

Implementación del método Fukuoka en el complejo de tratamiento de residuos sólidos de Tarija



Créditos

Título: Implementación del método Fukuoka en el Complejo de Tratamiento de Residuos Sólidos de Tarija

Autor: Proyecto Basura Cero, segunda fase.

Financiador: Agencia Sueca de Cooperación para el Desarrollo ASDI.

Ejecutores: Helvetas Swiss Intercooperation, Aguatuya, Swisscontact Bolivia.

Redacción: Nilo Garnica Méndez, Coordinador Territorial de Proyectos GIRS, Aguatuya.

Revisión: Lourdes Valenzuela, Directora de Programas y Relaciones Institucionales, Aguatuya.

Diseño y diagramación: Gabriela A. Saavedra, Técnico de imagen y diagramación, Aguatuya.

Fotos de portada e interiores: Aguatuya.

Año: 2026

Contacto

C. Nicolás Ortiz Pacheco N. 33 edificio TESAI, primer piso,
oficina 1B - entre C. Antonio Salinas y Av. Calampampa.

Tel.: (591) 4 4242164

info@aguatuya.org

www.aguatuya.org

Facebook.com/Aguatuya

Primera edición

Queda permitida la reproducción del presente documento siempre que se cite la fuente.

Tarija - Bolivia

Implementación del método Fukuoka en el complejo de tratamiento de residuos sólidos de Tarija

1. Antecedentes

En el marco de la ley 755 de gestión integral de residuos, una de las políticas de Estado se centra en el cierre de botaderos y remediación de los sitios contaminados debido a una inadecuada gestión de residuos sólidos. Asimismo, esta normativa promueve la implementación de rellenos sanitarios para garantizar la disposición final segura desde el punto de vista ambiental como sanitaria.

De acuerdo con el diagnóstico nacional de residuos, a nivel del país solo 42 municipios implementaron rellenos sanitarios. Mientras que 287 municipios continúan depositando sus residuos en botaderos a cielo abierto y solo 12 municipios cuentan con botaderos controlados.

En ese sentido, el Proyecto Basura Cero logró avances significativos en su primera fase (2020 - 2022), particularmente en la ciudad de Tarija. Entre los logros más destacables se encuentran la consolidación de sistemas eficientes en la gestión operativa del servicio, el desarrollo del sistema de aprovechamiento y comercialización de compost y reciclables, el desarrollo de soluciones mancomunadas para la disposición final de residuos y la institucionalización de recicladoras de base.

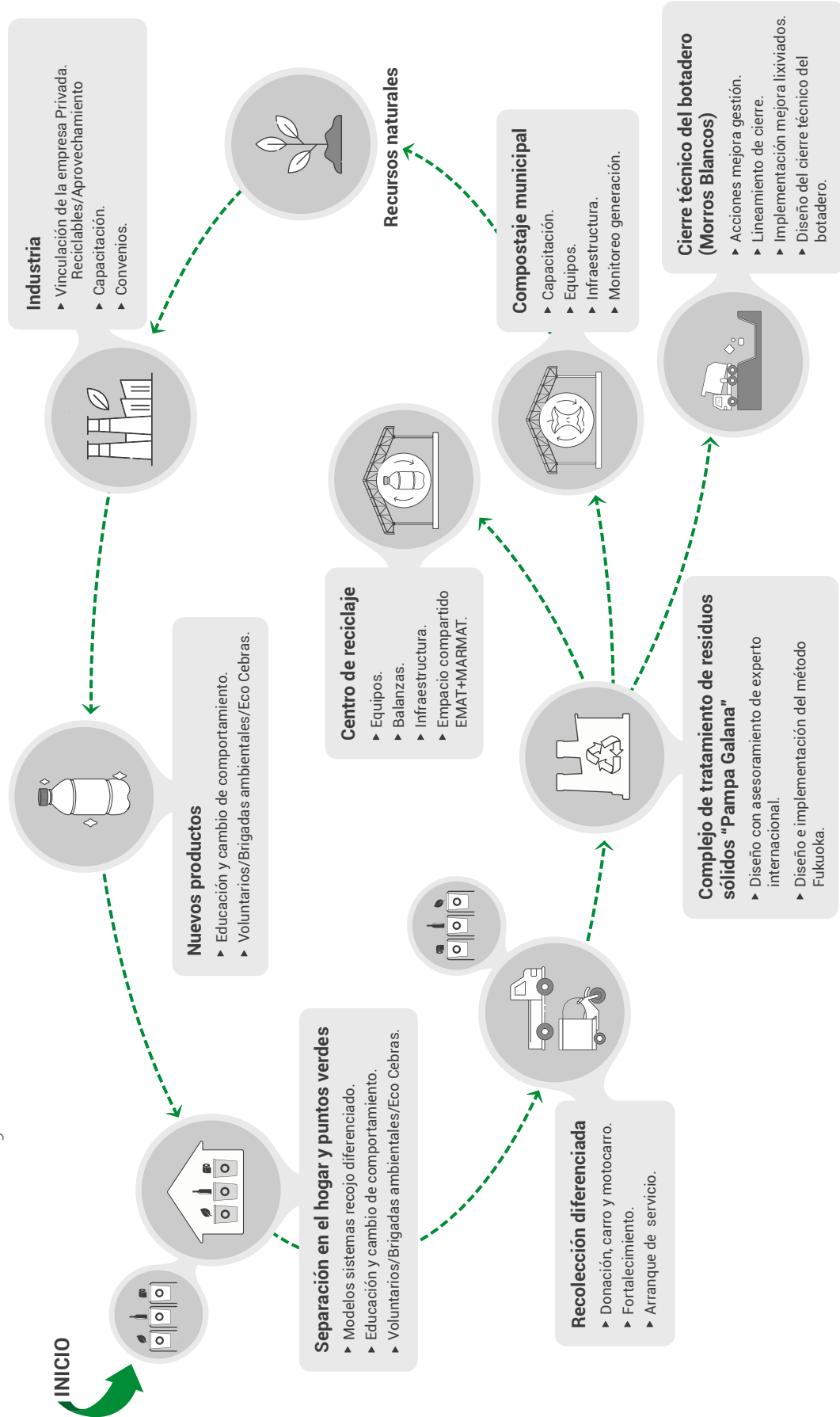
Además, el proyecto fomentó la corresponsabilidad de la población mediante metodología RANAS de cambio de comportamiento, para la separación en origen y el aprovechamiento de residuos. Estas acciones se desarrollaron con la finalidad de mejorar la salud poblacional mediante la reducción de gases de efecto invernadero.

En la segunda fase (2023 - 2026), el proyecto Basura Cero se enfocó en desarrollar capacidades en el equipo técnico municipal, para mejorar la captación y almacenamiento de lixiviados del botadero, iniciar procesos de cierre técnico del botadero de Morros Blancos y optimar la operación del Complejo de tratamiento de residuos sólidos (CTRS) de la ciudad de Tarija. Estas intervenciones buscan cerrar el ciclo de la gestión integral de residuos sólidos.



LÓGICA ECONÓMICA CIRCULAR

Basura Cero - Tarija



2. Contexto

La ciudad de Tarija está localizada en la provincia Cercado y se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija. Cuenta con una población registrada de 240 mil habitantes, según el censo 2024, y está situada a una altitud de 1.834 m.s.n.m. se estima que la producción per cápita de residuos es de 0,90 (Kg/Hab/día), estimándose para 2025 una generación de 210 t/día, con un peso volumétrico de 230 kg/m³ y una humedad del 73 %.

El Gobierno Autónomo Municipal de Tarija (GAMT), con el propósito de optimizar la etapa de disposición final logró implementar un complejo de tratamiento de residuos sólidos en la comunidad de Pampa Galana, el complejo inició operaciones en febrero de 2025 con una celda de emergencia de residuos domiciliarios y una celda para residuos hospitalarios.

Para garantizar el funcionamiento efectivo y sostenible, el GAMT conformó un equipo multidisciplinario compuesto por la Entidad Municipal de Aseo Tarija (EMAT). Las Secretarías de Medio Ambiente y Obras Públicas, con el objetivo de convertir este complejo en un modelo replicable a nivel nacional.

En este sentido, estas acciones se desarrollaron con la finalidad de contribuir a la mejora de la salud de la población, mediante la reducción de los niveles de contaminación ambiental y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para optimizar la operación del relleno sanitario, el Gobierno Municipal, con el apoyo del Proyecto Basura 0, tomó la decisión de implementar el método Fukuoka en el relleno sanitario. Este método semi-aerobio según (Fukuoka City Environmental Bureau, 2013), acelera la descomposición, permite controlar la humedad y minimizar los impactos ambientales.

El presente documento se basa en la experiencia obtenida con la primera celda de residuos sólidos municipales diseñada e implementada bajo el método Fukuoka en Bolivia. Su propósito es considerar esta experiencia como una alternativa viable para mejorar la operación de los sitios de disposición final a través de la degradación acelerada de los residuos sólidos, minimizando así su impacto ambiental a largo plazo.



3. Objetivo de la sistematización

Gestionar el conocimiento de la experiencia de implementación del método Fukuoka, con el cual se busca acelerar la descomposición de los residuos mediante un sistema semi-aerobio en el complejo de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Tarija para que el relleno sanitario amplíe su vida útil.

4. Descripción del método Fukuoka

4.1. Reseña del desarrollo: Cooperación entre la ciudad de Fukuoka y la Universidad de Fukuoka

En 1966, la Universidad de Fukuoka inició investigaciones para mejorar la calidad de los lixiviados generados en los vertederos. Posteriormente, entre 1973 y 1976, desarrolló ensayos experimentales en colaboración con la ciudad de Fukuoka, con el apoyo del entonces Ministerio de Salud y Bienestar. La investigación evidenció que el aporte de oxígeno incrementa la actividad microbiana, mejorando la descomposición y estabilización de los residuos.

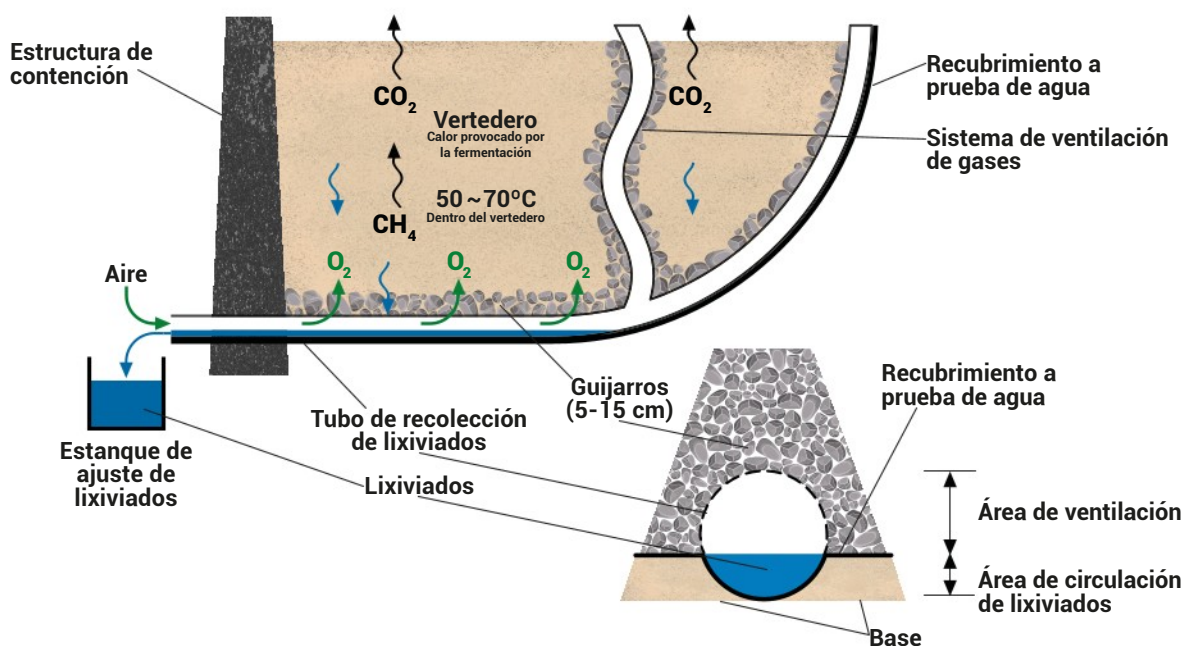
Asimismo, se logró una mejora más acelerada en la calidad de los lixiviados, al tiempo que se redujo significativamente la generación de metano, sulfuro de hidrógeno y otros gases, favoreciendo un mejor desempeño ambiental del vertedero.

4.2. Mecanismo de los vertederos semi-aeróbicos

Los vertederos semi-aeróbicos se construyen con guijarros y tubos de recolección de lixiviados en el fondo del vertedero, permitiendo así drenarlos tan rápidamente como es posible y, en consecuencia, evitar que los lixiviados que se encuentran dentro de las capas de residuos se estanquen.

Además, debido al calor generado por la actividad microbiana, se produce el fenómeno de convección por la diferencia de temperaturas interna y externa, y como resultado del aumento de la temperatura en el vertedero, el aire (oxígeno) fluye hacia el vertedero en dirección inversa al flujo de agua en los tubos de recolección de lixiviados. Por lo tanto, no es necesario construir una instalación especial de inyección de aire, lo que facilita la construcción, operación y mantenimiento del vertedero.

Mecanismo de un vertedero semi-aeróbico



4.3. Ventajas del método Fukuoka

- ☞ El método Fukuoka utiliza la capacidad de auto purificación de la naturaleza para estabilizar los residuos.
- ☞ Se mejora de forma significativa la calidad de los lixiviados al acelerar la descomposición de los residuos.
- ☞ Reduce la producción de gas metano, contribuyendo así a evitar el calentamiento global.
- ☞ Se prevé que la mejora de la estabilización permita habilitar el uso anticipado del vertedero una vez concluido. Durante ese período, será necesario realizar una revisión adecuada del uso y el correspondiente monitoreo.
- ☞ El método Fukuoka posee una buena relación costo-beneficio y su tecnología es simple, lo que permite una gran libertad en cuanto a la elección de los materiales.
- ☞ Su construcción, operación y mantenimiento son sencillos. No obstante, para garantizar una implementación eficaz del método Fukuoka es de vital importancia comprender el mecanismo, gestión y mantenimiento del vertedero, y la supervisión constante de la calidad de los lixiviados.

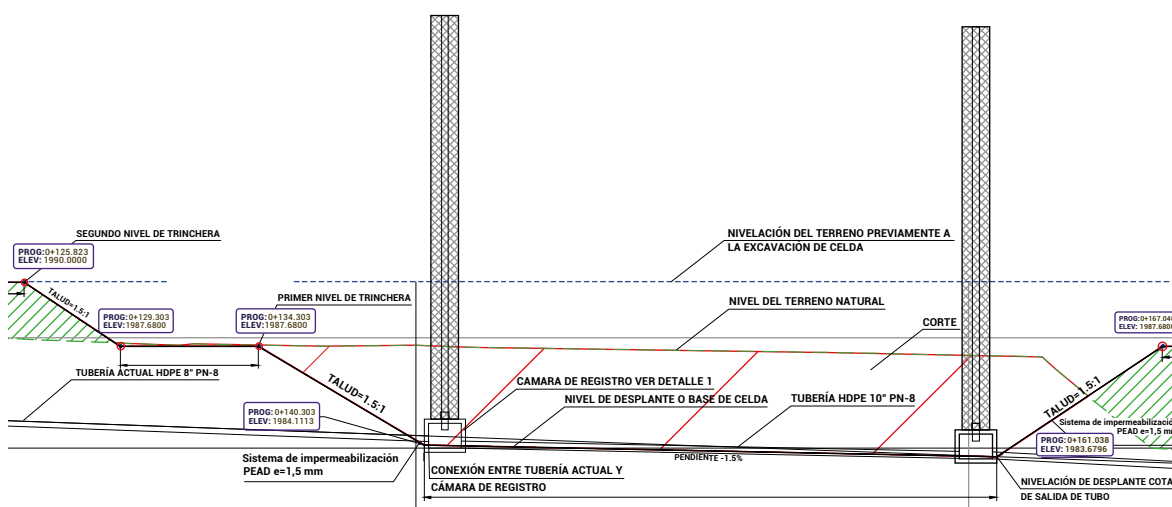
5. Descripción del proceso de implementación

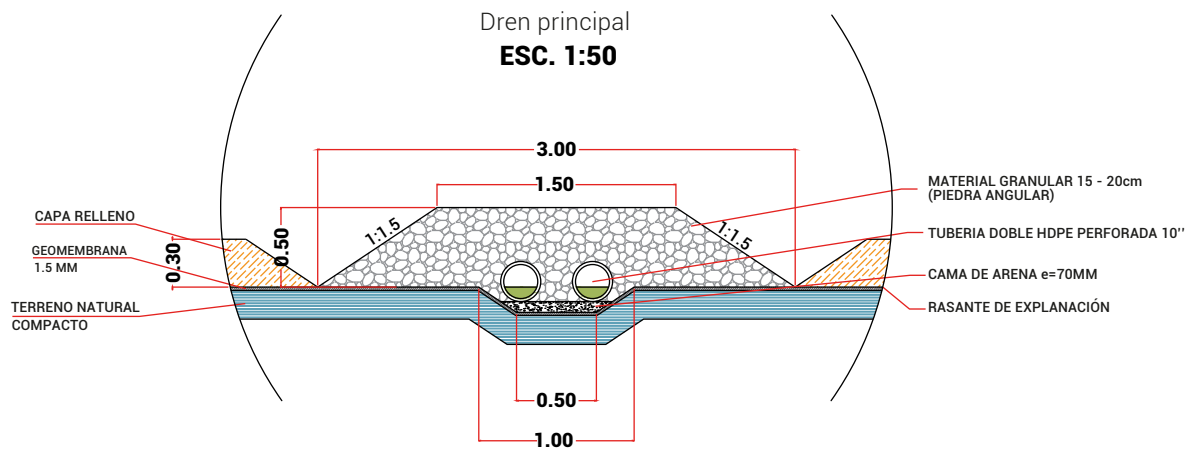
5.1. Diseño de la celda Fukuoka

El diseño de la celda de residuos basado en el método Fukuoka se desarrolló de conformidad con las directrices establecidas por dicho método, así como la guía técnica para el diseño, construcción, operación y cierre de rellenos Sanitarios del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). En este sentido, se contemplaron aspectos fundamentales, entre los que destacan el requerimiento volumétrico y el dimensionamiento de la celda en función de las características del terreno, permitiendo así alcanzar una capacidad de almacenamiento estimada de 86.000 m³.

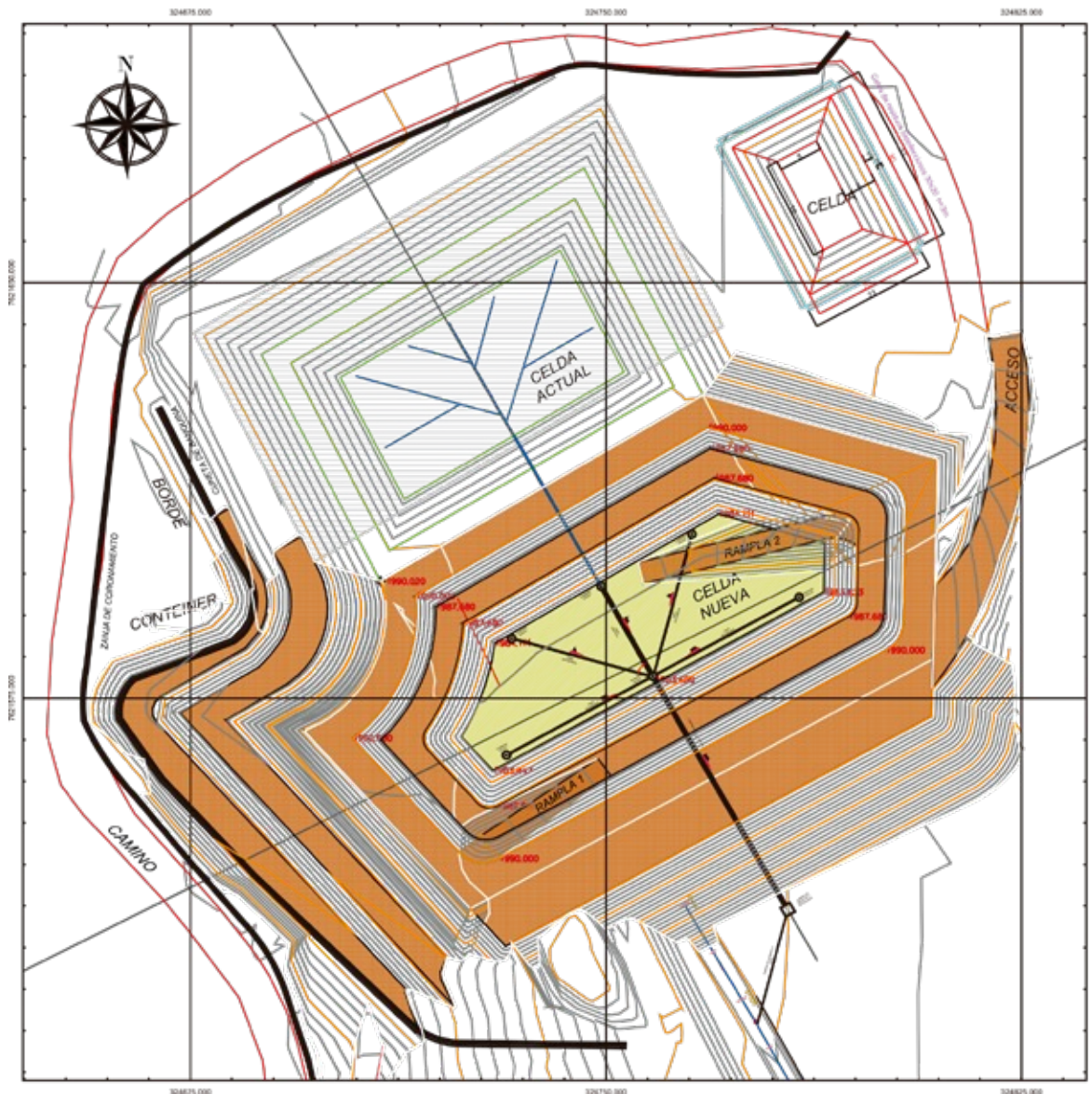
Asimismo, se llevó a cabo la estimación de la generación de lixiviados y se diseñó el sistema de captación, conducción y almacenamiento. Adicionalmente, se realizó el diseño del sistema de captación de biogás, además de las vías de acceso a la celda y el drenaje pluvial. En las imágenes adjuntas se puede ver el diseño de la celda considerando los aspectos técnicos mencionados.

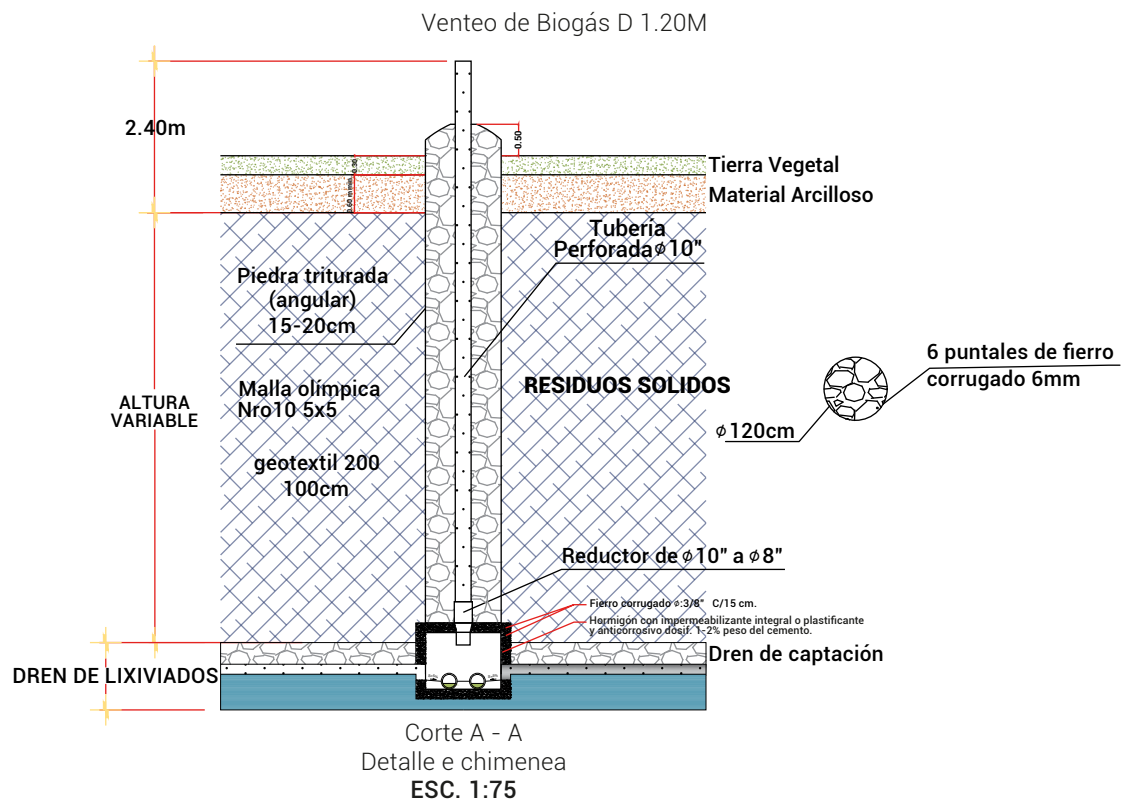
Diseño de la celda Fukuoka en el CTRS Tarija





Plano en planta general celda 2 de residuos comunes CTR Tarija





5.2. Construcción de la celda Fukuoka

Tras la aprobación y finalización del diseño de la nueva celda y con el objetivo de mejorar el funcionamiento del complejo de tratamiento de residuos, el Gobierno Municipal de Tarija y Aguatuya como parte del consorcio del Proyecto Basura 0, puso en marcha la implementación de la celda Fukuoka conforme al diseño establecido. El detalle de las inversiones realizadas se encuentra en la siguiente tabla:

Inversiones realizadas en la implementación de la celda Fukuoka			
ITEM	GAMT [Bs]	AGUATUYA [Bs]	TOTAL [Bs]
Movimiento de tierra (Excavación, conformación de taludes y banquinas)	977.747,14		977.747,14
Provisión e instalación de geomembrana		617.134,00	617.134,00
Provisión de tubería + geotextil		94.945,20	94.945,20
Construcción de cámaras, instalación del drenaje de lixiviados y chimeneas	125.198,56		125.198,56
Línea de lixiviados		343.507,94	343.507,94
Costo total [Bs]	1.102.945,70	1.055.587,14	2.158.532,84

5.2.4. Implementación del sistema de captación de lixiviados y aireación

Para el funcionamiento del método se construyeron seis cámaras de conexión de un diámetro de 1,2 m, diseñadas para integrar el sistema de captación de lixiviados y ventilación con el sistema de captación de biogás. En la salida principal de lixiviados y la entrada de aire, se emplearon dos tuberías corrugadas de HDPE de 10 pulgadas de diámetro cada una, dejando más de 2/3 de área libre para garantizar una adecuada circulación de aire o ventilación. Adicionalmente, el sistema secundario de captación y aireación incorpora una tubería de 10 pulgadas. Las dimensiones de las tuberías, cámaras y la pendiente de la celda permiten una evacuación rápida de los lixiviados.

Una vez instaladas las tuberías primarias y secundarias para el drenaje de lixiviados, se colocaron piedras alrededor de las mismas, para evitar que los residuos obstruyan los orificios de las tuberías. Este diseño del sistema de drenaje garantiza una circulación constante y eficiente de aire.

Los dos tubos principales conducen a una cámara ubicada a la salida de la celda, la cual presenta una diferencia de altura de aproximadamente 1 metro, esto permite que el lixiviado pase por gravedad a otra cámara y facilita la entrada de aire a la celda de residuos. Posteriormente, el lixiviado es conducido a una piscina de almacenamiento para ser recirculado mediante un camión hidrocínético, que lo vuelve a inyectar en la celda.



5.2.5. Implementación de chimeneas de captación de biogás

En la celda, la distancia promedio entre chimeneas en la celda es de 20 metros, esta menor separación en comparación con un relleno sanitario convencional mejora la ventilación de gases, por lo que disminuye la acumulación de biogás y contribuye a minimizar los malos olores que se generan por la descomposición de residuos. Cada chimenea está construida con una tubería corrugada de 10 pulgadas de diámetro que inicia en la cámara de conexión y está recubierta con piedra, además, el diámetro de las chimeneas es de 1,2 metros; adicionalmente a la funcionalidad de la chimenea de captación de biogás, estas se utilizarán para realizar la recirculación de lixiviados.





5.2.1. Movimiento de tierras

El Gobierno Municipal de Tarija, cumpliendo con los compromisos asumidos, llevó a cabo la ejecución del ítem de movimiento de tierras, que incluye excavación, conformación de taludes y banquetas, siguiendo los planos constructivos de la celda de residuos. Este trabajo consideró la pendiente de la base de la celda en un 1,8 [%] orientada hacia la salida principal de lixiviados, siendo este aspecto clave para la implementación del método Fukuoka.



5.2.2. Impermeabilización de la celda

Tras finalizar la construcción de la celda, el siguiente paso consistió en realizar la impermeabilización de la celda con geomembrana de 1,5 [mm] de espesor GM 13. Para cubrir los dos primeros niveles y la conexión con la celda antigua, se utilizaron un total de 6.840 [m²] de geomembrana.



5.2.3. Capacitación para el uso correcto de la tubería corrugada

Previo a la instalación del sistema de drenaje de lixiviados y el sistema de captación de biogás, la empresa adjudicada encargada de la provisión del material capacitó al personal del Gobierno Municipal de Tarija sobre el uso correcto de la tubería corrugada de 10 pulgadas de diámetro, la selección de esta tubería se basó en sus características técnicas y su facilidad de instalación.

Como parte de las últimas etapas de construcción de la celda Fukuoka, se colocó una capa de limo de 30 cm de espesor sobre la base de la celda para proteger la geomembrana y evitar daños durante la operación.

5.2.6. Captación y almacenamiento de lixiviados

Después de que el lixiviado sale de las cámaras exteriores, es conducido hasta el área de almacenamiento, donde se realizaron mejoras para optimizar el manejo. Entre estas se incluye una cámara desarenadora para la retención de sólidos, la construcción de una piscina de evaporación con la capacidad de almacenar 344 [m³], la instalación de un geotanque de 100 [m³] y la adecuación de cinco tinacos con una capacidad total de 100 [m³], estas intervenciones han incrementado significativamente la capacidad de almacenamiento de lixiviados.

5.3. Operación de la celda Fukuoka

El inicio de operaciones de la celda Fukuoka se dio en el mes de febrero de 2026 y su vida útil está proyectada para durar 20 meses. Al ser un sistema de operación semi-aerobio, la cobertura de 20 [cm] de espesor se realiza cuando la altura de los residuos alcanza de 2 a 3 metros (Lobo García, Hernández Berriel y Mañón Salas, 2016).

6. Conclusiones

Al ser la primera experiencia implementada en Bolivia, existe mucha expectativa respecto a los resultados que podría generar. Por lo que es fundamental que el Gobierno Municipal de Tarija realice seguimiento y monitoreo de la operación y post operación de la celda Fukuoka. El seguimiento evaluará el comportamiento de la humedad y la estabilización de la celda, analizar la calidad del lixiviado y medir la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En la etapa de construcción de la celda con el método Fukuoka, se comprobó que su implementación resulta ser relativamente sencilla. Una de las principales diferencias respecto a un relleno sanitario convencional radica en el sistema diseñado para el drenaje de lixiviados y biogás, el cual contempla tuberías de mayor diámetro que facilitan la circulación de aire como la evacuación de lixiviados.



La siguiente tabla comparativa destaca claramente las ventajas estratégicas del método Fukuoka frente a un relleno sanitario convencional.

Tabla comparativa: Método Fukuoka vs. Relleno sanitario convencional

Aspecto	Relleno sanitario convencional	Relleno Método Fukuoka
Aspectos técnicos de diseño		
Principio de funcionamiento	Predomina la degradación anaerobia de los residuos.	Favorece una degradación semi-aerobia mediante la circulación natural de aire.
Infraestructura de drenaje de lixiviados	Utiliza sistemas convencionales de captación y conducción.	Emplea tuberías de mayor diámetro y cámaras de conexión que facilitan simultáneamente el drenaje de lixiviados y la aireación.
Sistema de ventilación	Limitado; la aireación ocurre principalmente a través de chimeneas de biogás.	Incorpora ventilación natural a través de los drenajes, sin necesidad de sistemas mecánicos de inyección de aire.
Infraestructura para biogás	Chimeneas con separación convencional.	Mayor densidad de chimeneas y conexión al sistema de aireación, mejorando la evacuación de gases.
Complejidad constructiva	Tecnología ampliamente conocida y estandarizada.	Construcción relativamente sencilla, con modificaciones específicas en drenaje y ventilación.
Aspectos de Operación & Mantenimiento		
Operación y mantenimiento (O&M)	Requiere monitoreo permanente de lixiviados, gases y estabilidad.	Requiere monitoreo similar, pero con énfasis en el funcionamiento de la aireación natural y calidad de lixiviados.
Manejo de lixiviados	Mayor riesgo de acumulación y condiciones anaerobias.	Evacuación más rápida de lixiviados y menor estancamiento dentro de la masa de residuos.
Velocidad de estabilización de residuos	Más lenta.	Más rápida debido a la mayor actividad microbiana asociada al oxígeno.
Calidad de lixiviados	Mejora gradualmente en períodos más largos.	Se espera una mejora más acelerada de la calidad del lixiviado.
Generación de metano	Mayor producción de metano por condiciones anaerobias.	Menor generación de metano y otros gases asociados a la descomposición anaerobia.

Emisiones de gases de efecto invernadero	Más elevadas.	Potencial reducción de emisiones y contribución a la mitigación del cambio climático.
Control de olores	Puede presentar mayores problemas por acumulación de gases.	Menor acumulación de biogás y potencial reducción de malos olores.
Aspectos estratégicos a largo plazo		
Vida útil del relleno sanitario	Depende principalmente de la capacidad instalada.	Puede contribuir a ampliar la vida útil mediante una estabilización más eficiente de los residuos.
Uso posterior del sitio	Requiere períodos prolongados de estabilización.	Posibilita un uso más temprano del área clausurada debido a una estabilización acelerada.
Relación costo-beneficio	Variable según diseño y operación.	Presenta una relación costo-beneficio favorable debido a su simplicidad tecnológica.

La experiencia desarrollada en Tarija demuestra que la implementación del método Fukuoka constituye una alternativa técnicamente viable y de fácil aplicación para mejorar la disposición final de los residuos sólidos. Frente a un relleno sanitario convencional, el sistema semi-aerobio incorpora mejoras en el drenaje de lixiviados y ventilación natural que favorecen una degradación más rápida de los residuos, reducen la generación de metano y mejoran el control ambiental del sitio. Si bien los beneficios de largo plazo deberán validarse mediante el monitoreo continuo de la calidad de lixiviados, emisiones y estabilización de la masa de residuos, la experiencia desarrollada evidencia un importante potencial para replicar esta tecnología en otros municipios de Bolivia.



Bibliografía

- ☞ Fukuoka City Environmental Bureau. (2013). The Fukuoka Method. Japan: Editorial Superior Fukuoka University.
- ☞ Gobierno Autónomo Municipal de Tarija. (2015). Estudio de generación y caracterización de residuos sólidos del área urbana del Municipio de Tarija. Tarija.
- ☞ Lobo García, A., Hernández Berriel, M., & Mañon Salas, M. (2016). Biorellenos: Perspectivas tras de dos décadas de experiencias en el mundo. México.
- ☞ Matsujufi, Y. (2005). Implementación del sistema de vertedero semi-aeróbico (método Fukuoka) en países en desarrollo: Un análisis de costos en Malasia. Malasia.
- ☞ Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2015). Ley N.º 755 de gestión integral de residuos. La Paz.
- ☞ MMAyA/VAPSB/DGGIR. (2024). Diagnóstico Nacional de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. La Paz.
- ☞ MMAyA/VAPSB/DGGIR. (2025). Guía para el diseño, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios semimecanizados. La Paz.
- ☞ Proyecto Basura Cero. (2022). Lineamientos estratégicos para la gestión integral de residuos sólidos en Tarija. Tarija.

