza oolítica)
74. Cantera Río La Puerta (aridos)
75. Cantera de la Compañía Minera del Norte -nuevo destape- (yeso)
76. Cantera de Vialidad Provincial (aridos)
77. Cantera de la Compañía Minera del Norte (yeso)
78. Cantera Copo Quile II (alabastro)
79. Estancia El Azul (agua mineral)
80. Altos de Medina (agua mineral)
81. Cantera Bellomio (limo-arcillas)
82. Cantera Vipos (lajas)

Yacimientos activos y no activos en el departamento Tafí Viejo  
 AUTORES: María E. Viruel, Diego S. Fernández y Julio Plano

## Anexo 4. Generación per cápita diaria de RSU para las provincias argentinas

PROVINCIA	GPC KG/H AB/DIA	2005			2010			2015		
		POBLACION	GEN DIA	GEN AÑO	POBLACION	GEN DIA	GEN AÑO	POBLACION	GEN DIA	GEN AÑO
		HAB	TN/DIA	TN/AÑO	HAB	TN/DIA	TN/AÑO	HAB	TN/DIA	TN/AÑO
Total del país	0,85	38.592.150	34.394,92	12.554.146,54	40.518.951	36.036,39	13.153.282,19	42.403.087	37.631,06	13.735.337,97
Ciudad de Buenos Aires	1,23	3.018.102	3.712,27	1.354.976,89	3.058.309	3.761,72	1.373.027,83	3.090.922	3.801,83	1.387.669,43
Buenos Aires	0,83	14.654.379	12.163,13	4.439.544,12	15.315.842	12.712,15	4.639.934,33	15.940.645	13.230,74	4.829.218,40
Catamarca	0,69	365.323	252,07	92.006,60	404.240	278,93	101.807,84	444.824	306,93	112.028,92
Córdoba	1,05	3.254.279	3.416,99	1.247.202,43	3.396.685	3.566,52	1.301.779,53	3.531.817	3.708,41	1.353.568,87
Corrientes	0,87	980.813	853,31	311.457,17	1.035.712	901,07	328.890,35	1.091.889	949,94	346.729,35
Chaco	0,61	1.024.934	625,21	228.201,56	1.071.141	653,40	238.489,54	1.119.667	683,00	249.293,86
Chubut	0,95	445.458	423,19	154.462,56	470.733	447,20	163.226,67	494.904	470,16	171.607,96
Entre Ríos	0,6	1.217.212	730,33	266.569,43	1.282.014	769,21	280.761,07	1.345.355	807,21	294.632,75
Formosa	0,65	517.506	336,38	122.778,30	555.694	361,20	131.838,40	597.418	388,32	141.737,42
Jujuy	0,71	652.577	463,33	169.115,33	698.474	495,92	181.009,54	744.560	528,64	192.952,72
La Pampa	0,98	321.653	315,22	115.055,28	341.456	334,63	122.138,81	360.694	353,48	129.020,24
Lá Rioja	0,77	320.602	246,86	90.105,19	355.350	273,62	99.871,12	391.614	301,54	110.063,11
Mendoza	1,15	1.675.309	1.926,61	703.210,95	1.765.685	2.030,54	741.146,28	1.852.017	2.129,82	777.384,14
Misiones	0,44	1.029.645	453,04	165.360,99	1.111.443	489,03	178.497,75	1.197.823	527,04	192.370,37
Neuquén	0,92	521.439	479,72	175.099,22	565.242	520,02	189.808,26	608.090	559,44	204.196,62
Río Negro	0,86	587.430	505,19	184.394,28	603.761	519,23	189.520,58	617.216	530,81	193.744,10
Salta	0,76	1.161.484	882,73	322.195,66	1.267.311	963,16	351.552,07	1.379.229	1.048,21	382.598,12

PROVINCIA	GPC	2005			2010			2015		
		POBLACION	GEN DIA	GEN AÑO	POBLACION	GEN DIA	GEN AÑO	POBLACION	GEN DIA	GEN AÑO
		HAB	TN/DIA	TN/AÑO	HAB	TN/DIA	TN/AÑO	HAB	TN/DIA	TN/AÑO
San Juan	0,96	666.446	639,79	233.522,68	715.052	686,45	250.554,22	762.857	732,34	267.305,09
San Luis	1,12	409.280	458,39	167.313,66	456.767	511,58	186.726,35	505.730	566,42	206.742,42
Santa Cruz	0,82	213.845	175,35	64.003,81	234.087	191,95	70.062,24	254.629	208,80	76.210,46
Santa Fe	1,11	3.177.557	3.527,09	1.287.387,22	3.285.170	3.646,54	1.330.986,63	3.386.133	3.758,61	1.371.891,78
Santiago del Estero	0,83	839.767	697,01	254.407,41	883.573	733,37	267.678,44	930.535	772,34	281.905,58
Tierra del Fuego	0,64	115.286	73,78	26.930,81	133.694	85,56	31.230,92	152.979	97,91	35.735,89
Tucumán	0,73	1.421.824	1.037,93	378.845,00	1.511.516	1.103,41	402.743,44	1.601.540	1.169,12	426.730,33

Fuente cámara de la construcción: Residuos sólidos urbanos argentina tratamiento y disposición final situación actual y alternativas futuras. ing. Gisela Laura González área de pensamiento estratégico.

### Anexo 5 Planilla de cálculo de generación de metano por el método Landgem 3.2

Year	Waste Accepted		Waste-In-Place		Total landfill gas			Methane		
	(Mg/year)	(short tons/year)	(Mg)	(short tons)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(av ft <sup>3</sup> /min)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(av ft <sup>3</sup> /min)
2020	11.460	12.606	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	11.460	12.606	11.460	12.606	2.379E+02	1.905E+05	1.280E+01	6.355E+01	9.525E+04	6.400E+00
2022	11.460	12.606	22.920	25.212	4.642E+02	3.717E+05	2.498E+01	1.240E+02	1.859E+05	1.249E+01
2023	11.460	12.606	34.380	37.818	6.795E+02	5.441E+05	3.656E+01	1.815E+02	2.720E+05	1.828E+01
2024	11.460	12.606	45.840	50.424	8.842E+02	7.081E+05	4.757E+01	2.362E+02	3.540E+05	2.379E+01
2025	11.460	12.606	57.300	63.030	1.079E+03	8.640E+05	5.805E+01	2.882E+02	4.320E+05	2.903E+01
2026	11.460	12.606	68.760	75.636	1.264E+03	1.012E+06	6.802E+01	3.377E+02	5.062E+05	3.401E+01
2027	11.460	12.606	80.220	88.242	1.441E+03	1.154E+06	7.751E+01	3.848E+02	5.768E+05	3.875E+01
2028	11.460	12.606	91.680	100.848	1.608E+03	1.288E+06	8.653E+01	4.296E+02	6.439E+05	4.326E+01
2029	11.460	12.606	103.140	113.454	1.768E+03	1.415E+06	9.511E+01	4.722E+02	7.077E+05	4.755E+01
2030	11.460	12.606	114.600	126.060	1.919E+03	1.537E+06	1.033E+02	5.127E+02	7.685E+05	5.163E+01
2031	11.460	12.606	126.060	138.666	2.064E+03	1.652E+06	1.110E+02	5.512E+02	8.262E+05	5.552E+01
2032	11.460	12.606	137.520	151.272	2.201E+03	1.762E+06	1.184E+02	5.879E+02	8.812E+05	5.921E+01
2033	11.460	12.606	148.980	163.878	2.332E+03	1.867E+06	1.254E+02	6.228E+02	9.335E+05	6.272E+01
2034	11.460	12.606	160.440	176.484	2.456E+03	1.966E+06	1.321E+02	6.559E+02	9.832E+05	6.606E+01

