



Proyecto demostrativo

Vitaterra
(Dorados del Sol S.A.)

Mejora del proceso de compostaje con una
volteadora autopropulsada

Evaluación técnica-económica

Ing. Agr. MSc. Florencia Benzano

Ec. MSc. María Ester Zaha

Diciembre 2020

Contenido

1	Resumen ejecutivo.....	1
2	Acerca de este documento	2
3	Marco teórico: El compostaje como alternativa de valorización de residuos agroindustriales.....	2
3.1	¿Qué es el compostaje y qué producto se obtiene?.....	2
3.2	¿Por qué impulsar el compostaje e invertir en optimizar el proceso?	3
4	Descripción del caso de estudio: Vitaterra	4
5	Descripción del proyecto demostrativo.....	5
6	Resultados técnicos.....	7
6.1	Dorados del Sol antes y después de implementado el proyecto demostrativo	8
6.2	Desempeño de la nueva tecnología.....	15
6.2.1	Volteadora autopropulsada (Backhus A-30)	15
6.2.2	Zaranda	17
6.3	Lecciones aprendidas.....	17
7	Resultados económicos	18
7.1	Flujo de caja e indicadores de rentabilidad	19
7.2	Escenarios de sensibilidad	25
8	Conclusiones	27
9	Anexo	29
9.1	Links de interés	29
9.2	Detalle de estimaciones realizadas.....	29
10	Referencias.....	29

Tabla 1: Detalle de mejoras comprometidas en el proyecto demostrativo según procedencia de los fondos.	6
Tabla 2: Mejoras de infraestructura referenciadas a números de las imágenes anteriores.	9
Tabla 3: Maquinaria y equipamiento adquiridos en el marco del demostrativo, y adicional requerida como consecuencia de la implementación.	12
Tabla 4: Comparativa de Vitaterra ANTES y DESPUÉS de implementado el demostrativo: habilitación ambiental, capacidad operativa, procesos, productos y destino.	14
Tabla 5: Comparación de tecnologías según aprovechamiento de playa de compostaje.	15
Tabla 6 Supuestos generales.	19
Tabla 7 Inversión.	19
Tabla 8 Costos hundidos.	20
Tabla 9 Ingresos por gestión de residuos.	20
Tabla 10 Ingresos por venta de compost.	21
Tabla 11 Datos y supuestos O&M y costos de producción.	22
Tabla 12 Costos operativos.	22
Tabla 13 Flujo de caja incremental.	24
Tabla 14 Rentabilidad.	25
Tabla 15: Estimación de aprovechamiento de la playa de compostaje y eficiencia operativa ($m^3/m^2/h$) según tecnología de volteo.	29

Imagen 1: Vista de la playa de compostaje previo proyecto demostrativo.	6
Imagen 2: Vista aérea de Dorados del Sol ANTES de la implementación del demostrativo (Google Earth, 24 setiembre 2016).	8
Imagen 3: Vista aérea de Dorados del Sol DESPUES de demostrativo (Google Earth, 13 agosto 2020).	8
Imagen 4: Compost terminado (zarandeado) comercializado a granel y en bolsas de 50 lbs.	15
Imagen 5: Volteadora autopropulsada en funcionamiento. Se observa como desplaza el material al voltearlo.	16
Imagen 6: Vista de la volteadora autopropulsada de alto rendimiento en funcionamiento, vista aérea de costado, aérea cenital y sobre superficie vista trasera.	17

Ilustración 1: Diagrama de flujo de los procesos en Dorados del Sol previo al proyecto demostrativo y luego de su puesta en marcha (en azul).	7
--	---

1 Resumen ejecutivo

El presente informe refiere a la evaluación técnico económica de un proyecto demostrativo seleccionado en el llamado abierto realizado por Biovalor en el 2016, con el objetivo de evaluar el desempeño de tecnología de volteo de vanguardia y así mejorar la eficiencia de su proceso productivo. La co-financiación de Biovalor al demostrativo implicó compras de servicios y productos por un valor de 100.401 USD no reembolsables, en una inversión total de 319.401 USD.

Como resultado de la implementación del demostrativo y de las inversiones y gestiones adicionales de la empresa, Vitaterra multiplicó por cinco el volumen anual de residuos gestionados (3.470 ton /año), respetando la autorización ambiental solicitada y otorgada por la DINAMA (Ministerio de Ambiente), y por más de cuatro su producción de compost, en un proceso que dura de 2,5 a 3 meses (la mitad que previo a la implementación del presente demostrativo). Sus productos compost “Premium” y compost “Común” se comercializan mayormente al sector agrícola. El compost “Común” logró registrarse como enmienda orgánica ante la DGSA del MGAP, N°EO-004. La reducción de GEI se estima en 87.400 kg_CO₂ eq/año.

El nuevo diseño de la infraestructura de Vitaterra se ajusta a las exigencias vigentes y supera la capacidad operativa ocupada actualmente por la empresa, al igual que la maquinaria de volteo autopropulsada de alto rendimiento, la zaranda, el equipamiento de laboratorio y restante maquinaria adquirida durante la implementación del demostrativo. Se estima que su capacidad operativa es 3 a 4 veces mayor que la actual ocupada.

El estudio económico muestra que es un proyecto rentable, incluso sin haber alcanzado su potencial productivo en lo que a operativa refiere. La empresa cobra por la gestión de residuos y fija su tasa atendiendo la definida por los sitios municipales que compiten con su servicio. El compost fabricado a la fecha presenta buena demanda a pesar de competir con residuos, de menor costo, con fertilizantes orgánicos, órgano – minerales y hasta con fertilizantes minerales, exentos todos de IVA, a diferencia del compost que alcanza el registro ante el MGAP. Los valores actuales resultantes muestran que incluso sin el subsidio del proyecto Biovalor, la TIR a 10 años resulta de 14%, el VAN de 142.290 USD y el tiempo de repago de 5.8 años.

El resultado del demostrativo se valora como exitoso, el proyecto es sostenible y replicable a nivel nacional.

2 Acerca de este documento

El proyecto Biovalor (Proyecto ONUDI 120323) dirigido por tres Ministerios, (MIEM, MA y MGAP), implementado por la ONUDI y financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial¹, tiene como objetivo generar información sobre tecnologías que permiten transformar residuos agropecuarios, agroindustriales y de pequeños centros poblados en energía y/o subproductos, promoviendo así el desarrollo de modelos sostenibles de bajas emisiones.

Una de las tecnologías abarcadas y promovidas desde Biovalor es el compostaje, tecnología que permite transformar un residuo en una enmienda orgánica como se detalla en el punto 3.1.

En el presente informe se presenta el proyecto demostrativo implementado en Dorados del Sol S.A. (Vitaterra) con el objetivo de evaluar:

- El desempeño de la volteadora autopropulsada de alto rendimiento, de la que existía una en Uruguay, así como de los restantes componentes financiados.
- El impacto de la volteadora autopropulsada, equipamiento de monitoreo y laboratorio y asesoramiento técnico sobre los procesos, la producción y los productos de la empresa.
- El impacto de las mejoras implementadas a nivel económico.

3 Marco teórico: El compostaje como alternativa de valorización de residuos agroindustriales

3.1 ¿Qué es el compostaje y qué producto se obtiene?

El compostaje es un proceso biológico, aerobio y termófilo a través del cual se descompone la materia orgánica de la materia prima procesada, en este caso residuos degradables, reduciéndose el volumen en un 55% y obteniéndose como producto, el compost. El compost es un material sanitizado, que contiene materia orgánica estabilizada, libre de sustancias fitotóxicas y pronto para ser aplicado al suelo sin que provoque fenómenos adversos. A nivel agropecuario es un insumo productivo empleado para mejorar las características físico-químicas del mismo².

Durante el compostaje se libera dióxido de carbono y agua, diversas variables físico-químicas varían y son monitoreadas, destacándose el comportamiento de la temperatura, que al llegar a valores cercanos a los 70°C y por determinado período, sanitiza el material³.

Es un proceso que debe ser monitoreado y controlado ya que requiere de determinadas condiciones para ocurrir. El grado de control con que puede realizarse el proceso es amplio: desde una implementación en pilas a cielo abierto, expuesto a variables climáticas, hasta en recintos cerrados, mecanizados y

¹ MIEM: Ministerio de Industria, Energía y Minería; MA: Ministerio de Ambiente; MGAP: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca; ONUDI: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. FMAM: Fondo para el Medio Ambiente Mundial.

² FAO, 2013.

³ FAO, 2013; Matei et al, 2014.

automatizados donde se controlan las variables que inciden en la calidad del proceso, su duración y la calidad del producto.

La tecnología empleada en las plantas nacionales, es la de pilas a cielo abierto y la maquinaria de volteo predominante, las volteadoras de tiro con tractor. Su elección responde a que requiere de una menor inversión por unidad de residuo a procesar, tiene bajos costos de operación y mantenimiento en comparación con otras tecnologías de compostaje y es la más robusta⁴. En éstas plantas la aireación del material se realiza periódicamente mediante el volteo mecanizado de las pilas y el proceso puede durar en promedio de 3 a 4 meses.

La mezcla inicial a compostar debe tener una relación Carbono/Nitrógeno cercana a 30, un porcentaje de humedad en el entorno del 55% y es deseable que la granulometría resultante forme un entramado que favorezca la aireación de toda la pila, de modo de que se requieran menos volteos.

Para determinar la finalización del proceso, o sea, la obtención de un compost maduro, se evalúan variables físicas como el color, granulometría, consistencia, olor, temperatura, y químicas, como el pH y la conductividad eléctrica (CE). El compost maduro, también, se caracteriza por tener un pH cercano a 7, baja CE, y un contenido de agua no mayor al 40%.

La cualidad más destacable es su contenido de materia orgánica estabilizada, 20 a 50% en base seca. Ello, asociado a que en los suelos la materia orgánica es determinante de su calidad, resulta en que la aplicación al mismo sea el destino principal del compost, con el objetivo de mejorar el suelo y así potenciar su productividad. Otra cualidad destacable del compost es su contenido de microorganismos y de micronutrientes. También contiene macronutrientes primarios y secundarios, pero en baja proporción, 0.2 a 2.0 % (en base seca).

3.2 ¿Por qué impulsar el compostaje e invertir en optimizar el proceso?

El compostaje es una tecnología que plantea una relación ganar - ganar, permite gestionar adecuadamente un residuo biodegradable y obtener un producto de valor, que aplicado al suelo mejora el ambiente y potencia la producción agropecuaria.

Entre el 2010 y mediados de 2020 el número de plantas de compostaje formales y operativas aumentó de una a cinco⁵. La normativa ambiental que entró en vigencia en el 2013 (Decreto Nº 182/013), favoreció la posibilidad de cobrar por el servicio de gestión de residuos que las plantas de compostaje como operadores de residuos habilitados, o con trámite iniciado ante DINAMA, ofrecen a quienes los generan.

Por otro lado, dadas las virtudes de la tecnología y su potencial de expansión a nivel nacional, atendiendo el número de plantas operativas y las características de generación de los residuos estimados por Biovalor en el 2016⁶, se entendió de relevancia impulsar la tecnología, trabajando para levantar algunas de las

⁴ Fichtner-Resa, 2016. Estudio de tecnologías de compostaje. Web Biovalor, ver aquí: [link](#)

⁵ Com. Pers. Antón, DINAMA, 2020.

⁶ Benzano, Emmer y González, 2016. Cuantificación de residuos generados en sectores agropecuarios y agroindustriales uruguayos. Web Biovalor, [link](#)

barreras ya identificadas como condicionantes de su expansión por los referentes del sector: i) la ausencia de normativa que habilite la posibilidad de registro del compost cuando es para uso agrícola, y que de ser alcanzado, dé garantías de calidad e inocuidad a quienes demandan el producto, ii) un tratamiento tributario desigual en comparación a otros insumos agropecuarios, iii) aspectos técnicos que limitan su comercialización y iv) la sostenibilidad económica de las empresas. A modo de ejemplo de estas barreras se encuentra su baja densidad y su contenido de agua que incide en su logística, y asociado a altas dosis de empleo, impactan fuertemente en su precio final acotando su demanda, o su granulometría tipo tierra que imposibilita su aplicación con maquinaria de uso común, o su bajo contenido de macronutrientes cuando se lo compara con fertilizantes minerales.

Desde Biovalor se han desarrollado distintas actividades con el fin de levantar esas barreras. Una de ellas fue la convocatoria abierta realizada en 2016 para la cofinanciación de proyectos demostrativos con fondos no reembolsables, dirigida a interesados en implementar tecnologías de valorización de residuos a escala real. Fueron valoradas positivamente las propuestas que planteaban ensayar mejoras tecnológicas al proceso de compostaje, dar solución a residuos compostables que no ingresaban al circuito, evaluar el agregado de valor al compost como estrategia para levantar limitantes físico-químicas y alcanzar nuevos mercados.

Se entendió que:

- mejorar aspectos técnicos del proceso, como reducir su duración y mejorar la calidad del producto, impactaría positivamente sobre la rentabilidad de la empresa.
- ensayar el incremento de la densidad y del contenido de nutrientes por unidad de producto mediante el granulado o peletizado y enriquecimiento con nutrientes del compost, puede resultar en un producto competitivo a distancias mayores, y además, más atractivo desde el punto de vista de su logística, al resultar más fácil de manipular, trasladar y aplicar.

Uno de los proyectos seleccionados para ensayar mejoras al proceso de compostaje fue el de la empresa Vitaterra, que se describe a continuación.

4 Descripción del caso de estudio: Vitaterra

Vitaterra es una empresa operadora de residuos habilitada por la DINAMA del MA en setiembre 2020, para gestionar hasta 10 ton de residuos/día. Se ubica en Colón sureste, Abayubá, Montevideo, a 3,5 km de la Cuenca del Río Santa Lucía. Recibe gallinaza (estiércol de gallinaza) de empresas vecinas; residuos de frigorífico, de cervecerías, de bodegas, de industria oleaginosa y de otras industrias, y mediante la implementación del proceso de compostaje produce compost.

Fabrica dos productos comerciales, compost “Premium” y compost “Común”. La formulación tipo “Premium” se fabrica a base compost y contiene materias primas que mejoran su aireación y bajan su densidad. El compost “Común”, que representa el 90% del volumen producido y comercializado anualmente, alcanzó el registro como enmienda orgánica ante la DGSA del MGAP en julio 2020, Registro N° EO-004. El certificado da garantías

sobre la calidad del producto, considerando tanto su impacto a nivel productivo, como su inocuidad sanitaria y su bajo riesgo ambiental.

En el 2019, con el trámite de solicitud de habilitación ambiental iniciado en DINAMA⁷, gestionó entre 800 - 900 ton de residuos/año, y comercializó 500 m³ de compost, fue un año donde la planta registró algunos inconvenientes operativos vinculados a las condiciones climáticas y al proceso de aprendizaje. En el 2020, Vitaterra ha operado a buen ritmo y para fin de año estima una producción de 2.050 m³ de compost resultantes de la valorización de 3.470 ton de residuos, cercano al tope de la habilitación otorgada (3.650 ton de residuos/año - DINAMA).

La empresa estima que su potencial productivo, atendiendo su infraestructura disponible, supera en 3 a 4 veces la gestionada ante DINAMA y evalúa realizar las gestiones pertinentes ante el Ministerio de Ambiente que le permitan ocupar su capacidad instalada.

5 Descripción del proyecto demostrativo

En el 2016, al momento de presentarse al llamado de Biovalor, Vitaterra comenzaba su gestión como operador de residuos y el volumen anual recibido era bastante menor, cercano a las 900 ton residuos/año, gestionaba cerca del 70% (655 ton/año) en un proceso de compostaje de 6 o más meses de duración. Ni la infraestructura ni la maquinaria eran adecuadas, siendo su producción de 360 m³ compost/año y dejaba residuos sin compostar de manera adecuada en la playa de compostaje. Tampoco se monitoreaba el proceso y producto final con el nivel de control actual.

Con el objetivo de consolidar la empresa como operador de residuos, Vitaterra se presentó el proyecto al llamado Biovalor.

A través del proyecto demostrativo se buscó optimizar el proceso de compostaje, mejorar los aspectos de calidad del proceso y del producto y junto con la adecuación de la infraestructura de la planta a la normativa, en la que invertiría como contrapartida, alcanzar a corto plazo la habilitación de operación correspondiente a la gestión de hasta 10 ton de residuos/día. Como objetivo a mediano plazo, se planteó alcanzar la AAP⁸ para operar a una capacidad igual o mayor a 10 ton de residuos/día, según D. 349/005.

La propuesta representaba una alternativa de gestión interesante para la gallinaza producida por un porcentaje importante de las existencias nacionales, según la carta de apoyo de la Asociación de Productores Avícolas Sur, que acompañaba la postulación.

La propuesta proyectaba que una vez la planta operase a la capacidad potencial resultante de implementar las mejoras detalladas y adquirir las habilitaciones ambientales pertinentes (AAP), podría procesar 32.760 ton de residuos/año, disminuir el costo de producción del compost de 1.555 \$U/ton a 771 \$U/ton y acortar la duración del proceso de 4 - 6 meses a 1 mes, lográndose disminuir el precio de venta del producto obtenido a 1.000 \$U/ton. Con el 15% de la producción se preveía la producción de un fertilizante orgánico mineral peletizado,

⁷ según D. 182/013, art. 25 literal "d".

⁸ Autorización Ambiental Previa que se solicita a la DINAMA del MA.

producido en mezcla simple con fertilizantes minerales, a definir según demanda. Considerando las emisiones de Gases de Efecto Invernadero se estimaba un ahorro de 18.446 toneladas de CO₂-equivalente/año.

El proyecto aprobado alcanzaba lo detallado en la tabla siguiente según procedencia de los fondos.

Tabla 1: Detalle de mejoras comprometidas en el proyecto demostrativo según procedencia de los fondos.

Biovalor (Proyecto GEF 4890/ONUDI 120323)	Vitaterra
Compra de 1 volteadora autopropulsada de alto rendimiento, de la que existía sólo un ejemplar en el país	Invertir en obras para la adecuación a la normativa de: <ul style="list-style-type: none"> - la zona de recepción de residuos a la normativa, - la playa de compostaje - el sistema de acopio de lixiviados
Compra de 1 peletizadora de compost	
Asistencia técnica especializada para la fabricación de pelet y para ajustar el proceso de compostaje	
Compra de equipamiento de laboratorio	1 Minicargador

El acuerdo contractual acordado entre las partes comprometía un apoyo económico no reembolsable de 100.000 USD de parte de Biovalor y de 87.370 USD por parte del beneficiario, según las estimaciones de costos realizadas pre-implementación del demostrativo.

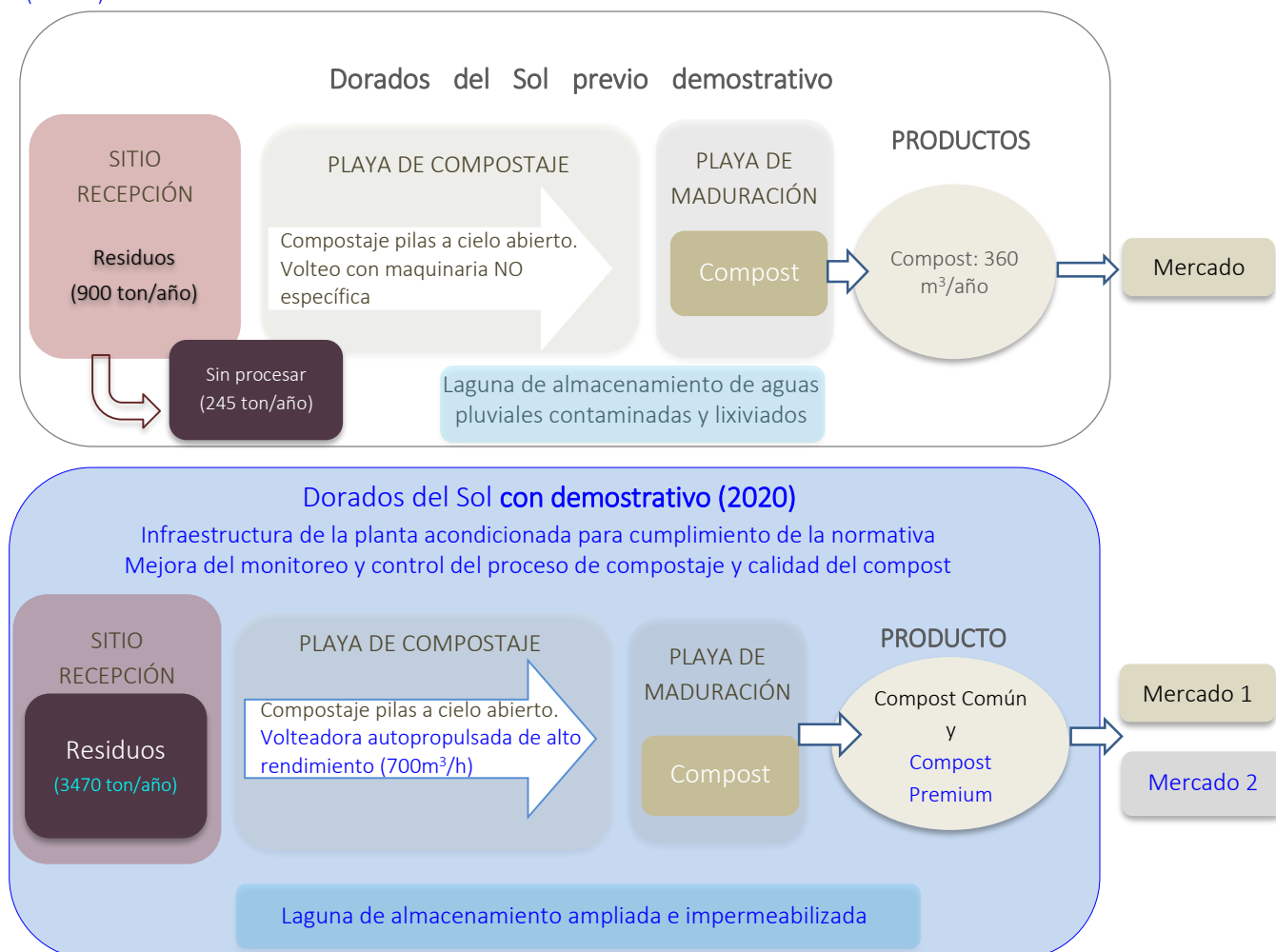
El gasto de los fondos desde Biovalor se ejecutaron de modo tal que luego de comprada la volteadora se optimizara su utilización atendiendo a las necesidades de la empresa en la medida que el proyecto avanzaba, en consecuencia, existió una variante a las compras previstas inicialmente, según se detalla más adelante.

Adecuar la infraestructura de la planta para el cumplimiento de la normativa era un requisito determinante para alcanzar la habilitación de operador de residuos de parte de la DINAMA del MA.

Imagen 1: Vista de la playa de compostaje previo proyecto demostrativo.



Ilustración 1: Diagrama de flujo de los procesos en Dorados del Sol previo al proyecto demostrativo y luego de su puesta en marcha (en azul).



6 Resultados técnicos

Como resultado del demostrativo implementado, la planta de compostaje acondicionó adecuadamente la infraestructura, pudiendo iniciar trámite de habilitación como operador ante DINAMA en agosto 2016, y adquirió maquinaria y equipamiento que le permitieron tener una capacidad operativa estimada en 50 ton de residuos/día (a noviembre 2020). La habilitación ambiental le fue otorgada por el Ministerio de Ambiente en setiembre 2020 por una capacidad de hasta 10 ton de residuos/día promedio anual.

A continuación, se presenta:

- un estudio comparativo de Vitaterra antes y después de implementado el demostrativo, abordando infraestructura, procesos y producción (cantidad y calidad).
- desempeño de la maquinaria adquirida.
- lecciones aprendidas.

6.1 Dorados del Sol antes y después de implementado el proyecto demostrativo

En el 2016, una vez seleccionado el proyecto y definido el alcance del compromiso asumido, se comenzó la implementación del demostrativo que culminó en enero 2020. En la Imagen 2 e Imagen 3 se pueden apreciar las diferencias en Vitaterra, antes y después de su ejecución, diferencias que se detallan en esta sección.

Imagen 2: Vista aérea de Dorados del Sol ANTES de la implementación del demostrativo (Google Earth, 24 setiembre 2016).



Imagen 3: Vista aérea de Dorados del Sol DESPUES de demostrativo (Google Earth, 13 agosto 2020).



Tabla 2: Mejoras de infraestructura referenciadas a números de las imágenes anteriores.

Infraestructura	
1	<p>Sitio de recepción de residuos</p> <p>Ubicado al ingreso del predio. Se construyó una platea de 200 m² de hormigón no poroso de 15cm de espesor con dos paredes laterales y sistema de recolección de lixiviados compuesto por canaletas y tanques de acopio enterrados completamente (sub-superficiales).</p> <p>En construcción Setiembre 2020</p> <div data-bbox="526 621 928 924" data-label="Image">  </div> <div data-bbox="1010 621 1435 924" data-label="Image">  </div>
	<p>Playa de compostaje</p> <p>Se determinó la permeabilidad del perfil, obteniéndose valores que cumplen con lo exigido por la DINAMA: por lo menos 60 cm de espesor con una conductividad hidráulica igual o menor a 1×10^{-5} cm/s. Posteriormente se sistematizó el área para prevenir tanto el estancamiento de las aguas pluviales como del exceso de escurrimiento superficial. El área de playa es cercana a los 8.500 m². Los lixiviados y aguas pluviales contaminadas que se generan en el proceso son captados por un sistema de gestión de los mismos que incluye canaleta perimetral, laguna de almacenamiento con una capacidad de 3.500 m³ y 5 ha de chacras empraderadas.</p> <p>ANTES DESPUÉS</p> <div data-bbox="363 1339 834 1650" data-label="Image">  </div> <div data-bbox="919 1348 1451 1650" data-label="Image">  </div>
2	

Infraestructura	
	<p>Determinación de la permeabilidad del perfil (Enero 2017)</p> 
3	<p>Galpón de terminación del compost, acopio y embolsado</p> <p>Galpón de acopio de compost maduro, sitio que fue equipado con ventiladores para mejorar la aireación.</p> 
4	<p>Laboratorio</p> <p>Se instaló un laboratorio con el equipamiento adquirido detallado más adelante.</p>

5	<p>Laguna de almacenamiento de pluviales contaminadas y lixiviados</p>
	<p>Se construyó una laguna de almacenamiento de 3.500 m³ de capacidad, como parte del sistema de tratamiento de lixiviados de la planta. Su diseño responde al balance hidrológico realizado. Durante su construcción se consideró que la impermeabilidad debe ser menor o igual a 1×10^{-7} cm/s de conductividad hidráulica en un espesor de 30 cm. Su diseño y construcción previene eventuales desmoronamientos.</p> <div data-bbox="347 422 919 1171"> <p>ANTES</p>  <p>Laguna de almacenamiento en construcción</p>  </div> <div data-bbox="919 422 1463 1171"> <p>DESPUÉS</p>  </div>
6	<p>Chacra para aplicación de lixiviados</p> <p>No se realizaron mejoras de infraestructura en las parcelas empraderadas.</p> <div data-bbox="857 1234 1310 1535">  </div> <div data-bbox="487 1598 1232 1898">  </div>

Si bien implementar el agregado de valor al compost mediante peletizado y enriquecimiento con nutrientes, era un punto de interés tanto para el beneficiario como para Biovalor, la inversión relacionada a su implementación no se realizó. El beneficiario entendió de mayor utilidad emplear los fondos remanentes de Biovalor para la contratación de los siguientes puntos acordados en el contrato .

Tabla 1) y posteriormente evaluar la posibilidad de mecanizar e incrementar la capacidad de la planta de tamizar el compost terminado, atendiendo al nuevo volumen producido y al proyectado. El asesoramiento técnico relativo a la mejora del proceso de compostaje y capacitación del personal sobre la instalación y el uso del equipamiento de laboratorio fue realizado por el Ing. Agr. Roberto Do Campo.

Como resultado, luego de la compra de la volteadora el remanente de los fondos Biovalor se empleó para la contratación de servicios técnicos, compra de equipos de laboratorio, y adquisición de una zaranda mecanizada, que se ajusta a las necesidades de procesamiento de la empresa (**Tabla 3**).

Tabla 3: Maquinaria y equipamiento adquiridos en el marco del demostrativo, y adicional requerida como consecuencia de la implementación.

Maquinaria	
Tecnología de volteo de pilas	
<p>Volteadora autopropulsada de alto rendimiento. Backhus A-30, de fabricación extranjera, recibida por el beneficiario en abril 2018.</p> <p>Capacidad de volteo hasta 700 m³/h.</p> <p>Puede trasladarse en avance o en reversa. Mecanismo de avance de rodadura compacto de oruga de goma.</p> <p>Velocidad de trabajo: 0 a 50 m/minuto.</p> <p>Maniobra en espacios reducidos.</p> <p>Dimensiones equipo: 3.55 x 1.9 x 2.6 m, ancho, altura y longitud respectivamente.</p> <p>Dimensiones de la pila: 3 x 1.3 m, ancho x altura. Sección transversal pila: 2.2 m².</p> <p>Peso máximo: 1.9 ton.</p> <p>Presión máxima sobre el suelo: 0.55 kg/cm².</p> <p>Motor: Yanmar 4TNV88; 35,4 kW (48 CV) @3.000 rpm. Nivel de emisiones de escape III A EuroMot/Tier 3.</p>	
 	
Sistema de cribado	
<p>Hacia fines del 2019 quedó operativa una zaranda giratoria y trasladable de fabricación nacional, Cabilaro SRL. Capacidad operativa indicada por fabricante: 1 a 2 ton/h. Equipada con dos camisas intercambiables de distinto tamaño de orificio, 0.5 y 1.0 cm de sección cuadrada, 2 motorreductores 3 Hp más 1 variador</p>	

de velocidad. Cuenta con sistema de carga de compost mecanizado equipado con tolva y tornillo sinfín. Sistema de descarga del material residual por gravedad.

ANTES



DESPUÉS



Otra maquinaria

Luego de iniciado el demostrativo, la empresa adquirió la maquinaria comprometida como contraparte y además otra que entendió necesaria para realizar la operativa adecuadamente.

A la fecha dispone del bobcat comprometido, pero también invirtió en un tractor y en dos palas cargadoras que se emplean para traslado de residuos y armado de pilas.



Equipamiento laboratorio

A través del demostrativo la empresa pudo instalar un laboratorio en el predio, equipado según se detalla:

- 1 Incubadora Marca THERMO SCIENTIFIC.
- 1 Estufa de secado Marca THERMO SCIENTIFIC.
- 1 Medidor de pH
- 1 Medidor de conductividad eléctrica
- 1 Medidor de temperatura
- 1 Balanza para determinación de humedad
- 1 Balanza de precisión.



El equipamiento le permite realizar un monitoreo de la calidad del proceso y del producto final, al poder determinar pH, conductividad eléctrica (CE), humedad y temperatura.



Como resultado de las mejoras detalladas la empresa se consolidó como un operador de residuos, multiplicó por 16 su capacidad de operación anual, por 5 el volumen de residuos anualmente gestionados, mejoró procesos y productos como se detalla en la siguiente tabla (

Tabla 4). Así mismo se posicionó como un fabricante de compost, llegando a multiplicar por 4 el volumen anual producido y vendiendo el 100%. Obtuvo el registro de su producto ante la DGSA del MGAP en julio 2020, registro N° EO-004, cumpliendo con los requisitos técnicos de las resoluciones DGSA N° 97/018 y 141/018. Comercializa su producto bajo la marca Vitaterra, mayormente a granel (95%) y al sector hortícola.

Tabla 4: Comparativa de Vitaterra ANTES y DESPUÉS de implementado el demostrativo: habilitación ambiental, capacidad operativa, procesos, productos y destino.

Ítem	Implementación del demostrativo	
	Antes (Año 2016)	Después (Año 2020)
Habilitación. Ambiental DINAMA (D.182/013. Art. 25 literal “d”)	No	Iniciada en agosto 2016 por 10 ton de residuos/día (3.650 ton/año). Obtenida en Setiembre 2020.
Capacidad operativa de la planta (potencial atendiendo maquinaria disponible)	655 ton de residuos/año	10.950 ton de residuos/año, considerando un turno laboral de 8 h/día
Capacidad operativa ocupada	655 ton de residuos/año	3470 ton de residuos/año
Residuo recibido: corriente o procedencia	Mayormente gallinaza de granja de ponedoras y algo de pasto	Residuos de ind. oleaginosa, frigoríficos, bodegas, ind. cervecera, gallinaza de granja de ponedoras.
% de residuo compostado / año del total recibido	Aprox. 70%	100%
Producción compost	360 m ³ /año	1600 m ³ /año
Productos y calidad	Compost, s/d de calidad	Compost, registrado como enmienda orgánica en el MGAP, EO-004. C org.: 28,2 % BS// N total: 2 % BS // Humedad: 39% BF // CE: 6 dS/m // Densidad: 0,75 ton/m ³
Venta de compost y packaging	100% de lo producido Bolsas de 50 lts	100% de lo producido 95% a granel
Destino de las ventas	Hortícola	Aprox. 80% al sector hortícola % restante para cannabis medicinal, frutícola y otros.
Duración del <u>proceso de compostaje</u>	6 meses o más dependiendo del número de volteos realizados	2,5 a 3 meses

Cabe resaltar que la volteadora no está operando a su capacidad máxima como se muestra en la tabla anterior (

Tabla 4), el beneficiario estima que podría procesar un volumen 3 a 4 veces mayor al actual, considerando se mantiene la operativa en un turno laboral de 8 hrs.

Imagen 4: Compost terminado (zarandeado) comercializado a granel y en bolsas de 50 lts.



6.2 Desempeño de la nueva tecnología

6.2.1 Volteadora autopropulsada (Backhus A-30)

Se comprobó su alto rendimiento, estimado en 700 m³/h promedio, así como también su versatilidad y fácil uso. Desempeño que conforma al beneficiario.

Respecto a procesos donde el volteo se realiza con otra tecnología, tractor y volteadora de tiro y más aún respecto a palas cargadoras, la volteadora autopropulsada de alto rendimiento permite aprovechar en mayor medida la superficie de las playas de compostaje (Tabla 5).

Tabla 5: Comparación de tecnologías según aprovechamiento de playa de compostaje.

Tecnología	Capacidad instantánea (m ³ de material / m ² de playa)	Volumen procesado (m ³ / hora)
Volteadora autopropulsada	0.36	700
Tractor + volteadora de tiro	0.23	230
Pala cargadora	0.22	100

La duración del proceso de compostaje no varía respecto a cuando el volteo se realiza con tractor y volteadora de tiro, dura entre 2. 5 a 3 meses, pero sí es una reducción significativa respecto a cuando se emplea pala cargadora para realizar el volteo.

Respecto al uso de tractor + volteadora de tiro, que es la tecnología de volteo más comparable a la volteadora autopropulsada en estudio, el uso de una volteadora autopropulsada permite procesar un volumen de residuos 2 veces mayor en una superficie de playa de compostaje 57% menor, atendiendo a que la duración de los procesos es la misma (ver supuestos empleados en Tabla 15). Con la tecnología de palas cargadoras las diferencias son mayores aún, la volteadora puede procesar un volumen 6 veces mayor por hora y aumentar la eficiencia de capacidad instantánea de la playa de compostaje en un 62%. El uso de palas cargadoras, si bien es un sistema de volteo válido, implica una operativa muy diferente al de la

volteadora autopropulsada. Las pilas son más voluminosas debido a su mayor sección, se realizan pilas más anchas y de mayor altura, es menos frecuente el volteo, mayor la frecuencia de ocurrencia de condiciones anaerobias, siendo el compostaje un proceso aerobio, y además es menos idónea la tecnología para el volteo, lo que implica menores rendimientos operativos que las otras tecnologías consideradas y disponer de mayor superficie libre para realizar la operativa.

La distancia entre pilas de entre 1.2 – 1.3 m, podría ser menor aún si se fijase en base a las necesidades operativas de la volteadora, pero en este caso se define por el espacio que requiere el minicargador para operar el cual es empleado para reconstruir el armado de las pilas cuando se desarmen por algún incidente climático, por ej. luego de lluvias copiosas.

Para asegurar una buena aireación, luego del volteo el material es lanzado 1.5 m hacia atrás (Imagen 5).

Imagen 5: Volteadora autopropulsada en funcionamiento. Se observa como desplaza el material al voltearlo.

El sistema de traslado de orugas de goma y el peso de la volteadora, permiten un reingreso más rápido a la playa de compostaje luego de lluvias, en condiciones en que otra maquinaria de mayor peso y sin orugas patinan, por ejemplo, pala cargadora.

Según Vitaterra, el consumo de combustible es similar al de un tractor con volteadora de tiro.



La volteadora autopropulsada compacta, de 3.55 m de ancho total, y que puede trasladarse en avance o en reversa, permite realizar la terminación del compost dentro del galpón y liberar así más tempranamente espacio en la playa de compostaje, lo que a su vez posibilita que los residuos ingresen a la playa y por tanto al proceso de compostaje, más rápidamente. Esto no podría realizarse de emplearse otra maquinaria, ya que un tractor con volteadora requiere por ej. un ancho operativo de 6 m, sumando el espacio para girar el módulo, por lo que no podría realizarse dentro del galpón.

Desde que se recibió en el predio a inicios de abril 2018, la volteadora autopropulsada tuvo un desperfecto de magnitud, el radiador debió ser reemplazado por uno de procedencia nacional. Se estima que el trabajar con pilas muy secas durante el verano favoreció la ocurrencia del citado desperfecto.

Las orugas se rompieron antes de lo previsto y también se registró algún contratiempo más en el funcionamiento de la volteadora, pero ninguno es considerado de relevancia por la empresa.

Respecto al servicio post venta, tanto el representante local como el proveedor en Europa son valorados como muy buenos por la empresa, reafirmando la importancia de disponer de servicio de respaldo local o regional, así como también de una sólida trayectoria y excelentes referencias cuando el fabricante se ubica en regiones distantes.

Imagen 6: Vista de la volteadora autopropulsada de alto rendimiento en funcionamiento, vista aérea de costado, aérea cenital y sobre superficie vista trasera.



6.2.2 Zaranda

Cuando el compost está completamente maduro, es ingresado a la zaranda para su posterior venta.

Según Vitaterra el desempeño de la zaranda es muy bueno. La capacidad operativa máxima registrada es de 10 m³ de compost/hora. Mientras que operando en régimen es de 8 m³/hora. Considerando una densidad del compost de 0.75 ton/m³ resulta en una capacidad de 7.5 y 6.0 ton/h, valores marcadamente mayores al desempeño esperado.

El beneficiario destaca el alto rendimiento y la buena calidad de producto resultante luego de utilizar la zaranda.

La capacidad operativa registrada en régimen supera las necesidades que puede llegar a tener la empresa cuando opere a su capacidad potencial definida por la volteadora autopropulsada, estimada en 5.100 m³ de compost/año.

6.3 Lecciones aprendidas

Proveedores de maquinaria:

- para que el resultado sea el esperado, es determinante que el proveedor presente excelentes antecedentes en cuanto al desempeño del equipamiento que vende y al servicio postventa; y que el mismo sea realizado por una empresa establecida a nivel nacional o por lo menos regional.

Volteadora:

- el operar con materiales muy secos, genera polvo en exceso y eso quizás haya atentado contra el buen funcionamiento del radiador original, el cual se rompió y debió ser reemplazado.

Zaranda:

- el sistema de alimentación de la zaranda debería ser con cintas con cangilones y no con tornillo sinfín para tener una mejor performance.

Laboratorio:

- el beneficiario no volvería a solicitar la compra de una incubadora. Es un equipamiento que no está siendo empleado para las determinaciones de calidad del proceso y del producto final que implementa.

7 Resultados económicos

Para evaluar la factibilidad económica del proyecto, se construyó un flujo de caja incremental a partir del cual se calcularon tres indicadores que permiten evaluar la rentabilidad de la inversión: el período de retorno simple, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

El proyecto contribuyó a (i) que la producción de compost se cuadruplique y los residuos gestionados se quintupliquen (ii) el costo de producción por tonelada se reduzca en un 58% y (iii) y que la calidad del producto final mejore y sea constante. Estos tres aspectos repercuten de forma positiva en el análisis económico.

Se presenta un flujo de caja de la empresa de tipo incremental, que toma como línea de base la situación de la empresa en el 2016 antes del inicio del proyecto y la compara con la situación en el 2020 ya con el proyecto implementado, según la

Tabla 4.

Para presentar un modelo conservador en este estudio, además de las inversiones en maquinaria hechas en el marco del proyecto, se incluyen entre las inversiones:

- Las mejoras en obra civil, que son inversiones necesarias para gestionar la habilitación para poder recibir residuos y operar, que posiblemente se hubieran realizado de todas formas y
- Las inversiones en maquinaria adicionales hechas por el beneficiario que no fueron consideradas dentro del proyecto inicial pero que también contribuyen a los resultados actuales de la empresa (detalladas en la Tabla 3).

No se incluyen como inversiones incrementales los costos ya hundidos cuando se inició el proyecto, como por ejemplo la compra del terreno o la sociedad anónima.

A continuación, se presentan los datos y supuestos tomados para estimar la inversión, los ingresos y los costos incrementales en el flujo de caja realizado y los indicadores de rentabilidad. Por último, se evalúan distintos escenarios de sensibilidad con respecto al monto de la inversión, las ventas y los costos de operación y mantenimiento, para determinar qué tan sensible es la rentabilidad de la empresa frente a cambios en esas variables.

7.1 Flujo de caja e indicadores de rentabilidad

Se toman valores y precios promedio del 2016 y 2020. La tasa de cambio (tasa de compra) y la Unidad Reajutable promedio son los valores promedios publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas.

Tabla 6 Supuestos generales.

Supuestos generales y económico- financieros	Monto	Unidad
Tipo de cambio 2020 (enero – octubre)	34,57	UYU/USD
Tipo de cambio 2016	29,55	UYU/USD
Inflación USD	0%	
Tasa descuento USD real	7,5%	
Tasa descuento USD nominal	7,5%	
Tasa IRAE	25%	
Unidad reajutable promedio 2016	902	UYU
Unidad reajutable promedio 2020 (enero – octubre)	1.165	UYU
Amortización fiscal inversión	10	años

La información relativa a la inversión realizada para la adquisición, instalación y puesta en marcha de la maquinaria fue declarada por el beneficiario en dólares, los costos de producción en pesos uruguayos y los ingresos por gestión de residuos por tonelada en unidades reajustables (ver Tabla 9, 7 y 9).

La maquinaria fue importada por el beneficiario. Se consideran los gastos de importación según lo declarado por la empresa.

Tabla 7 Inversión.

Supuestos inversión	Monto	Unidad
Compostadora autopropulsada	79.359	USD
Asistencia técnica especializada para definición de “recetas compost”	2.120	USD
Aparatos de laboratorio	10.372	USD
Zaranda	8.550	USD
Zona de recepción de residuos	25.000	USD
Playa de compostaje (compactación, nivelación y canalización)	25.000	USD
Gastos de importación maquinaria	4.000	USD
Piletas de acopio de lixiviados sitio de recepción	15.000	USD
Laguna impermeabilizada 3500m ³ capacidad	40.000	USD
Tractor 4*2 + zorra	40.000	USD
Minicargador Bobcat	12.000	USD
2 palas cargadoras	58.000	USD
Aporte beneficiario	218.000	USD
Aporte Biovalor	100.401	USD
Total	319.401	USD

Se estima que la vida útil de la maquinaria son 10 años. Un 66% de la inversión fue en maquinaria y gastos de importación de ésta, un 33% en obra civil y el restante en capacitación.

En las inversiones no se incluyeron los costos hundidos antes de iniciado el proyecto que se listan en la tabla a continuación, como tampoco los costos operativos (sueldos, consumo gasoil) que se tuvieron al inicio de las operaciones.

Tabla 8 Costos hundidos.

Inversiones ya realizadas en 2016 (costos hundidos)	Monto	Unidad
Compra de Sociedad Anónima	4.000	USD
Compra de chacra	80.000	USD
Total	84.000	USD

No se modeló un escenario donde el proyecto se presenta a la COMAP⁹, ya que, al momento de la inversión, Vitaterra era una empresa incipiente y todavía no generaba renta. Si se hubiera presentado a la COMAP, la inversión en maquinaria hubiera sido computada en el indicador de Tecnologías Limpias, obteniendo el puntaje máximo en el indicador según decreto 268/020, pudiendo exonerar un porcentaje de IRAE durante un período definido¹⁰.

Los ingresos de la planta de compostaje se dan por dos vías:

- Ingresos por tratamiento de residuos: Vitaterra cobra una tasa por gestión de residuos orgánicos a generadores de diferentes industrias que traen sus residuos a la planta.
- Ingresos por la venta del compost: Vitaterra fabrica compost en base a los residuos recibidos.

En las dos tablas a continuación, se estiman los ingresos antes y después del proyecto según declaraciones de la empresa.

Tabla 9 Ingresos por gestión de residuos.

Ingresos por gestión de residuos	Antes del proyecto (2016)	Después del proyecto (2020)	Unidad
Cantidad de residuos recibida	655	3.470	ton/año
Volumen de residuos recibido ¹¹	873	4.627	m ³ /año
Tarifa de recepción y tratamiento	0,9	0,9	UR/m ³
Tarifa de recepción y tratamiento	27,46	27,69	USD/m ³
Ingresos por gestión de residuos	23.980	128.097	USD/año

⁹ En Uruguay existe un régimen de inversiones para promover el desarrollo productivo compuesto por una Comisión de Aplicación de la Ley de Inversiones (COMAP), que funciona en la órbita del Ministerio de Economía y Finanzas, cuyo objetivo es la promoción de inversiones, generando beneficios fiscales entre otros también para proyectos que utilicen tecnologías limpias. Más información aquí: <https://www.mef.gub.uy/13240/7/areas/un-regimen-de-inversiones-para-promover-el-desarrollo-productivo.html>

¹⁰ El período de exoneración dependerá también de si la empresa postulante es una mipyme o no.

¹¹ La densidad estándar de los residuos gestionados se estima en 0.75 ton/m³

La cercanía a la planta de compostaje de la intendencia de Montevideo, T.RES.OR, condiciona las tarifas de Dorados del Sol S.A. T.RES.OR cobra 1 UR/m³ de residuos, estipulado a partir de una resolución de la Intendencia de Montevideo. Vitaterra declara cobrar 0.9 UR/m³.

Previo al proyecto, Vitaterra recibía una fracción de los residuos de Granja Dorotea, un establecimiento avícola que pertenece al mismo propietario. Para estimar el ingreso por gestión de residuos antes del proyecto de forma conservadora, se estima el costo oportunidad de la disposición. El precio que pagara Granja Dorotea por la disposición de sus residuos es igual a lo que tendría que haber pagado en otra planta de compostaje y el mismo que ahora cobra Vitaterra, de 0.9 UR/m³.

Tabla 10 Ingresos por venta de compost.

Ingresos por venta de compost	Antes del proyecto (2016)	Después del proyecto (2020)	Unidad
Compost producido	360	1.600	m ³ /año
Porcentaje de compost vendido del producido	Se toman valores del 2020	100%	
Precio promedio del compost a granel		1.000	UYU/m ³
Precio promedio del compost en bolsa 50lt o más chico		4.500	UYU/m ³
Volumen vendido a granel		85%	
Volumen vendido en bolsa		15%	
Precio promedio ponderado de venta de compost		1.525	UYU/m ³
Precio promedio ponderado de venta de compost		37	USD/m ³
Ingreso por venta de compost	13.449	59.775	USD/año

Con respecto a los ingresos por venta de compost, el rango de precios en el 2020 es amplio, a granel oscila entre 200 UYU y 4500 UYU, dependiendo del segmento, cantidad y la calidad final del producto; en bolsas de 50 litros los precios oscilan entre 4500 UYU y 7000 UYU. Para una estimación conservadora, se tomaron los valores menores para las ventas embolsadas y 1000 UYU/m³ para las ventas a granel, tomando en cuenta que según la declaración del beneficiario la gran mayoría de las ventas a granel se concreta a ese precio.

En el 2016 la fabricación de compost era incipiente y la empresa declaraba tener problemas para vender el producto, el que, dado los costos de producción más elevados, tenía un precio más elevado. Para asegurar que el escenario antes del proyecto sea comparable con el escenario después del proyecto sin tomar en cuenta la fluctuación de la tasa de cambio, se toman los valores constantes en dólares del 2020 para estimar los ingresos por la venta de compost. A efectos de presentar un modelo conservador, se parte de la base que se vendió todo lo generado en el 2016 a precios del 2020 (37 USD/ m³), que dista de la realidad.

Las tablas muestran que comparando la situación de 2016 y 2020, teniendo en cuenta los supuestos mencionados, la empresa está teniendo ingresos incrementales cercanos a los 100.000 USD/año por el tratamiento de residuos y a los 45.000 USD/año por la venta de compost.

En el 2020, la mayor parte de los ingresos se da por el tratamiento de residuos (68%) y el ingreso por venta de compost es secundario. Esto concuerda con las declaraciones de la empresa y está en línea con la

operativa de las plantas de compostaje en Europa que son rentables principalmente gracias a que pueden cobrar una tarifa de gestión.¹²

En la siguiente tabla se encuentran los supuestos y los datos según la declaración de la empresa, utilizados para calcular los costos de producción y los costos de operación y mantenimiento (o&m):

Tabla 11 Datos y supuestos O&M y costos de producción

Datos y supuestos o&m y costos de producción	Monto	Unidad
Mantenimiento maquinaria nueva y obra civil	2,5%	s/inversión total
Seguros	1,0%	s/maquinaria a asegurar
Administración e imprevistos	2,0%	S/ ingresos
Costos de producción de compost 2016	1.555	UYU/ton de compost
Volumen vendido a granel 2020	85%	
Volumen vendido en bolsa 2020	15%	
Costo de producción compost 2020	375	UYU/m ³
Costo de bolsas y jornal para embolsado	643	UYU/m ³
Costos de análisis de laboratorio	30	UYU/m ³
Costo de producción compost a granel 2020	405	UYU/m ³
Costo de producción en bolsa 2020	1.049	UYU/m ³

Los costos de producción incluyen los gastos fijos del galpón, la mano de obra, la electricidad y el gasoil. Los costos de los análisis de laboratorio y el costo de las bolsas y de la mano de obra para llenar las bolsas en las que se envasa el producto final se calcularon y se listan aparte.

Para llegar a los costos de producción de 12 USD por metro cúbico de compost en el 2020, se calcula un costo de producción ponderado y se utiliza la tasa de cambio promedio del año. Se le suman los costos de operación y mantenimiento incrementales (13.117 USD) que se calculan a partir de los supuestos mencionados.

Tabla 12 Costos operativos.

Costos operativos	Antes del proyecto (2016)	Después del proyecto (2020)	Unidad
Costos de producción de compost por m ³ ¹³	855	501	UYU/m ³ de compost
Costo de producción por m ³	29	12	USD/m ³ de compost
Costo de producción	10.419	19.637	USD/año
Costos de operación y mantenimiento incrementales (seguro, mantenimiento maquinaria, administración e imprevistos)	0	13.117	USD/año
Total costos operativos	10.419	32.754	USD/año

¹² Fichtner – RESA Group (2016, com. Pers.); Herranz D., Veolia (Com. Pers. 2020); Álvarez de la Puente, Estudio de Mercado de los compost urbanos en Europa, 2007, [link](#); y Ejemplos de buenas prácticas de compostaje y recogida selectiva de residuos. Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente, [link](#)

¹³ Cabe aclarar que la densidad del compost cambió: En el 2016 una tonelada equivalía 0.55 m³ y en el 2020 la densidad del compost era de 0.75 ton/m³

Los costos totales se triplican mientras que el costo de producción por tonelada se reduce en un 58%.

El flujo de caja estima el saldo después de impuestos y calcula un flujo acumulado con y sin el subsidio de Biovalor. Dado que la empresa financió la inversión con capital propio, no se incluyen costos financieros.

La adquisición, puesta en marcha del equipamiento, la construcción y la habilitación subsecuente llevó más de dos años y se refleja en el flujo de caja. No se modelan escenarios incrementales intermedios, se estima que los tres primeros años no hubo saldo incremental.

Tabla 13 Flujo de caja incremental.

Unidad USD Años	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Inversión	319.401										
Venta compost		0	0	0	46.325	46.325	46.325	46.325	46.325	46.325	46.325
Ingreso por gestión de residuos		0	0	0	104.117	104.117	104.117	104.117	104.117	104.117	104.117
Total ingresos (+)		0	0	0	150.442	150.442	150.442	150.442	150.442	150.442	150.442
Costos O&M		0	0	0	22.335	22.335	22.335	22.335	22.335	22.335	22.335
Total costos Producción compost (-)		0	0	0	22.335	22.335	22.335	22.335	22.335	22.335	22.335
Amortización		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intereses		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saldo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Costos Financieros (-)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aporte Biovalor	100.401										
Saldo	-219.000	0	0	0	128.107	128.107	128.107	128.107	128.107	128.107	128.107
Depreciación de activos		31.940	31.940	31.940	31.940	31.940	31.940	31.940	31.940	31.940	31.940
Amortización capital financiero		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saldo imponible IRAE		-31.940	-31.940	-31.940	96.167	96.167	96.167	96.167	96.167	96.167	96.167
IRAE – proyecto		0	0	0	0	24.042	24.042	24.042	24.042	24.042	24.042
Exoneración IRAE – COMAP		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saldo después de impuestos	-219.000	0	0	0	128.107	104.065	104.065	104.065	104.065	104.065	104.065
Flujo de caja acumulado beneficiario	-219.000	-219.000	-219.000	-219.000	-90.893	13.173	117.238	221.303	325.369	429.434	533.500
Saldo después de impuestos (sin aporte Biovalor)	-319.401	0	0	0	128.107	104.065	104.065	104.065	104.065	104.065	104.065
Flujo de caja acumulado (proyecto)	-319.401	-319.401	-319.401	-319.401	-191.294	-87.228	16.837	120.902	224.968	329.033	433.099

Tabla 14 Rentabilidad.

Indicadores de rentabilidad	Proyecto de inversión con subsidio Biovalor	Proyecto de inversión sin subsidio	Unidad
Período de recuperación simple	4,9	5,8	años
TIR- tasa interna de retorno (10 años)	21%	14%	
VAN - valor actual neto (10 años)	242.691	142.290	USD

El VAN positivo y el TIR mayor a 7.5% denotan que el proyecto de inversión es rentable con los supuestos utilizados. Para Vitaterra el proyecto es rentable. Aún sin tomar en cuenta el apoyo de Biovalor, la inversión se recupera en 5,8 años, tiempo que es viable considerando la vida útil de la maquinaria de 10 años.

Cabe destacar que un escenario de replicabilidad del proyecto, tomando en cuenta las lecciones aprendidas, la inversión en obra civil y puesta en marcha de la maquinaria se podría hacer con más agilidad, mejorando considerablemente la rentabilidad. El saldo incremental después de impuestos es de 104.065 USD/año, llegando a un tercio de la inversión total.

7.2 Escenarios de sensibilidad

Se presentan escenarios de sensibilidad con respecto a la inversión, en maquinaria, la tasa de recepción y tratamiento, los costos operativos por tonelada de compost producido, para evaluar en estas variables en el período de recuperación de la inversión y en la TIR, sin considerar el subsidio de Biovalor.

Los siguientes gráficos comparan la sensibilidad de factores, siempre considerando que el resto de los factores no cambia (*ceteris paribus*).

En el caso de los costos operativos, se estima que son variables y se estipulan en función de las toneladas de compost producidas.

En los gráficos se ve que la variación de hasta 20% de los factores analizados no afecta seriamente la rentabilidad del proyecto. Entre las variables analizadas, el factor más sensible después de la inversión son las tarifas de recepción y tratamiento que la planta de compostaje cobra para la gestión de residuos, dado que representan la mayor parte de los ingresos de la empresa.

Gráfico 1 Sensibilidad del retorno de la inversión a cambios en la inversión (USD), la tasa de tratamiento (UR/m³), los costos operativos y en el volumen incremental vendido (USD/año).

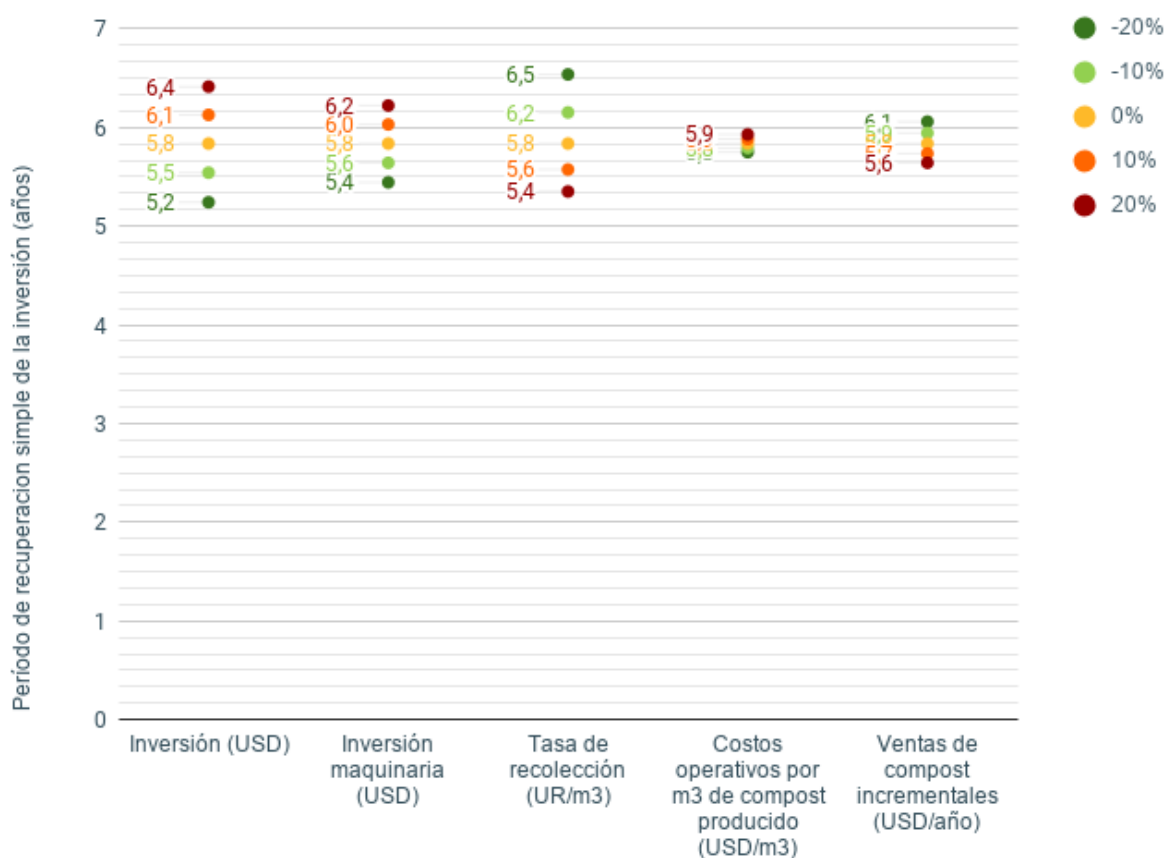
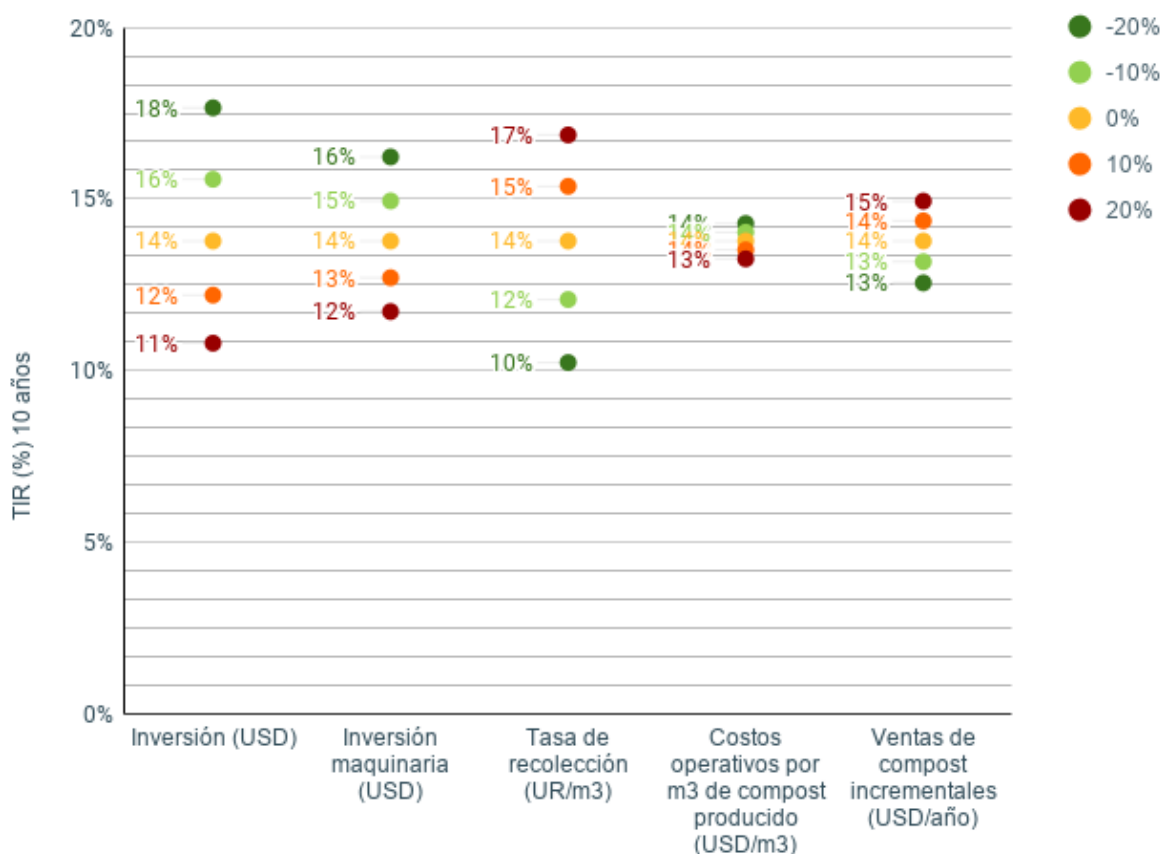


Gráfico 2 Sensibilidad de la TIR a cambios en la inversión (USD), la tasa de tratamiento (UR/m³), los costos operativos y en el volumen incremental vendido (USD/año).



8 Conclusiones

Atendiendo los resultados obtenidos, se concluye **que el proyecto demostrativo implementado fue exitoso.**

Vitaterra se consolidó como un operador de residuos nacional, habilitado por DINAMA y como un fabricante de la enmienda orgánica compost, de buena calidad, N° de registro DGSA EO-004.

Los **objetivos específicos** perseguidos por la empresa y el proyecto Biovalor se alcanzaron casi en su totalidad, quedando fuera el agregado de valor al compost, pero incrementándose la capacidad operativa y mejorando la calidad del producto final, mediante la adquisición de una volteadora autopropulsada y de una zaranda mecanizada, cuya capacidad de producción exceden la actual.

Desde el punto de vista técnico, la infraestructura resultante de la implementación del demostrativo cumple con la normativa, se mejoró el sistema de producción, la eficiencia de los procesos y la calidad del producto, se incrementó el volumen de residuos tratados, el compost producido y comercializado.

La maquinaria adquirida con los fondos de Biovalor tiene un muy buen desempeño y además es fácil de operar. La volteadora autopropulsada efectivamente presenta un alto rendimiento promedio (700 m³/h). Dadas sus dimensiones y características de movilidad, permite maximizar la eficiencia de uso de la playa de compostaje por unidad de superficie y también por año, en un 57% respecto a un tractor con volteadora de tiro. El salto en eficiencia es mayor aún si se lo compara con la pala cargadora, 62% más en capacidad instantánea (m³ de material/m² de playa) y un incremento de 2 veces el volumen volteado por año si considera que acorta el proceso de compostaje, de 6 meses a 1 año, a 2.5 – 3 meses. La zaranda de procedencia nacional también presenta un buen desempeño en términos de calidad final de producto y de rendimiento (8m³/h en régimen), excediendo las necesidades actuales de la empresa.

El control de procesos y productos implementados como resultado de la instalación del laboratorio y el asesoramiento técnico recibido por el personal de la empresa, también aportó a la mayor eficiencia productiva alcanzada. Procesos más cortos y productos de buena calidad se comercializan mayormente para el sector agrícola (horticultura), estando el compost Común registrado ante el MGAP, EO-004.

El beneficiario también adquirió maquinaria que entendió necesaria para la adecuada operativa de la planta, complementaria a la adquirida con fondos Biovalor, e invirtió en el desarrollo comercial del servicio creado y del producto obtenido.

Se generaron tres nuevos puestos de trabajo directo para implementar los procesos que se realizan en Vitaterra, consecuencia del proyecto.

Desde el punto de vista económico las inversiones son rentables con la volteadora autopropulsada funcionando al 45% de su capacidad potencial. Incluso sin el subsidio del proyecto Biovalor los resultados igualmente son muy atractivos, TIR a 10 años de 14%, VAN de 142.290 USD y tiempo de repago simple de 5.8 años.

La rentabilidad del proyecto es levemente sensible al monto de la inversión y a la tasa de tratamiento (UR/m³) de residuos que gestiona la planta. Esto es lógico, dado que la mayor fuente de ingresos de la planta de compostaje proviene del cobro de la misma (68%) y el restante de la venta de compost.

En este sentido cabe resaltar que la tarifa que Vitaterra cobra por su servicio es condicionada por la tarifa que la Intendencia de Montevideo fija para la planta de compostaje TRESOR, que se encuentra en las proximidades, aproximadamente a 13 km. Otro factor determinante para definir la tasa del servicio por gestión de residuos es el control que el Estado realice sobre quienes generan los residuos.

Respecto a la venta de compost se resalta la dificultad de venta que representa su precio final en comparación con otros materiales que también se aplican al suelo como enmiendas orgánicas y se venden a menor precio, ej.: estiércoles, cama de pollo. Además, a diferencia del compost se venden sin IVA, al igual que los fertilizantes orgánicos, órgano-minerales y de origen mineral.

Por último, cabe destacar que el apoyo económico no reembolsable ejecutado desde Biovalor (100.401 USD, fondos GEF), fue un incentivo determinante para la consolidación de Vitaterra como operador de residuos nacional, así también lo entiende el beneficiario. Sin embargo, el éxito del proyecto es principalmente consecuencia del compromiso de la empresa. Habiendo cumplido los compromisos

asumidos en el contrato, el beneficiario realizó las gestiones adicionales necesarias para posicionarse en el mercado, tramitó las habilitaciones ante DINAMA y logró el registro del compost ante el MGAP. Las inversiones en maquinaria superaron las previstas inicialmente y se implementaron medidas para potenciar el desarrollo comercial de la empresa.

9 Anexo

9.1 Links de interés

Normativa DGSA-MGAP: habilita el registro de insumos orgánicos (resolución DGSA Nº 97/018) y el registro de enmiendas orgánicas (resolución DGSA Nº 141/018), link [aquí](#).

Caracterización de compost y vermicompost (enmiendas orgánicas) fabricados en Uruguay, link [aquí](#).

Estudio de tecnologías de compostaje, link [aquí](#).

Normativa ambiental que alcanza a generadores y operadores de residuos sólidos industriales y asimilados, link [aquí](#).

9.2 Detalle de estimaciones realizadas

Tabla 15: Estimación de aprovechamiento de la playa de compostaje y eficiencia operativa ($m^3/m^2/h$) según tecnología de volteo.

Parámetro	Volteadora autopropulsada demostrativo	Tractor + volteadora de tiro	Pala cargadora
Ancho de pila (m)	2,7	2,5	3
Altura de pila (m)	1,2	1,2	1,5
Entrefila (m)	1,3	3,3	6
Vol. de material en pilas instantáneo sobre playa de compostaje (m^3)	2.961	1.891	1.828
Relación largo/ancho de playa	1,1		
Sup. de playa de compostaje ocupada (m^2)	8250		
Relación vol. material pilas instantáneo sobre playa (m^3)/Sup. Playa compostaje ocupada (m^2)	0,36	0,23	0,22
Duración del proceso de compostaje (meses)	2.5 a 3	2.5 a 3	6 a 12
Vol. Promedio anual volteado ($m^3/año$)	11.842	7.562	3.655

10 Referencias

- FAO, 2013. Román P., Martínez María M., Pantoja A. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile, 2013.
<http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

- Matei P.M., Sánchez Báscones M, Martín Villullas M. T., Díez Gutiérrez M.A., García-González M.C.. 2014. Eficiencia del compostaje de sarmientos de vid mediante pilas abiertas como método de higienización. Universidad de Valladolid, Palencia, España (2) Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Finca Zamadueñas.
https://www.researchgate.net/profile/Petruta_Matei2/publication/274251254_Eficiencia_del_compostaje_de_sarmientos_de_vid_mediante_pilas_abiertas_como_metodode_higienizacion/links/5519b8ca0cf2f51a6fea21f1.pdf
- Benzano F., Emmer V., González M.J., 2016. UGP Biovalor. Cuantificación de residuos generados en sectores agroindustriales uruguayos. <https://biovalor.gub.uy/descarga/informe-tecnico-cuantificacion-residuos-generados-sectores-agropecuarios-agroindustriales-uruguayos/>