

# **Simulación de la vida útil de la celda No.5 del relleno sanitario de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre**

**Gloria Marcela Linares Escalante**  
glinares@cel.gob.sv

2014

## Contenido

Resumen .....	ii
Introducción .....	iii
I. Planteamiento del Problema .....	1
1.1 Problema .....	1
1.2 Justificación .....	1
II. Objetivo .....	1
2.1 General .....	1
2.2 Específicos .....	2
III. Marco teórico .....	2
IV. Marco metodológico .....	6
V. Resultados .....	8
VI. Conclusiones y Recomendaciones .....	9
VII. Bibliografía .....	10

## Resumen

Se creó un modelo de simulación para predecir la vida útil de la celda a construir en el relleno sanitario de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, ya que se está realizando una ampliación de la C.H 5 de Noviembre y ya que el servicio de recolección se presta tanto para la CH Cerrón Grande como para la comunidad Cerrón Grande. Esta celda está en proceso de obtención de permisos por parte del Ministerio de Medio Ambiente y las demás instituciones competentes.

Para recolectar los datos necesarios para poder elaborar el modelo de simulación, se tomó de base los datos históricos de generación de las Centrales Hidroeléctricas que se presenta en los informes anuales del funcionamiento de los rellenos sanitarios, donde se obtienen los datos de generación de desechos sólidos, el volumen de estos, el volumen compactado con el material de relleno, el porcentaje de los desechos que pueden ser reciclados.

Partiendo de estos datos se creó un diagrama de flujo para poder simular la vida útil de la celda No. 5 del relleno sanitario.

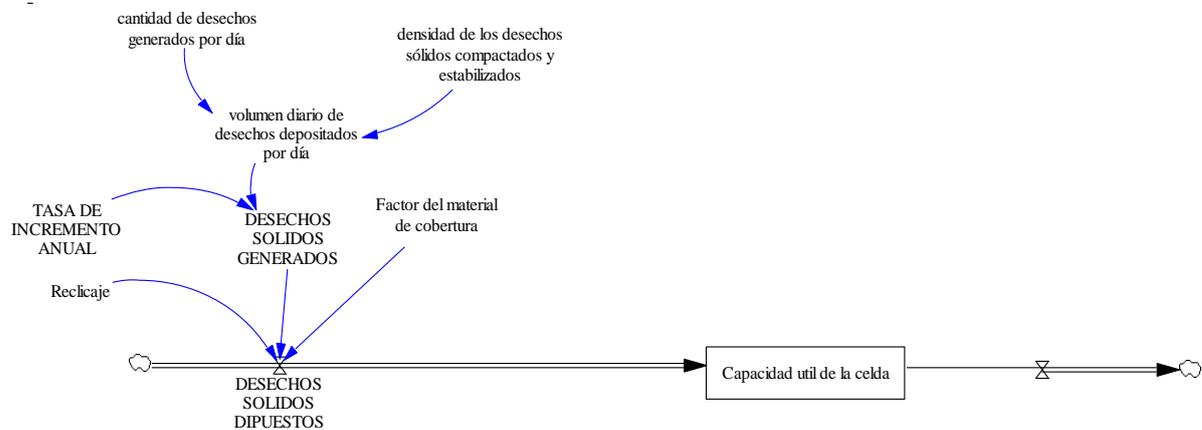


Diagrama de flujo de la vida útil de la Celda No. 5 del Relleno Sanitario.

Haciendo uso del Programa Vensim se realizó la simulación para obtener la vida útil de la celda No. 5 del relleno Sanitario la cual tiene una capacidad volumétrica de  $1188 \text{ m}^3$ , obteniendo los siguientes resultados:

- Al realizar el reciclaje del 25% de los desechos que ingresan al relleno sanitario, aumentaría la capacidad de celda para su duración de 1 año y medio. Ya que el volumen total a disponer en la Celda será menos de  $800 \text{ m}^3$  y la celda tiene una capacidad de  $1188 \text{ m}^3$ .
- De no realizar reciclaje de los desechos sólidos reciclables, el volumen de los desechos sólidos a disponer se incrementa a 1030 por lo que la celda del relleno sanitario durara 1 y 1 mes aproximadamente

En Conclusión La vida útil de la celda No. 5 del relleno sanitario, está relacionada con su volumen máximo de almacenamiento, y la vida útil puede incrementarse al realizar el reciclado de los desechos sólidos, ya que con este porcentaje se reduce el volumen de desechos a disponer y se incrementa la vida útil de las celdas.

## **Introducción**

El trabajo de investigación que se presenta a continuación, surge debido que se está realizando una ampliación de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre de El Salvador, en la cual actualmente opera un relleno sanitario el cual recibe los desechos generados por los trabajadores y de las actividades para de la C.H. 5 de Noviembre, C.H. Cerrón Grande y de la comunidad Cerrón Grande a la cual se les brinda el servicio de recolección y disposición final adecuada de los desechos sólidos.

Por lo anterior se requiere la construcción de una nueva celda ampliando la capacidad del relleno sanitario que actualmente se encuentra en funcionamiento.

Para predecir la vida útil de llenado de la nueva celda a construir se creará un modelo de simulación ambiental que tenga en cuenta las actividades que se dan en la Central, número de personas que trabajan actualmente y residen en la Central, el incremento del personal por el Proyecto de Expansión de la CH, actividades de reciclaje de desechos, implementación de nuevas tecnologías, etc.

# **I. Planteamiento del Problema**

## **1.1 Problema**

Se requiere crear un modelo de simulación para predecir la vida útil de la celda a construir en el relleno sanitario de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre. Esta celda está en proceso de obtención de permisos por parte del Ministerio de Medio Ambiente y las demás instituciones competentes.

Ya que se encuentra en proceso de construcción la ampliación de la Central Hidroeléctrica (CH) 5 de Noviembre, lo cual generara nuevos empleos, incrementando la cantidad de personal presente en la CH, incrementando a su vez la generación de desechos sólidos, por lo que se requiere la construcción de una nueva celda ampliando la capacidad del relleno sanitario que actualmente se encuentra en funcionamiento.

Para predecir la vida útil de llenado de la nueva celda a construir se creará un modelo de simulación ambiental que tenga en cuenta las actividades que se dan en la Central, número de personas que trabajan actualmente y residen en la Central, el incremento del personal por el Proyecto de Expansión de la CH, actividades de reciclaje de desechos, implementación de nuevas tecnologías, etc.

Este modelo de simulación servirá para identificar los principales factores que influyen en la generación de desechos, para aumentar la vida útil del relleno sanitario y minimizar la inversión para la construcción de nuevas celdas en el relleno sanitario.

La disposición final adecuada de los desechos sólidos es uno de los mayores inconvenientes que se da en la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, por lo que se hacen necesarias medidas para lograr aumentar la vida útil de las celdas y realizar acciones para minimizar las cantidad de desechos que son dispuestos en el relleno sanitario.

Actualmente la Unidad Ambiental de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), realiza visitas periódicas al relleno sanitario y mantiene un registro del volumen de desechos dispuestos en el relleno sanitario y de los materiales que son reciclados.

## **1.2 Justificación**

La determinación de la vida útil de la celda y de los factores que la condicionan será un valioso aporte para fomentar el reciclaje, disminuir la contaminación, promover procesos productivos que produzcan menos residuos y mejorar la gestión de los residuos sólidos que tradicionalmente han representado un problema en la Central Hidroeléctrica. Así mismo, se analizará la factibilidad de continuar prestando el servicio de recolección y disposición final adecuada de los desechos sólidos a las comunidades aledañas a la Central Hidroeléctrica, como parte de la Responsabilidad Social de CEL

# **II. Objetivo**

## **2.1 General**

Determinar la vida útil de la nueva celda a construir del relleno sanitario de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, para así tomar decisiones que contribuyan a reducir los impactos ambientales

causados por la generación y disposición inadecuada de los desechos sólidos y alargar la vida útil de la misma.

## **2.2 Específicos**

- Identificar los factores que inciden en la determinación de la vida útil de la celda No. 5 del Relleno Sanitario de la CH 5 de Noviembre.
  
- Crear un modelo de simulación ambiental para determinación de la vida útil de la celda No. 5 del Relleno Sanitario de la CH 5 de Noviembre.

## **III. Marco teórico**

### **Conceptos de Relleno Sanitario**

Es el sitio que es proyectado, construido y operado mediante la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria y ambiental, en donde se depositan, esparcen, acomodan, compactan y cubren con tierra, diariamente los desechos sólidos, contando con drenaje de gases y líquidos percolados (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1994).

Relleno Sanitario Manual: Es aquél en el que sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, así como para la excavación de zanjas, la extracción y el acarreo y distribución del material de cobertura (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1994).

### **Determinación de la Vida Útil del Relleno Sanitario.**

El tiempo que estará en operación el sitio para la disposición de los residuos sólidos está en función del volumen disponible en el sitio seleccionado, del método de operación del relleno sanitario y del volumen de residuos compactados a disponer. Este último, depende además del grado de compactación, de la generación per cápita de la localidad, de la generación de otras fuentes, de los habitantes de la comunidad a servir y de la eficiencia del sistema de recolección (Universidad de Sonora).

### **Descripción del Relleno Sanitario de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre** (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, 2014).

El relleno sanitario en la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, se ubica en terrenos propiedad de CEL, aledaños a la Central, en el cantón Potrerillos, jurisdicción de Nombre de Jesús, departamento de Chalatenango; en éste se disponen los desechos sólidos generados en las Centrales Hidroeléctricas Cerrón Grande y 5 de Noviembre, y el Caserío Cerrón Grande.

El método constructivo y la secuencia de operación del relleno sanitario, corresponde a una combinación del método de trinchera o zanja y el método de área. Los desechos dispuestos son únicamente los de origen doméstico.

El relleno tiene una capacidad volumétrica de diseño de 16,366.18 m<sup>3</sup>; en un área aproximada de 10,543 m<sup>2</sup> que incluye cuatro trincheras, la vida útil del mismo se estimó inicialmente en 25 años ya que no incluía la recolección y disposición de los desechos generados en el Caserío Cerrón Grande, de tal forma que actualmente se estima una vida útil aproximada de 18 años, incluyendo lo generado por el Caserío Cerrón Grande, para la instalación actual.

Las instalaciones incluyen un sistema de tratamiento de los lixiviados generados por la descomposición de los desechos, y la recolección y evacuación de los gases. Dicho sistema de tratamiento está compuesto por rejilla, desarenador y 2 lagunas de estabilización (facultativa y aerobia).

Los componentes del relleno son los siguientes:

- Área de disposición de los desechos (2 trincheras construidas).
- Sistema de tratamiento de lixiviados.
- Chimeneas para la recolección y oxidación de los gases.
- Bodega, oficina administrativa y letrina abonera.
- Canaletas para la recolección de aguas lluvias.
- Calle de acceso interna.
- Cercado perimetral de postes de concreto y alambre espigado.
- Área de almacenamiento temporal de materiales reciclables.

**Registro de desechos sólidos** (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, 2014)

Para el 2013, se tienen los siguientes datos de ingreso de desechos al relleno sanitario:

Promedio diario: 0.64 Ton

Promedio semanal: 4.49 Ton

Promedio mensual: 19.14 Ton

Total anual: 229.62 Ton

Del total de desechos que ingresaron al relleno sanitario, se tiene que el 76.19% corresponde a los generados en la Central Hidroeléctrica Cerrón Grande y el Caserío Cerrón Grande.

En la tabla No. 1 se muestra los datos obtenidos de ingreso de los desechos sólidos y en la figura No. 1 se presenta la tendencia de disposición de los desechos que ingresaron al relleno sanitario. En la tabla No. 2 y en la figura No. 2 se muestra los desechos generados por cada Central Hidroeléctrica.

Además en el gráfico 1 se presenta comparativamente, los desechos que ingresaron en los años 2010, 2011, 2012 y 2013; observándose para el año 2013, un incremento del 13.42% aproximadamente, de los desechos que ingresaron al relleno sanitario respecto del 2012. Puede observarse que se tiene una tendencia a incrementar, lo cual se considera normal debido al crecimiento poblacional y variaciones en los patrones de consumo de la población.

Se continúa además con la elaboración de compostaje utilizando únicamente restos de poda de jardín y grama, que no ingresa al relleno sanitario.

Tabla No. 1. Registro de ingreso de desechos sólidos en el relleno sanitario de la Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre

Mes	Cantidad mensual de Desechos Ton	Promedio diario de desechos (Ton/día)	Peso semanal promedio de desechos Ton
Enero	18.35	0.61	4.28
Febrero	16.55	0.59	4.13

Mes	Cantidad mensual de Desechos Ton	Promedio diario de desechos (Ton/día)	Peso semanal promedio de desechos Ton
Marzo	18.82	0.63	4.39
Abril	24.22	0.81	5.65
Mayo	23.62	0.79	5.51
Junio	18.96	0.63	4.42
Julio	21.22	0.71	4.95
Agosto	18.59	0.62	4.34
Septiembre	16.04	0.53	3.74
Octubre	17.59	0.59	4.10
Noviembre	16.65	0.56	3.89
Diciembre	19.01	0.63	4.44
Total	229.62		
Promedio	19.14	0.64	4.49

Tabla No. 2. Generación de desechos por Central Hidroeléctrica.

Mes	Desechos de CH 5 de Noviembre (Ton)	Desechos de CH Cerrón Grande (Ton)
Enero	3.64	14.71
Febrero	3.41	13.14
Marzo	3.59	15.23
Abril	6.97	17.25
Mayo	5.73	17.89
Junio	4.14	14.82
Julio	4.75	16.47
Agosto	3.78	14.81
Septiembre	3.30	12.74
Octubre	4.88	12.71
Noviembre	4.92	11.73
Diciembre	6.06	12.95
Total	55.17	174.45

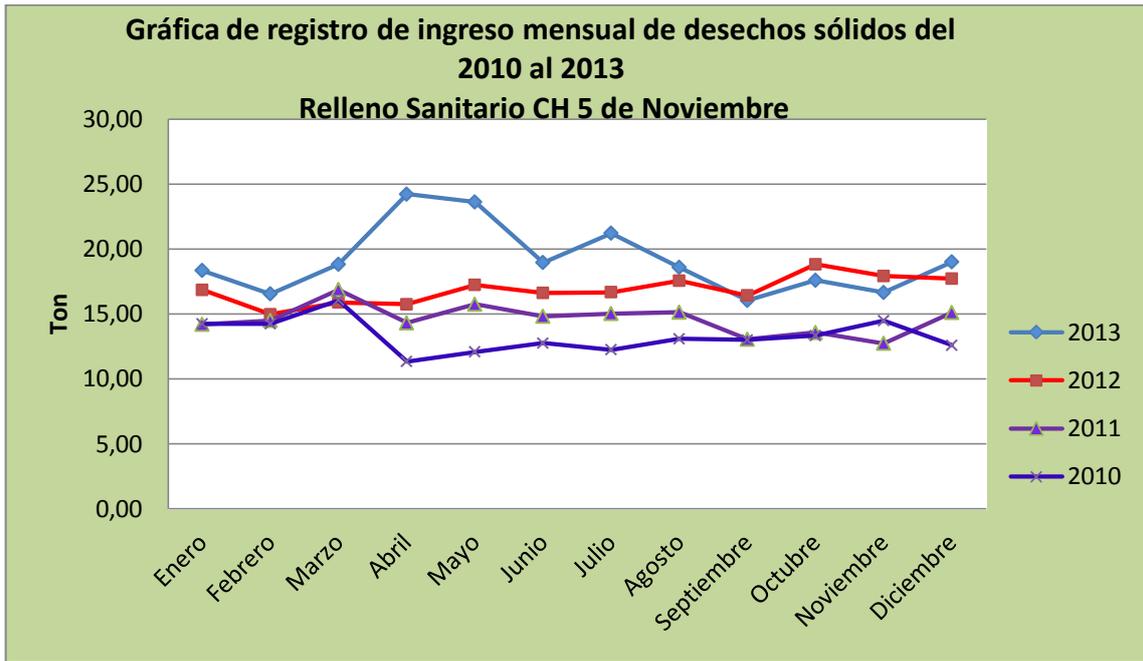


Gráfico 1. Desechos sólidos recolectados para los años 2010-2013.

En la CH 5 de Noviembre se observa que la mayor producción de desechos, ocurre durante la época de mantenimiento de las unidades, en la que se incrementa el personal.

Adicionalmente, en la CH 5 de Noviembre se inició el 26 de marzo de 2013 la construcción del proyecto de expansión de dicha central, por lo que se observa un incremento en la generación de desechos a partir del mes de abril de 2013.

#### Transporte de desechos

Los desechos han sido transportados en un vehículo tipo camión de 3.5 Ton., con una frecuencia de recolección de dos días a la semana, un viaje por día.

#### Recuperación de desechos

Para el 2013, se tiene una separación aproximada de 1.35 Ton de plástico, de los cuales 0.23 Ton corresponden a la CH Cerrón Grande y se almacenan temporalmente en sus instalaciones, es decir, no ingresan al relleno sanitario de la CH 5 de Noviembre; de éstos una parte ha sido entregado para su reciclaje en empresas autorizadas (de acuerdo a la tabla No. 3), y el resto se encuentra almacenado para su posterior reciclaje cuando se tenga una cantidad apropiada (en volumen suficiente para llenar un camión).

Se tuvo una separación de latas de aluminio de 227.27 Kg en el 2013.

De acuerdo a lo anterior, la recuperación que puede cuantificarse representa el 0.70% aproximadamente, de los desechos que ingresan al relleno sanitario.

Con respecto a los años 2011 y 2012 se observa una reducción en el ingreso de material plástico reciclable a las instalaciones del relleno sanitario, pasando de 2.9 Ton en el 2011 a 1.12 Ton en el 2013 (reducción del 61.4%). Esto puede deberse a que se ha continuado el programa educativo que se ha llevado a cabo con personal de CEL y pobladores del Caserío Cerrón Grande sobre el manejo

adecuado de los desechos sólidos que incentiva entre otros aspectos a la comercialización de estos desechos, y se continua incentivando que un recolector de materiales reciclables ingrese en la zona. El peso total de desechos dispuestos en el relleno sanitario en el 2013 es de 228.50 Ton, considerando la disminución por el material separado para reciclaje.

Tabla No. 3. Desechos entregados para reciclaje.

Tipo de residuo	Fecha	Instalación	Cantidad	Disposición
Plástico	13/02/2013	CH 5 de Noviembre	240.91 Kg	Intermediario Iglesia Atrios del Tabernáculo
	14/02/2013	CH Cerrón Grande	145.45 Kg	
	09/05/2013	CH 5 de Noviembre	340.91 Kg	
	23/07/2013	CH 5 de Noviembre	186.36 Kg	
	08/10/2013	CH 5 de Noviembre	204.55 Kg	
	19/12/2013	CH 5 de Noviembre	145.45 Kg	
Subtotal			1,263.63 Kg	
Latas	09/05/2013	CH Cerrón Grande	227.27 Kg	
Subtotal			227.27 Kg	
Total			1,490.90 Kg	

#### IV. Marco metodológico

Para la elaboración del modelo de simulación para calcular la vida útil de la Celda No. 5 del Relleno Sanitario de la C. H. 5 de Noviembre se definieron las siguientes formulas dentro del modelo:

- (1) El volumen de la nueva celda a construir y rellenar con los desechos sólidos y material de cobertura es igual 1,180 metros cúbicos. Este volumen fue determinado en el estudio de AMPLIACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA DE LAS BASURAS GENERADAS EN LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS 5 DE NOVIEMBRE Y CERRON GRANDE.
- (2) La **tasa de incremento anual** del volumen de desechos sólidos se determinó en el 5% anual, esta tasa fue obtenida del estudio anterior y fue determinada con datos obtenidos desde el año 2007 hasta la actualidad.
- (3) La cantidad de **desechos sólidos generados** se determinó conociendo que en el año 2014 se han generado 1082 kg por día y que la densidad de los **desechos sólidos compactados y estabilizados** es de 500kg por metro cúbico, con esto obtenemos el **volumen de desechos sólidos depositados por día**. Para obtener el volumen anual generado únicamente multiplicaos el volumen diario obtenido anteriormente por los 365 días que tiene un año.

$$\text{Vol}_{\text{diario}} = \text{DSp} / \text{Drsm}$$

$$\text{Vol}_{\text{anual}} = \text{Vol}_{\text{diario}} \times 365$$

Dónde:

$Vol_{diario}$  : Volumen de desechos sólidos depositados por día ( $m^3/día$ )

$V_{anual}$  : Volumen de desechos sólidos a disponer en un año ( $m^3/año$ )

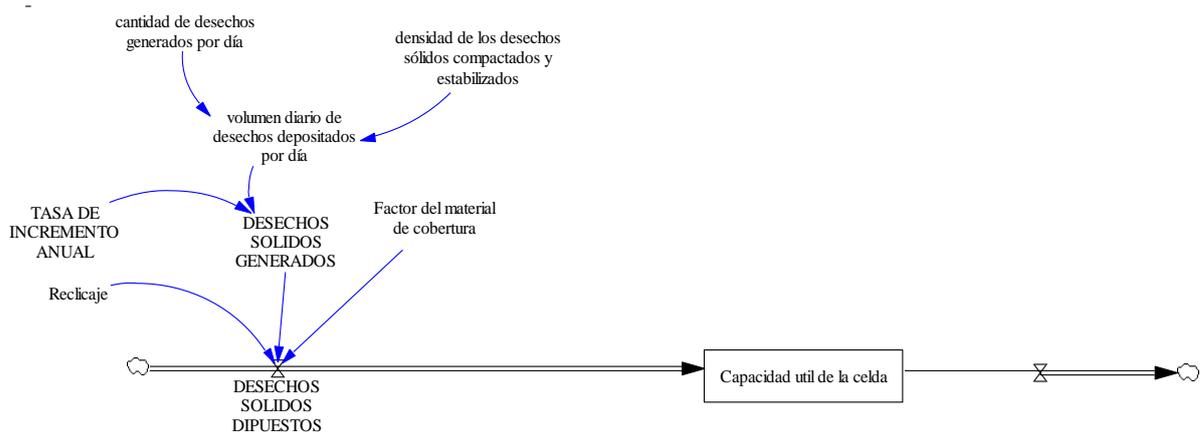
D<sub>Sp</sub> : Cantidad de desechos sólidos producidos ( $Kg/día$ )

365: Equivalente a un año (días)

D<sub>rsm</sub> : Densidad de los desechos sólidos compactados y estabilizados ( $500.00 Kg/m^3$ )

- (4) **Factor del material de cobertura** (tierra), este factor en base a la experiencia previa desarrollada en las celdas rellenas anteriormente ha sido determinado como un factor de 0.20 metros cúbicos por cada metro de desechos sólidos dispuestos.
- (5) Los **desechos sólidos dispuestos** son determinados por los **desechos sólidos generados** cada año el **factor del material de cobertura** y la **tasa de incremento anual**.
- (6) Estudios de caracterización de los desechos sólidos que se han realizado desde el año 2007 en el relleno sanitario en cuestión han determinado un que un 45% volumétrico de los desechos sólidos depositados tiene potencial de reciclaje, sin embargo en la actualidad solo un 25% del volumen de desechos sólidos es reciclado debido a lo aislado del relleno sanitario, la falta de tecnología para reciclar en el país y la inviabilidad económica de reciclar algunos materiales.
- (7) La **capacidad útil de la celda** del relleno sanitario depende directamente del volumen de la misma ( $1,180 m^3$ ) y la cantidad de desechos sólidos dispuestos por año ( $m^3$  por año) y esta fuertemente condicionada por el **reciclaje** de los desechos que se hace previamente a su disposición dentro de la celda.

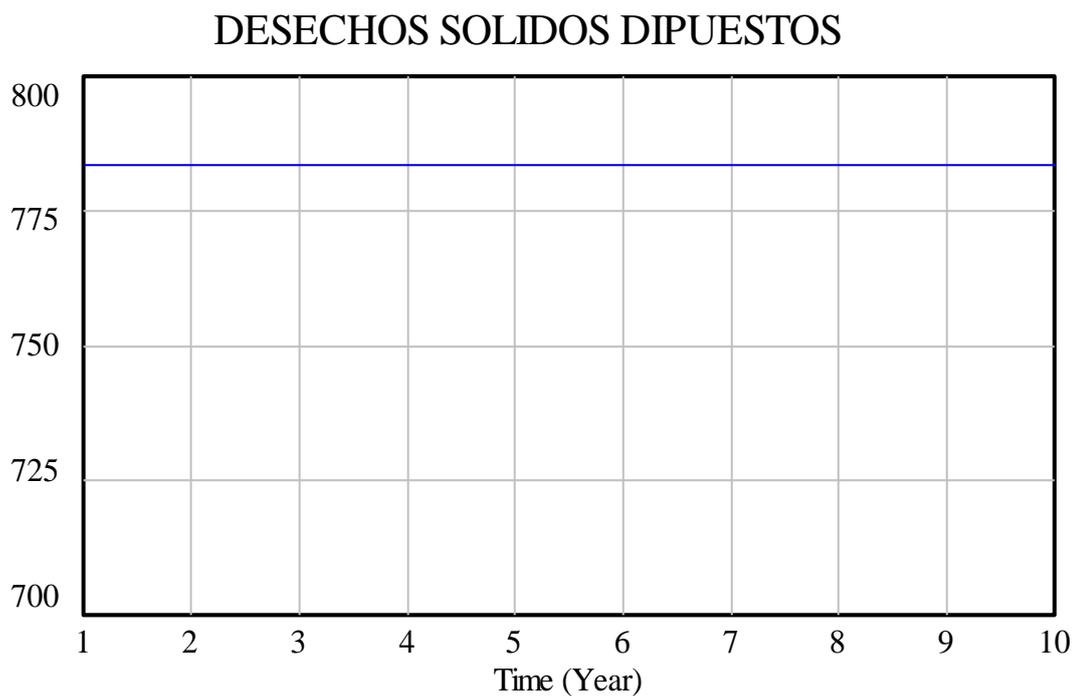
Diagrama de flujo del cálculo de la vida útil de la Celda No. 5 del Relleno Sanitario.



## V. Resultados

Se realizó el corrido del modelo de simulación y se obtuvieron los siguientes resultados:

De acuerdo al corrido del modelo de simulación la celda No. 5 del relleno sanitario de C.H. 5 de Noviembre de realizar el reciclaje del 25% de los desechos que ingresan al relleno sanitario, aumentaría la capacidad de celda para su duración de 1 año y medio. Ya que el volumen total a disponer en la Celda será menos de 800 m<sup>3</sup> y la celda tiene una capacidad de 1188m<sup>3</sup>.



DESECHOS SOLIDOS DIPUESTOS : RELE 5 NOV

Grafico 1. Desechos sólidos dispuestos en la celda No. 5 del Relleno Sanitario, realizando el reciclado de los desechos.

De no realizar reciclaje de los desechos sólidos reciclables, el volumen de los desechos sólidos a disponer se incrementa a 1030 por lo que la celda del relleno sanitario durara 1 y 1 mes aproximadamente

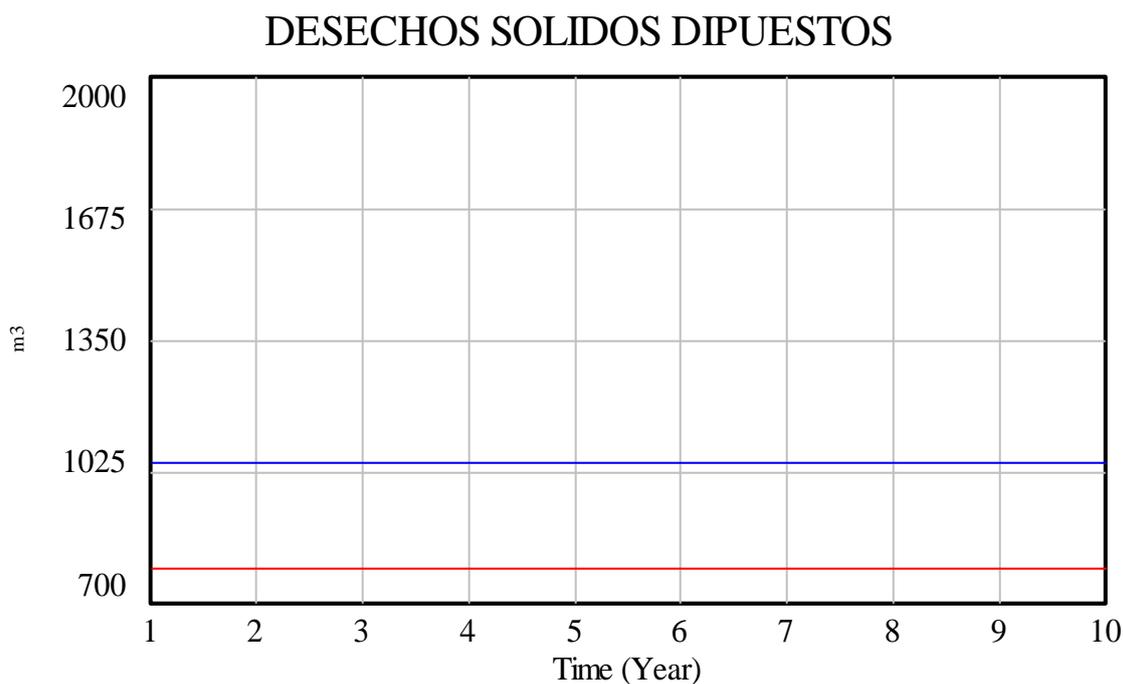


Grafico 2. Desechos sólidos dispuestos sin realizar el reciclado de los desechos.

## VI. Conclusiones y Recomendaciones

- La vida útil de la celda No. 5 del relleno sanitario, está relacionada con su volumen máximo de almacenamiento, y la vida útil puede incrementarse al realizar el reciclado de los desechos sólidos, ya que con este porcentaje se reduce el volumen de desechos a disponer y se incrementa la vida útil de las celdas.
- Se deben implementar nuevas tecnologías (compostaje, reciclado de plástico, vidrio y papel) para realizar el reciclado de los desechos sólidos desde el origen, para poder incrementar la vida útil de las celdas y sucesivamente del relleno sanitario.
- Al iniciar una campaña de separación de los desechos se reducirán los  $m^3$ , que ingresaran al relleno sanitario, ya que el porcentaje de separación de desechos podría ser entregado a empresas recicladoras de esta forma se incrementará la vida útil de la celda y por consecuente del relleno sanitario como tal.
- Se recomienda impartir charlas para hacer conciencia en la población (trabajadores de la C. H. 5 de Noviembre y Cerrón Grande, y de la comunidad Cerrón Grande) sobre la importancia de realizar la separación de los desechos sólidos, el valor de los desechos reciclables y las tecnologías que se pueden implementar para su disposición final adecuada sin necesidad de que ingresen a un relleno sanitario.

## **VII. Bibliografía**

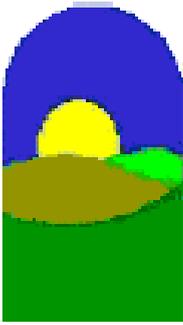
Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. (2014). Informe anual de operación de los rellenos sanitarios de las Centrales Hidroeléctricas 2013. San Salvador.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1994). Reglamento sobre el manejo integral de los desechos sólidos (Vol. Tomo No.323). San Salvador, El Salvador: Diario Oficial No.96.

Universidad de Sonora. (s.f.). Capitulo 4 Diseño del Relleno Sanitario. Recuperado el 7 de septiembre de 2014, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1515/Capitulo4.pdf>

## **Dinámica de Sistemas**

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



## **Vensim**

<http://www.atc-innova.com/>

## Libros

## Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



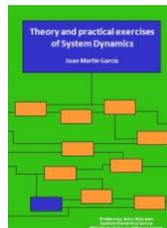
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)