

SIMULACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL RELLENO SANITARIO DE ALPACOMA, CON LA IMPLEMENTACIÓN DE VERMICOMPOSTERAS FAMILIARES

Iturralde E. Milenka^{1*} y Álvarez C. Saturnino¹

¹ Universidad Mayor de San Andrés. *Contacto: ms_iturralde_escobar@hotmail.com, Calle Héroes del Acre Esq. Landaeta, La Paz - Bolivia.

RESUMEN

La vida útil de un relleno sanitario se traduce en la cantidad de basura que éste puede contener y se reduce diariamente al depositar basura en el mismo. Trabajos anteriores han estimado una vida útil hasta el año 2026 para el relleno sanitario de Alpacoma, que recibe los desechos de la ciudad de La Paz. Sin embargo, el crecimiento de la población, así como la cultura consumista han incrementado la generación diaria de basura, misma que está compuesta en más del 50% de residuos orgánicos compostables. El objetivo de éste trabajo es simular la vida útil restante del Relleno sanitario de Alpacoma, con nuevos datos de crecimiento poblacional de la ciudad de La Paz, y bajo escenarios de conversión de la fracción orgánica de la basura en fertilizante y proteína de lombriz, mediante el empleo de vermicomposteras familiares. En el primer escenario, donde no se realiza vermicompostaje, se ha calculado una vida útil restante de 5 años, es decir hasta el 2022. En un escenario donde la mitad de la población realiza vermicompostaje, la vida útil llega al año 2025, produciendo alrededor de 34.000 Tn de humus y 2.000 Tn de proteína de lombriz. En un escenario donde toda la población realiza vermicompostaje, la vida útil alcanza el año 2034 y se producen alrededor de 84.000 Tn de humus y 5.000 Tn de proteína de lombriz.

Palabras Clave: Alpacoma, lombricultura, relleno sanitario, vermicompostaje.

ABSTRACT

The useful life of a sanitary landfill refers to the amount of garbage it can contain and it is reduced daily by every deposition of garbage in it. Previous works have estimated a useful life until 2026 for Alpacoma sanitary landfill, which receives waste from La Paz city. However, the population's growth as well as the consumerism have increased the daily generation of garbage, which is more than 50% composed of organic compostable waste. This work objective, is to simulate the remaining useful life of Alpacoma sanitary landfill using actual population's growth data from La Paz city, and under different sceneries of organic fraction garbage's conversion into fertilizer and worm protein, through the use of family vermicomposting. In a scenery with no vermicomposting, Alpacoma sanitary landfill has a remaining useful life of 5 years from now (until 2022). In a scenery where half of the population performs vermicomposting, Alpacoma's useful life reaches the year 2025, producing around of 34,000 tons of humus and 2,000 tons of worm protein. In a scenery where the entire population performs vermicomposting, Alpacoma's useful life reaches the year 2034 and around 84,000 tons of humus and 5,000 tons of worm protein are produced.

Key Words: Alpacoma, vermiculture, sanitary landfill, vermicomposting.

INTRODUCCIÓN

La vida útil de un relleno sanitario se traduce en la cantidad de basura que éste puede contener, y se reduce diariamente, a medida que se va depositando basura en el mismo.

Poma (2015), simula la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma, considerando el crecimiento demográfico de la población y la cantidad de basura generada *per cápita*; ha calculado para el mismo una vida útil de 20 años contabilizando a partir del año 2006. Esta vida útil puede incrementarse si se realiza un aprovechamiento familiar de los desechos urbanos compostables, que alcanzan hasta el 61,16% del total generado (Alvarado, 2009).

La Generación de residuos sólidos en nuestro país cuenta con datos recientes en las ciudades de La Paz, Santa Cruz de la Sierra, Oruro y Tarija; en el resto del país la información es del año 2003 o anterior. Diariamente se generan 4.782 Ton/día, la mayor cantidad se genera en el departamento de Santa Cruz con el 31%, seguido de La Paz con el 27% y Cochabamba con el 17%; el resto se genera en los departamentos de Potosí con el 6%, Chuquisaca y Tarija con el 5% cada uno; en Oruro y Beni con el 4% cada uno y en Pando con el 1% (DGGIRS, 2011).

La medida utilizada para el parámetro de generación de basura, es el Índice de Producción Per-Cápita (PPC), cuyas unidades de medida son el Kilogramo por habitante-día: $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (DGGIRS, 2011).

Según la Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos (DGGIRS, 2011), el mayor valor del índice de producción *per capita* de residuos sólidos urbanos corresponde a las ciudades capitales metropolitanas con $0,53 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

DGGIRS (2011), señala que la composición física porcentual en peso de los residuos sólidos depende del nivel de vida, actividad que realiza la población y climatología de la zona, donde, en la mayoría de las ciudades de los departamentos de Bolivia, se observa que la fracción orgánica representa más del 50% del total de residuos generados. Alvarado (2009), señala que en la ciudad de La Paz, del total de residuos 61,16% son desechos orgánicos reciclables.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMYA, 2011), en su diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en el departamento de La Paz, afirma que el relleno sanitario de Alpacoma recibe diariamente alrededor de 550 toneladas de residuos.

Estudios del DGGIRS (2011) acerca de la Producción *per cápita* diaria en la ciudad de La Paz, a partir de la gestión 1996 a la gestión 2010, señalan que se tuvo un incremento del 1,75%.

Realizando un diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en Bolivia, el DGGIRS (2011), señala que en

la ciudad de La Paz la empresa TERSA, encargada de la recolección de residuos en la ladera este de la ciudad, a principios de la gestión 2010 incurrió en la recolección de residuos orgánicos generados en los mercados, distribuyendo contenedores especiales en 9 de los 75 mercados existentes en la ciudad, en los que se pudo recolectar un promedio de 13 Tn mes^{-1} de residuos sólidos.

Actualmente, ocupándose de la limpieza de la ciudad de La Paz, se encuentran operando las empresas TERSA y ANESAPA. La primera con un contrato hasta el año 2025 y la segunda que comenzó a operar en Noviembre del 2016. La basura generada, se dispone en el botadero de Nuevo Jardín de Alpacoma, habiéndose cerrado el botadero municipal de Mallasa (DGGIRS, 2011).

En la actualizad, en el relleno sanitario de Alpacoma y en el ex botadero a cielo abierto de Mallasa se realizan trabajos de vermicompostaje de los residuos orgánicos de restaurantes colindantes, restos del matadero municipal ($1,2 \text{ Tn día}^{-1}$), del zoológico, poda de árboles ($4,55 \text{ Tn día}^{-1}$), y residuos recuperados de los mercados (13 Tn mes^{-1}), produciendo alrededor de 33 Tn mes^{-1} de humus y 23 Tn mes^{-1} de compost, que son empleados para la reforestación del relleno sanitario, en el vivero, y otros (Otero, 2015; DGGIRS, 2011), sin embargo, si la población urbana participara activamente implementando lombriculturas familiares, utilizando las cascaras de frutas y verduras que diariamente se generan al consumir el alimento, sea en mercados o en la propia cocina del hogar, se reduciría el volumen de desechos urbanos generados y se podría incrementar la vida útil del relleno sanitario.

Este abono producido, puede ser utilizado en la implementación de huertos urbanos, lo cual contribuirá a la seguridad alimentaria de la familia, a la generación de ingresos adicionales y al cuidado del medio ambiente.

OBJETIVOS

- Calcular el incremento de la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma, con la implementación de vermicomposteras familiares en la ciudad de La Paz, simulando la participación de 10%, 50% y 100% de la población
- Simular la cantidad de humus y biomasa de lombrices producidos en condiciones óptimas de manejo bajo los escenarios propuestos.

METODOLOGÍA

Se realizó el diseño del experimento para la ciudad de La Paz, que está ubicada a 3650 m.s.n.m, en la región andina de Bolivia. La temperatura media es de 16°C , la precipitación anual media es de 561 mm.

Se consideró a la población existente en la ciudad de La Paz, así como su tasa de crecimiento anual, como la fuente de producción de desechos.

Para incrementar la vida útil del botadero de Alpacoma, se plantearon tres escenarios de elaboración de vermicompostaje: con 10% de población; con 50% de población; y con 100% de la población. También se consideró un escenario testigo, para comparación de la vida útil del relleno sanitario, sin la realización de ningún trabajo de vermicompostaje.

Posteriormente, con el dato de cantidad de desechos totales y desechos compostables generados por persona, se hizo la diferencia de volumen acumulado el cual disminuirá la vida útil del Relleno Sanitario de Alpacoma.

Con el dato de los desechos compostables, se procedió a calcular la cantidad de humus de lombriz generado por una compostera de 300 lombrices tipo familiar (Silva, 2016), y el incremento de biomasa de lombrices (kg de lombriz) producidos en el tiempo.

Se usó la *modelación de dinámica poblacional de lombrices* usando la herramienta de simulación *Simile*, el cual es un “software diseñado para realizar simulaciones de sistemas estáticas, dinámicas y complejas como es en las ciencias de la tierra, medio ambiente y vida”. (Simulistics, s.f. p. Introducción).

El programa interactivo de procesos de simulación *Simile*, soluciona problemas relacionados a diversos procesos agronómicos, bioquímicos, biofísicos etc. Permitiendo a los operadores la facilidad en las simulaciones, siendo una herramienta lógica de simulación modular para el estado estacionario y para el régimen dinámico (Ramirez, 2014).

Se utilizó el lenguaje del programa *SIMILE*, para diseñar e implementar el simulador. Utilizando éste programa, primero se realiza el dibujo de los diagramas que representan las características del modelo, posteriormente se inserta información cuantitativa (valores y ecuaciones) a cada elemento del diagrama. Con éste gráfico y asignación de valores, en el interior del programa se van definiendo las ecuaciones que son las que ejecutarán la simulación mediante éste programa.

La notación del programa *SIMILE* se basa en diagramas que combinan los conceptos de cantidad, flujo e influencias. Se emplearon cuatro símbolos para representar un sistema dinámico: 1) el compartimiento (depósito, nivel, o variable de estado) representa cantidades, como alturas, diámetros; 2) el flujo representa un proceso que contribuye a la tasa de cambio de un compartimiento (ecuación diferencial); 3) las variables representan otras cantidades en el sistema tales como parámetros, variables intermedias, variables de salida, y la expresión matemática para calcular su valor; y 4) la flecha de influencia , representa las relaciones entre los diferentes elementos del modelo (Jerez, Quintero, Quevedo & Moret, 2015).

POBLACIÓN EN LA CIUDAD DE LA PAZ

En el censo poblacional del año 2012, La Paz tiene 766 468 habitantes (INE, 2012). La tasa anual de crecimiento intercensal de La Paz varía entre 2,8% para el periodo 1992-2001 y 1,4% para el periodo censado en el 2001-2012 INE (2015, p.19).

Se simuló el crecimiento poblacional en el programa *SIMILE*, con tasas anuales de crecimiento comprendidas entre los valores mencionados.

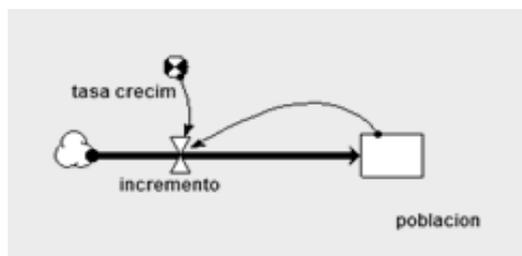


Figura 1: Modelo para la simulación del crecimiento poblacional de La Paz.

Tabla 1: Población de la ciudad de La Paz

<i>Año</i>	<i>Población (N° habitantes)*</i>
2012	766.468
2013	777.511
2014	789.294
2015	806.260
2016	818.800
2017	832.094
2018	844.076
2019	862.653
2020	885.955
2021	905.868
2022	921.167
2023	936.332
2024	951.381
2025	966.676
2026	993.699
2027	1.011.000
2028	1.029.700
2029	1.050.500
2030	1.076.900
2031	1.097.000
2032	1.125.600
2033	1.150.800
2034	1.182.800
2035	1.204.700
2036	1.227.500
2037	1.258.200
2038	1.287.300
2039	1.323.100
2040	1.349.000

*(*Simulación SIMILE v 6.8*)

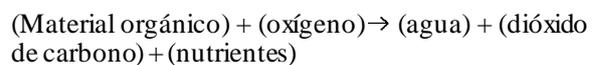
CANTIDAD DE DESECHOS GENERADOS POR PERSONA EN LA CIUDAD DE LA PAZ

Considerando los dato inicial de que cada persona genera 0,53 kg de desechos totales por día (DGGIRS, 2011), y que de éstos 61,16% son compostables (Poma, 2015), se puede afirmar que diariamente cada persona genera 0,325 kg de desechos orgánicos reciclables.

El relleno sanitario de Alpacoma tiene una capacidad aproximada de 3.310.000 Toneladas para sus 20 años de vida útil, contabilizados a partir de 2006. Actualmente solo quedan 8 años de vida útil y una capacidad aproximada de 1.606.000 Toneladas de residuos (GAM. L.P. 2015. p. 12).

VOLUMEN DE TRANSFORMACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS EN HUMUS

Según Odum, et al (1987), el proceso de descomposición por organismos detritívoros, ocurre obedeciendo la siguiente ecuación generalizada:



Éstos nutrientes obtenidos de la descomposición son transformados básicamente en biomasa de lombrices y humus (Araujo et al, 2004).

Según Alonso (2014), la lombriz posee una tasa de crecimiento de 100% mensual, lo cual la lleva a duplicar su número cada mes, siendo que en un año, con las condiciones adecuadas de manejo, de 1 kg de lombrices, obtendríamos 10000 kg de las mismas.

Tabla 2: Dinámica del crecimiento poblacional de lombrices.

Mes	Población lombrices	Peso de lombrices (kg)	Consumo de alimento (kg)	Producción de humus (kg)	Producción de proteína (kg)
0	1000	1	1	0,6	0,04
3	10000	10	10	6	0,4
6	100000	100	100	60	4
9	1000000	1000	1000	600	40
12	10000000	10000	10000	6000	400

Fuente: Díaz (2002)

Afirmando éste dato, Díaz (2002, p.27-28), señala que “en un año, una lombriz adulta puede generar 1500 individuos”, consumiendo cada día su propio peso en alimento. De éste total consumido, “60% es excretado como abono y 40% lo metaboliza para formar tejido y acumular energía”.

DISEÑO DEL MODELO EN EL PROGRAMA SIMILE

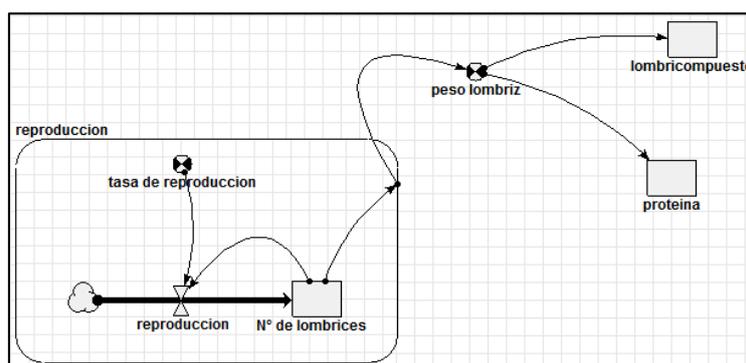


Figura 2: Modelo para la producción familiar de humus a partir de lombrices californianas.

En base a los parámetros estudiados, se diseñó y elaboró el sistema en el programa Simile, donde se tomaron en cuenta la tasa de reproducción, el N° de lombrices, el peso total de las lombrices, lombricompuesto o humus producido y proteína producida.

Las ecuaciones utilizadas en el sistema, se expresan a continuación:

- Tasa de reproducción.- sintetizada de los datos de incremento poblacional de lombrices (Díaz, 2002), ajustados en curva exponencial expresada mediante la ecuación:

$$Poblacion = e^{0,7675x}$$

Dónde:

- e= logaritmo neperiano
- x= mes para el que se quiere calcular la población

- Número inicial de lombrices = 300 (Silva, 2016).
- Reproducción= N° de lombrices *tasa de reproducción.
- Peso lombriz= N° de lombrices /1000 (para expresar dato en kilogramos)
- Lombricompuesto= Peso lombriz* 60% (Díaz, 2002)
- Proteína= Peso lombriz* 4% (Díaz, 2002)

RESULTADOS

ESCENARIO SIN VERMICOMPOSTAJE

Siendo la capacidad restante del Relleno Sanitario de Alpcoma de 1.606.000 toneladas (GAMLP, 2015), sin ningún tipo de vermicompostaje familiar, se ha calculado una vida útil restante de 5 años, es decir aproximadamente hasta principios del año 2022.

Tabla 3: Vida útil restante del relleno sanitario de Alpcoma, sin vermicompostaje familiar.

Año literal	Población simulada (SIMILE) (tasa de crecimiento entre (1,4 y 2,8%)	Desechos totales/persona (0,53 kg día-1)	Cantidad acumulada (Kg)	Conversión a toneladas
2012	766.468	148273234,6	148273234,6	148.273,23
2013	777.511	150409489,0	298682723,6	298.682,72
2014	789.294	152688933,5	451371657,1	451.371,66
2015	806.260	155970974,6	607342631,6	607.342,63
2016	818.800	158396933,1	765739564,8	765.739,56
2017	832.094	160968524,0	926708088,8	926.708,09
2018	844.076	163286486,0	1089994574,8	1.089.994,57
2019	862.653	166880264,2	1256874839,1	1.256.874,84
2020	885.955	171388054,2	1428262893,2	1.428.262,89
2021	905.868	175240236,5	1603503129,7	1.603.503,13
2022	921.167	178199671,0	1781702800,7	1.781.702,80

ESCENARIO 2: 10% DE LA POBLACIÓN REALIZA VERMICOMPOSTAJE

En la Tabla 4 se observa que si 10% de la población realiza el compostaje de sus residuos orgánicos, no existe un incremento en la vida útil del relleno sanitario.

Tabla 4: Vida útil restante del relleno sanitario de Alpacoma, con 10% de la población realizando vermicompostaje familiar.

Año literal	Población simulada (SIMILE) (tasa de crecimiento entre (1,4 y 2,8%)	Escenario 2 10% población realiza compostaje	Desechos totales/persona (0,53 kg día-1)	Desechos compostables/persona (0,325 kg día-1)	Desechos a llenar el relleno sanitario (kg)	Cantidad acumulada (kg)	Conversión a toneladas
2012	766.468	76.647	148273234,6	9092226,7	139181008,0	139181008,0	139.181,01
2013	777.511	77.751	150409489,0	9223223,4	141186265,6	280367273,6	280.367,27
2014	789.294	78.929	152688933,5	9363000,6	143325932,8	423693206,4	423.693,21
2015	806.260	80.626	155970974,6	9564257,9	146406716,7	570099923,1	570.099,92
2016	818.800	81.880	158396933,1	9713019,5	148683913,7	718783836,7	718.783,84
2017	832.094	83.209	160968524,0	9870711,4	151097812,7	869881649,4	869.881,65
2018	844.076	84.408	163286486,0	10012850,6	153273635,5	1023155284,9	1.023.155,28
2019	862.653	86.265	166880264,2	10233223,7	156647040,5	1179802325,3	1.179.802,33
2020	885.955	88.596	171388054,2	10509644,8	160878409,3	1340680734,7	1.340.680,73
2021	905.868	90.587	175240236,5	10745863,6	164494372,9	1505175107,6	1.505.175,11
2022	921.167	92.117	178199671,0	10927338,3	167272332,7	1672447440,3	1.672.447,44

ESCENARIO 3: 50% DE LA POBLACIÓN REALIZA VERMICOMPOSTAJE

En la Tabla 5 se observa que si 50% de la población realiza el compostaje de sus residuos orgánicos, existirá un incremento en la vida útil del relleno sanitario de 3 años.

Tabla 5: Vida útil restante del relleno sanitario de Alpacoma, con 50% de la población realizando vermicompostaje familiar.

Año literal	Población simulada (SIMILE) (tasa de crecimiento entre (1,4 y 2,8%)	Escenario 2 50% población realiza compostaje	Desechos totales/persona (0,53 kg día-1)	Desechos compostables/persona (0,325 kg día-1)	Desechos a llenar el relleno sanitario (kg)	Cantidad acumulada (kg)	Conversión a toneladas
2012	766.468	383.234	148273234,6	45461133,3	102812101,4	102812101,4	102.812,10
2013	777.511	388.755	150409489,0	46116116,9	104293372,1	207105473,5	207.105,47
2014	789.294	394.647	152688933,5	46815003,2	105873930,3	312979403,7	312.979,40
2015	806.260	403.130	155970974,6	47821289,4	108149685,2	421129088,9	421.129,09
2016	818.800	409.400	158396933,1	48565097,4	109831835,7	530960924,6	530.960,92
2017	832.094	416.047	160968524,0	49353556,9	111614967,1	642575891,8	642.575,89
2018	844.076	422.038	163286486,0	50064252,8	113222232,3	755798125,0	755.798,12
2019	862.653	431.327	166880264,2	51166118,7	115714145,5	871512270,5	871.512,27
2020	885.955	442.978	171388054,2	52548224,2	118839830,0	990352100,5	990.352,10
2021	905.868	452.934	175240236,5	53729317,8	121510918,7	1111863019,2	1.111.863,02
2022	921.167	460.583	178199671,0	54636691,6	123562979,4	1235425998,6	1.235.426,00
2023	936.332	468.166	181133459,9	55536202,3	125597257,6	1361023256,2	1.361.023,26
2024	951.381	475.690	184044647,2	56428783,4	127615863,9	1488639120,1	1.488.639,12
2025	966.676	483.338	187003464,9	57335968,0	129667496,9	1618306617,0	1.618.306,62

ESCENARIO 4: 100% DE LA POBLACIÓN REALIZA VERMICOMPOSTAJE

En la Tabla 6 se observa que si el total de la población realiza el compostaje de sus residuos orgánicos, existirá un incremento en la vida útil del relleno sanitario de 12 años.

Tabla 6: Vida útil restante del relleno sanitario de Alpacoma, con 100% de la población realizando vermicompostaje familiar.

Año literal	Población simulada (SIMILE) (tasa de crecimiento entre (1,4 y 2,8%)	Escenario 3 100% población realiza compostaje	Desechos totales/persona (0,53 kg día-1)	Desechos compostables/persona (0,325 kg día-1)	Desechos a llenar el relleno sanitario (kg)	Cantidad acumulada (kg)	Conversión a toneladas
2012	766.468	766.468	148273234,6	90922266,5	57350968,1	57350968,1	57.350,97
2013	777.511	777.511	150409489,0	92232233,8	58177255,2	115528223,3	115.528,22
2014	789.294	789.294	152688933,5	93630006,4	59058927,1	174587150,4	174.587,15
2015	806.260	806.260	155970974,6	95642578,7	60328395,8	234915546,2	234.915,55
2016	818.800	818.800	158396933,1	97130194,9	61266738,3	296182284,5	296.182,28
2017	832.094	832.094	160968524,0	98707113,8	62261410,2	358443694,7	358.443,69
2018	844.076	844.076	163286486,0	100128505,6	63157980,4	421601675,2	421.601,68
2019	862.653	862.653	166880264,2	102332237,5	64548026,7	486149701,9	486.149,70
2020	885.955	885.955	171388054,2	105096448,3	66291605,9	552441307,8	552.441,31
2021	905.868	905.868	175240236,5	107458635,6	67781600,9	620222908,7	620.222,91
2022	921.167	921.167	178199671,0	109273383,2	68926287,9	689149196,5	689.149,20
2023	936.332	936.332	181133459,9	111072404,7	70061055,3	759210251,8	759.210,25
2024	951.381	951.381	184044647,2	112857566,7	71187080,5	830397332,3	830.397,33
2025	966.676	966.676	187003464,9	114671936,0	72331528,9	902728861,2	902.728,86
2026	993.699	993.699	192231089,7	117877555,0	74353534,7	977082395,9	977.082,40
2027	1.011.000	1.011.000	195577950,0	119929875,0	75648075,0	1052730470,9	1.052.730,47
2028	1.029.700	1.029.700	199195465,0	122148162,5	77047302,5	1129777773,4	1.129.777,77
2029	1.050.500	1.050.500	203219225,0	124615562,5	78603662,5	1208381435,9	1.208.381,44
2030	1.076.900	1.076.900	208326305,0	127747262,5	80579042,5	1288960478,4	1.288.960,48
2031	1.097.000	1.097.000	212214650,0	130131625,0	82083025,0	1371043503,4	1.371.043,50
2032	1.125.600	1.125.600	217747320,0	133524300,0	84223020,0	1455266523,4	1.455.266,52
2033	1.150.800	1.150.800	222622260,0	136513650,0	86108610,0	1541375133,4	1.541.375,13
2034	1.182.800	1.182.800	228812660,0	140309650,0	88503010,0	1629878143,4	1.629.878,14

PRODUCCIÓN DE HUMUS Y PROTEÍNA DE LOMBRIZ EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS SIMULADOS

La tabla 7 expresa los volúmenes producidos de humus y proteína de lombriz bajo los diferentes escenarios simulados.

Tabla 7. Volumen de producción de humus y proteína de lombriz en los tres escenarios simulados

Escenarios	Año	Población simulada (SIMILE) (tasa de crecimiento entre (1,4 y 2,8%)	Población realizando vermicompostaje	Desechos totales/persona (0,53 kg día-1)	Desechos compostables/persona (0,325 Kg día-1)	Conversión a Humus (kg)	Conversión a Proteína (kg)
10%	2021	905.868	90.587	175.240.236,5	10.745.863,6	6.447.518,1	429.834,5
	2022	921.167	92.117	178.199.671,0	10.927.338,3	6.556.403,0	437.093,5
50%	2024	951.381	475.690	184.044.647,2	56.428.783,4	33.857.270,0	2.257.151,3
	2025	966.676	483.338	187.003.464,9	57.335.968,0	34.401.580,8	2.293.438,7
100%	2033	1.150.800	1.150.800	222.622.260,0	136.513.650,0	81.908.190,0	5.460.546,0
	2034	1.182.800	1.182.800	228.812.660,0	140.309.650,0	84.185.790,0	5.612.386,0

DISCUSIÓN

La producción *per cápita* de residuos estudiado por el DGGIRS (2011), no está lejos de datos mencionados por Vázquez et al (2003), que menciona que en ciudades metropolitanas, se ha llegado a producir incluso entre 1 a 1,5 Kg de desecho por persona. Esta cantidad de desechos producidos ocasiona un gran problema de contaminación ambiental.

Mediante un proceso matemático de simulación en Matlab, Poma (2015) calcula que la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma es de 20 años, mediante la Simulación en el programa SIMILE, se calculó una vida útil del mismo, de 16 años. Sin embargo, si cada familia realiza compost con lombrices de la parte orgánica de sus desechos, la vida útil del botadero alcanzaría los 28 años, reduciendo la contaminación ambiental y reincorporando nutrientes al suelo. Apoyando ésta aseveración, (Martínez, 2007 y FAO,

s.f.) señalan que la lombricultura reduce el tiempo de descomposición de la materia orgánica y libera los nutrientes contenidos en ésta a mayor velocidad. También, (FONCODES, 2014; Lavelle y Spain, 2001) califican al lombricompost como uno de los abonos orgánicos de mejor calidad, que aporta nitrógeno, fósforo, potasio (Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D., Domínguez, J., 2006), microorganismos (Domínguez, 2004) y otros como enzimas (Aira y Domínguez 2008).

CONCLUSIONES

- Con datos de crecimiento poblacional y cantidad generada per cápita, se ha calculado en el programa SIMILE una vida útil restante de 5 años, es decir hasta el año 2022, para el relleno sanitario de Alpacoma.
- En un escenario donde 10% de la población realiza vermicompostaje, no se incrementa la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma, sin embargo, se logra producir alrededor de 6.500,00 Tn de humus y más de 400,00 Tn de proteína de lombriz, con lo cual se estaría convirtiendo la basura en productos con valor económico y ecológico.
- En un escenario donde 50% de la población realiza vermicompostaje, la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma, incrementa en 3 años, es decir hasta el 2025, produciendo alrededor de 34.400,00 Tn de humus de lombriz y alrededor de 2.200,00 Tn de proteína de lombriz.
- En un escenario donde toda la población realiza vermicompostaje, la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma, incrementa en 12 años, es decir hasta el 2034, produciendo alrededor de 84.100,00 Tn de humus de lombriz y alrededor de 5.600,00 Tn de proteína de lombriz.

REFERENCIAS

- Aira, M., Domínguez, J. (2008). Optimizing vermicomposting of animal wastes: effects of dose of manure application on carbon loss and microbial stabilization. *Journal of Environmental Management* 88:1525-1529. Recuperado de: <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2011/10/YJEMA1704.pdf>
- Alonso-Peña, J. R. (2014). *AgroGuías: Compost de Lombrices*. España. 175 pp. Recuperado de: https://books.google.com.bo/books?id=rgMoDwAAQBAJ&pg=PA132&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- Alvarado, E. (2009). *Residuos Sólidos, Entre Problemas y las Soluciones*. La Paz – Bolivia. Recuperado de <http://www.educabolivia.bo/micrositios/madretierra/pdf/problema/opcion5/pdf/Residuos%20solidos,%20entre%20el%20problema%20y%20las%20soluciones.pdf>
- Araujo, C., Ribeiro, A., y Veira, E. M. (2004). *Residuos Orgánicos Alternativos nos Processos de Compostagem e de Vermicompostagem*. ICTR 2004- Congreso Brasileiro de Ciencia e tecnologia en Residuos e Desenvolvimento Sustentavel. (p. 11)
- Barbara Silva, B. (2006). *Sistemas Experimentais de compostagem de residuos orgánicos: Estudio de caso (tesis de maestría)* Universidad estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" San Paulo Brasil.
- Díaz, E. (2002). *Guía de Lombricultura*. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de la Rioja: Argentina. Recuperado de: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>
- Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2011). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*. Recuperado de: <file:///C:/Users/minedu/Downloads/DATOS-GENERALES.pdf>
- Domínguez, J., Bohlen, J.P., Parmelee, R.W. (2004). Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-004-0150-7>
- FAO (s.f.). *Materia orgánica y actividad biológica: Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf
- FONCODES. (2014). *Producción y uso de abonos orgánicos: Biol, compost y humus*. Proyecto mi Chacra emprendedora: Haku Wiñay. Manual técnico. Recuperado de: <http://www.paccperu.org.pe/publicaciones/pdf/126.pdf>
- GAM. LA PAZ. (2015). *Investigación, La Paz, Enfrenta Nuevos Desafíos con la Basura*. Recuperado de http://lapazcomovamos.org/wp-content/uploads/2016/08/2015_INVESTIGACION_La_Paz_enfrenta_nuevos_desafios_con_la_basura.pdf
- Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Censo de población y vivienda*. Bolivia: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de:

- http://fm.ine.gob.bo/censofichacomunidad/c_listadof/listar_comunidades
- Instituto Nacional de Estadística. (2015). Características de la Población: Censo de población y vivienda 2012. Bolivia: Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de: <http://inecloud.ine.gob.bo/inecloud/index.php/s/hxA YltQK1qSE44b#pdfviewer>
- Jerez, M., Quintero, M., Quevedo, A., & Moret, A. (2015). Simulador de crecimiento y secuestro de carbono para plantaciones de teca en Venezuela: una aplicación en SIMILE. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 519-530.
- Lavelle, P., Spain, A.V. (2001). *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, London. UK. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/refhub/B978-0-12-415955-6.00005-0/rf0520>
- Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D., Domínguez, J. (2006). Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071706002446>
- Martinez, C. (2007). *Lombricultura (6)*. Secretaria de agricultura, Ganaderia, Desarrollo rural pesca y Alimentacion: México. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documentos/fichasaapt/Lombricultura.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2011). Diagnóstico Departamental de La Paz. Recuperado de: <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/DIAGNOSTICO-DEPARTAMENTAL-LA-PAZ.pdf>
- Odum, H. T., E. C. Odum, M. T. Brown, D. LaHart, C. Bersok, and J. Sendzimir. (1987). *Environmental Systems and Public Policy. A Text on Science, Technology and Society*. Gainesville, FL: Center for Wetlands, Ecological Economics Program, Univ. of FL. 237 pp.
- Otero, D. (2015). *Tras diez años con la misma empresa, La Paz enfrenta nuevos desafíos con la basura*. Recuperado de: http://lapazcomovamos.org/wp-content/uploads/2016/08/2015_INVESTIGACION_La_Paz_enfrenta_nuevos_desafios_con_la_basura.pdf
- Poma, C. (2015). *Modelo de simulación para determinar la vida útil del relleno sanitario de Alpacoma de la ciudad de La Paz. (Tesis de pregrado)*. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
- Ramírez G. (2014). *Softwares utilizados para la Simulación del Sistema*. La Paz, Bolivia. Recuperado de: <https://softwaresdesimulacion.blogspot.com>
- Quintanilla, V. (2015). *En La Paz se recicla sólo 0,4% del total de residuos generados diariamente*. La Paz, Bolivia: La Publica. Recuperado de: <https://lapublica.org.bo/al-toque/la-paz/item/936-en-la-paz-se-recicla-solo-0-4-del-total-de-residuos-generados-diariamente>
- Simulistics. (s.f.). Reino Unido. Recuperado de: <http://www.simulistics.com/index.htm>
- Vazquez, C., Salazar, E., Trejo, H., Rodriguez, J., Gallegos, A. (2003). Capítulo III Introducción a la Lombricultura. En E. Salazar, M. Fortis, A. Vazquez, C. Vazquez (Eds.), *Abonos Orgánicos y Plásticos* (pp. 43-62). México. Recuperado de: http://www.smcsmx.org/files/books/abonos_org.pdf