

**PREFACTIBILIDAD ECONOMICA DE LA REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA: EL CASO DE LA MUNICIPALIDAD DE ALAJUELA**

**ECONOMIC PRELIMINARY FEASIBILITY OF REUSING CONSTRUCTION WASTE IN COSTA RICA: THE CASE OF THE MUNICIPALITY OF ALAJUELA**

Cruz, Nidia. Universidad de Costa Rica

**Resumen**

El presente artículo muestra los resultados de un proceso de investigación que se desarrolló durante el 2015, para estudiar la factibilidad de reciclaje de los residuos de construcción y demolición (RESCOND) bajo un esquema municipal. Se trabajó mediante un estudio de caso que muestra que para el municipio analizado la propuesta es factible siempre y cuando se cumpla con una mínima generación de residuos y algunos otros factores técnico operativos. El objetivo de la investigación fue evaluar la prefactibilidad de crear una planta de tratamiento integral de residuos de construcción y demolición (RESCOND) para el cantón de Alajuela en Costa Rica, con el fin de obtener agregados reciclados para la construcción y separar los otros residuos valorizables para su adecuada gestión y aprovechamiento. Se consideró para ello la experiencia desarrollada en Santiago de Chile y en Costa Rica. Se evaluaron varios escenarios, simulados a partir de proyecciones de demanda bajo dos modelos: la regresión lineal y la exponencial. Los resultados obtenidos evidenciaron que la rentabilidad del procesamiento depende mucho de la demanda generada en el cantón. Por tanto, la conclusión principal se enmarca en la necesidad de concretar la demanda de procesamiento (cantidad de RESCOND que lleguen a la planta), pues la rentabilidad se alcanza con al menos un 25% más de la cantidad proyectada para el caso de estudio, para lo cual se requiere fomentar un trabajo de coordinación o la formación de una mancomunidad para que de alguna forma se reciban residuos de otras localidades cercanas.

**Palabras clave**

Residuos de construcción, Demolición, Procesamiento de residuos, Reciclaje, Valorización de residuos.

## Abstract

This article presents the results of a research process that was developed during 2015 to study the feasibility of recycling waste from construction and demolition (RESCOND) under a municipal scheme. We worked through a case study that shows that for the municipality analyzed the proposal is feasible as long as they comply with minimum waste generation and some other operating technical factors. The objective of the research was to evaluate the feasibility of creating an integral treatment plant for construction and demolition waste (RESCOND) to the city of Alajuela in Costa Rica, in order to obtain recycled aggregates for building and separate other recoverable waste for proper management and use. It was considered for the experience developed in Santiago de Chile and Costa Rica. Several simulation scenarios were evaluated based on demand projections under two models: linear and exponential regression. The results showed that the profitability of processing highly dependent on the demand generated in the city. Therefore, the main conclusion is the need to meet the demand of processing (number of RESCOND arriving at the plant), as profitability is reached with at least 25% more than the projected amount case study, so which coordination work to other nearby destinations waste receipt is required.

## Keywords:

Construction waste, demolition, waste processing, recycling, recovery of waste.

## 1. Introducción

La construcción es una de las actividades económicas que más residuos genera, tanto en volumen como en peso, por lo que trabajar en mejoras de gestión y procesamiento para disminuir estos residuos es crucial. En Costa Rica, existen algunos estudios académicos sobre el potencial de aprovechamiento de los residuos de construcción<sup>1</sup>, aunque no se tiene suficiente información acerca de la composición, volúmenes y distribución de los principales focos de generación de estos residuos. A pesar de que en algunos proyectos constructivos se separan y manejan los residuos de las obras, falta completar el ciclo con un sistema que permita la valorización, el tratamiento y la disposición adecuada de los RESCOND que hasta el momento, en el mejor de los casos, están llegando a los rellenos sanitarios. Algunos investigadores (1) apoyan esta necesidad, y señalan la urgencia de que en el país se valore la factibilidad de contar con una planta de procesamiento para RESCOND.

En otros países como Holanda, Bélgica y Dinamarca se alcanzan cifras del 90% de reciclaje para los RESCOND, principalmente impulsado por la escasez de materias primas para la obtención de áridos vírgenes y la dificultad de encontrar emplazamientos para vertederos. En Finlandia, Austria

---

<sup>1</sup> Dentro de la investigación se revisaron los resultados de los Proyectos Finales de Graduación realizados por estudiantes de licenciatura de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

y Reino Unido, que alcanzan cifras un poco menores (40 – 70%), las razones están más asociadas a la imposición de impuestos sobre el vertido y a algunos condicionamientos legales (2). Para el caso de Costa Rica, uno de los principales obstáculos para el reciclaje es el precio de los agregados provenientes de materias vírgenes (dado que el costo de producción ronda los \$2/m<sup>3</sup> en promedio<sup>2</sup>) y la falta de confianza del mercado en los agregados producidos a partir de RESCOND procesados. Por ello, se considera necesario aumentar la investigación relacionada y propiciar acciones más concretas entre el gremio y las autoridades para que el reciclaje de estos residuos pueda ser una realidad.

Tradicionalmente, en Costa Rica no ha existido un manejo sistemático de los RESCOND. En las obras se generan gran cantidad de residuos que comúnmente son apilados juntos, mezclados, o llevados en algunas veces a un sector de la obra que sirve de almacenamiento temporal para luego ser retirados en camiones privados, sin mucho control sobre el destino final de ellos. La reutilización o reciclaje de estos residuos se ha limitado en Costa Rica a la separación de los metales y en algunos casos de la madera, por lo cual el resto de residuos queda sin un aprovechamiento real. Existen casos incipientes de empresas de venta de concretos premezclados que están innovando en la recuperación de los agregados de los concretos no utilizados, pero son pocos casos. En países como Brasil, sí se han tenido experiencias exitosas de procesamiento de escombros para la reutilización como agregados y para fabricar nuevos productos, tal es el caso de la planta ubicada en Belo Horizonte, dentro del relleno sanitario municipal.

Actualmente en Costa Rica no existen plantas de reciclado de escombros, ni de otro tipo de RESCOND como tal, ni tampoco lugares para su adecuada disposición final, aunque muchos de estos residuos pueden ser reutilizados o reciclados (3). Tampoco las autoridades han establecido lineamientos que exijan un manejo integral a los que generan RESCOND; el Ministerio de Salud está todavía lejos de concretarse una normativa y acciones concretas en el sector construcción (4). A pesar de que desde el año 2010 Costa Rica cuenta con una Ley para la Gestión Integral de Residuos, y se han publicado algunos reglamentos relacionados con ésta, todavía en ninguno se incluyen directamente los RESCOND. Este vacío en la legislación contribuye a que se dé un mal manejo en muchos de los casos.

La investigación que generó este artículo analizó la viabilidad técnica y financiera (analizando el mercado potencial) de la posible implantación de la planta municipal; particularmente en un caso concreto de la Municipalidad de Alajuela, Costa Rica. Se trabajó bajo la tesis de que la reutilización de residuos de construcción y demolición bajo un esquema municipal es factible siempre y cuando se cumpla con un mínimo de generación de residuos por procesar y algunos otros factores técnico legales. Se consideró para el análisis las necesidades propias del municipio en cuanto a dimensiones y posibles sitios para la ubicación.

---

<sup>2</sup> Valor estimado según información suministrada por RAASA. S.A. en comunicación personal. Marzo 2015.

Como se presenta en la sección de metodología, se partió del estudio de la realidad de los RESCOND en Costa Rica y en Santiago de Chile<sup>3</sup>, como ciudad de referencia. En vista de que no existen, en ninguno de los dos países, plantas de procesamiento de RESCOND similares a la que se planteó en este caso, se partió de la información disponible en la bibliografía consultada y de casos en Brasil. Adicionalmente, se complementó el entendimiento del proceso mediante el análisis operativo de una planta de procesamiento de áridos, la cual se ubica en el distrito de Quepos, Costa Rica, que se visitó junto con técnicos especializados para ver las similitudes y variantes que requiere para el procesamiento de RESCOND. Además fue posible visitar una planta de este tipo en Belo Horizonte, Brasil, donde se pudo conocer una planta similar a la analizada en la investigación<sup>4</sup>.

## 2. Marco Teórico

Para la investigación, fue necesario homologar una definición de los Residuos de construcción y demolición (RESCOND), ya que se evidenció una disparidad en las definiciones utilizadas en las fuentes de consulta, lo que representó una dificultad en el proceso de estudio, pues las diferentes autoridades y actores implicados entendían de forma diferente qué se incluía dentro de los RESCOND. Se reunió información relevante del tema y con base en ello unificaron los conceptos para establecer un marco de referencia claro. Así se adoptó la siguiente definición: es un residuo, fundamentalmente inerte, que se originó en los procesos asociados a la industria de la construcción, específicamente durante la edificación de nuevas obras o la demolición de estructuras existentes. De naturaleza muy variable, tanto en composición como en tamaños, con alguna pequeña fracción de residuos peligrosos que pueden contaminar al resto. No consideran los residuos que se producen en las fábricas de productos para la construcción. Tampoco se contempló para los análisis los residuos de movimientos de tierras, ni los provenientes de la demolición de carreteras, ya que no se contó con datos específicos para el caso de estudio.

También, fue preciso establecer qué se entiende por un sistema integral de manejo o gestión de residuos, para lo cual se contempló primordialmente lo establecido por el PRESOL (Plan Nacional de Residuos Sólidos de Costa Rica) (5), que concibe este sistema como aquel que enmarca el manejo de residuos desde la cuna hasta la tumba. Las recomendaciones para tener un sistema de manejo de RESCOND eficiente en las obras son (6):

- Evitar la generación de residuos al máximo.
- Clasificar en la fuente.
- Conducir todas las fracciones reciclables y embalajes a su reutilización.

---

<sup>3</sup> La investigación se situó en el marco del desarrollo de un programa de maestría en la Universidad de Santiago de Chile.

<sup>4</sup> La visita se realizó como parte de una pasantía académica durante el período de estudio de la maestría mencionada.

- Mantener un alto nivel de orden y limpieza.
- Liberar al personal directivo de la obra de las tareas de manejo de residuos.
- Registro digital en obra de la contabilidad industrial y obligaciones legales asociadas al reciclaje y balance de residuos.
- Incorporar todas las empresas participantes en el sistema de evacuación de residuos.
- Información y motivación del personal.
- Contabilidad de la reducción de costos de evacuar los residuos.

Para aplicar estas recomendaciones, es necesario entender la diferencia entre el sistema tradicional de manejo de los residuos y el enfoque integrado, que es aplicable a cualquier tipo de residuo, particularmente para los RESCOND. En la figura 1 se muestra un esquema que ayuda a este propósito:

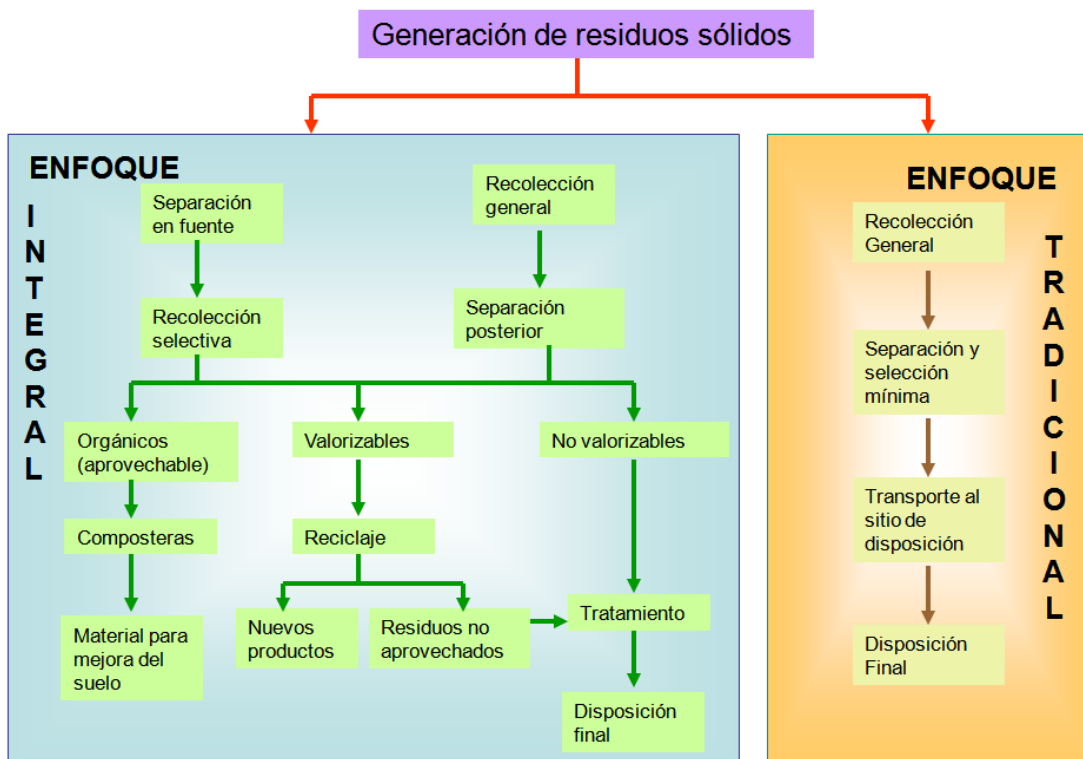


Figura 1 Comparación de enfoques para la gestión de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia.

En general, existen muchas similitudes entre un sistema integral de manejo de residuos sólidos ordinarios y uno para residuos de construcción. La principal diferencia radica en el volumen y peso de estos últimos; además pueden generar dificultades logísticas para el manejo selectivo y la segregación en la fuente. Es en este punto precisamente donde la investigación consideró necesario indagar las similitudes que tienen los sistemas de manejo de RESCOND con los sistemas de procesamiento de agregados áridos, enfocando esta similitud principalmente a los equipos requeridos y las operaciones unitarias del proceso.

Para los cálculos se tomaron en cuenta tasas de generación (o índices de generación) que corresponden a la cantidad promedio de RESCOND que se espera generar en un proyecto, las cuales pueden ser dadas en metros cúbicos o kilogramos de residuos por metro cuadrado de construcción o por habitante. Estas tasas se investigaron en la bibliografía, tomando para la investigación un promedio simple de cada caso, según el método de estimación que se estuviera utilizando.

### 3. Metodología

Con el fin de evaluar la tesis planteada para la factibilidad del reciclaje de residuos de construcción y demolición bajo un esquema municipal, se siguió una metodología cuyo esquema de trabajo contempló 4 fases. Primeramente, se abordó el estudio bibliográfico, el cual fue crucial para establecer las bases teóricas de la investigación y conocer los referentes del tema en Latinoamérica y el mundo; luego se realizaron entrevistas a actores claves, tanto en Chile como en Costa Rica, para obtener información de fuentes primarias. Considerada esta información y siempre en la segunda fase, se procedió con un análisis comparativo de ambas realidades. Posteriormente se determinó la demanda (cantidad de RESCOND que se espera generar en el cantón de estudio) y la oferta (dimensionamiento de la planta de procesamiento), con el fin de contar con los insumos suficientes para pasar a la última etapa que correspondió a la evaluación de los costos y determinación de la prefactibilidad del sistema planteado.

El punto de partida, para estimar la generación de los RESCOND, fue la información sobre las tasas de generación, ya que son escasos. De la bibliografía consultada, se obtuvieron valores promedio de diversos países, tanto de tasas de generación relacionadas con la población (7; 8), como para tasas relacionadas con metros cuadrados de construcción (1; 3; 4; 5). Analizando los resultados de la búsqueda, se determinó que no solamente es más apropiado realizar la estimación con base en los metros cuadrados de construcción, debido a que hay una relación entre variables relacionadas más directa, sino que también había más datos disponibles e investigaciones realizadas en Costa Rica. A pesar de que las tasas de generación para Costa Rica son similares a las que indica la literatura consultada en otros países, sí se tiene la limitante de que se obtuvieron con muestras de campo puntuales, pues no existe una tasa oficial de generación de RESCOND para el país.



Como se indicó, en la segunda fase de la metodología se realizaron entrevistas claves que dieron insumos importantes para definir el sistema, esto se complementó con visitas a plantas similares en Costa Rica (aunque no de procesamiento de RESCOND) y en Brasil (esta si de RESCOND), gracias a ello se contó con la información base para el diseño del sistema.

El tercer paso fue determinar la demanda y la oferta del sistema. Para la demanda se consideró que existen diferentes métodos para la estimación de la cantidad de RESCOND que se producen en una obra o ciudad. La demanda del sistema se relacionó directamente con la cantidad de RESCOND a procesar en la planta, asociada a la cantidad que se proyecta generar en el cantón de Alajuela. Para realizar esta estimación, se tomaron como base las tasas de generación y se calcularon los metros cúbicos de RESCOND relacionados con el crecimiento poblacional y luego con el crecimiento de los metros cuadrados de construcción tramitados ante el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA). Los datos para crecimiento poblacional corresponden a estimaciones oficiales realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). En el caso de los metros cuadrados de construcción, no existen proyecciones oficiales a largo plazo, por lo que se optó por realizar proyecciones a partir de los datos históricos cantonales registrados por el CFIA en el período 2005 – 2014.

Por el lado de la oferta del sistema, se determinaron las dimensiones operativas de una planta para estos fines. Con base en las dimensiones mínimas de los equipos de procesamiento de materiales áridos (equipo base para el reciclaje de escombros), se determinaron los diferentes componentes de la planta.

De un análisis de posibles terrenos, analizados mediante visitas de campo y la aplicación de una guía de criterios de selección, se definió el posible emplazamiento de la planta. Se utilizaron los resultados de las entrevistas a expertos y de las visitas de campo a plantas operativas, para definir las operaciones unitarias mínimas requeridas, comparar los procesamientos de material virgen y material de residuos y determinar las bases para el dimensionamiento. Con base en ello, se realizó un esquema de proceso, con las operaciones unitarias detalladas y se concretó la oferta del sistema.

Concretamente para el caso de estudio, en la ejecución de la cuarta fase metodológica, se realizó un esquema general de las partes de la planta, sin llegar a la elaboración de planos, solo al dimensionamiento general de equipos y al croquis de distribución. Por un lado se analizaron los costos generales asociados a cada fase de gestión de los RESCOND para su valorización en la planta, considerando los subproductos que se pueden generar y asociándolos a un potencial ingreso. Por otro lado, se estimaron los ingresos que iba a tener la planta, los cuales se determinaron a partir de los ahorros que tendría la municipalidad gracias al agregado que se iba a producir en la planta, el cobro que haría por el servicio de tratamiento de estos residuos y el ahorro debido a la disminución de microbasurales por limpiar en el cantón. Los egresos se estimaron con base en los costos actuales estimados de la maquinaria y equipos que se requieren para el procesamiento (costos de inversión) y los costos operativos, tales como mano de obra, servicios básicos, combustibles, y otros. Finalmente, para el análisis de la factibilidad financiera de la planta se realizó

un costeo de todo el procesamiento. Con estos datos, se efectuaron los flujos de caja con un escenario de 10 años para la recuperación de la inversión y se realizaron los balances financieros. Se estimaron dos indicadores financieros básicos: el TIR y el VAN.

#### **4. Discusión y Resultados**

Como se indicó en la metodología, se realizaron las modelaciones del crecimiento del sector construcción con base en el crecimiento poblacional y en la tendencia de crecimiento de los metros cuadrados de construcción tramitados históricamente en el CFIA. Se obtuvo la tendencia de generación de los RESCOND por varias metodologías para así sopesar cuál podría aproximarse más a la realidad. Se debe anotar que las entidades formales del gremio de la construcción en Costa Rica no suelen realizar proyecciones de crecimiento de varios años hacia adelante, ya que la volatilidad del sector es alta y depende de muchas variables económicas propias de cada país e incluso de la inversión del extranjero, por ello no se contaba con estadísticas de tendencias futuras oficiales.

##### **1.1 Determinación de la demanda**

Concretamente para la investigación, el primer método de proyección utilizado fue el basado en el crecimiento poblacional, el cual arrojó como resultado una cantidad de RESCOND proyectados muy alta, del orden de más de 30 Ton /h laboral<sup>5</sup>. Esto en parte se explica porque la variable independiente de población no tiene una relación tan directa sobre la cantidad de residuos generados por la construcción a través de los años. Luego se trabajó con base en los metros cuadrados de construcción, primeramente se utilizó una proyección lineal para estimar la tendencia histórica de crecimiento y la tasa de generación promedio, tal y como se recomienda en un estudio similar realizado en Santiago (11). Posteriormente, con los mismos datos, se realizó una prueba de mejor ajuste y se obtuvo como resultado el modelo exponencial. También, se realizaron proyecciones con otras metodologías como el promedio móvil, pero los resultados no fueron satisfactorios. Las proyecciones se realizaron para un período de 10 años, como puede apreciarse en la Tabla 1.

La metodología con base en el crecimiento poblacional da los mayores volúmenes de procesamiento, por lo cual para un caso de análisis de prefactibilidad, representaría el escenario ventajoso, pues los equipos de procesamiento suelen requerir altas tasas de trabajo para ser rentables. También, al estudiar los resultados, se determinó que no era realista esperar un crecimiento tan elevado para el sector construcción, por lo que se prefirió buscar otro método.

---

<sup>5</sup> Para estimar la tasa de ingreso de RESCOND a la planta, se debió tomar en cuenta la cantidad de días laborables y la jornada de trabajo, ya que los equipos de este tipo presentan su tasa de dosificación en m<sup>3</sup>/h laborada o en Ton/h laborada. Se consideró además que el 80% de los RESCOND que llegan a la planta son escombros que entrarán a procesamiento. Así para este caso se consideró una jornada laboral de 8 horas como cualquier servicio municipal, a pesar de que el equipo podría eventualmente trabajar las 24 horas.



El segundo método utilizado buscó proyectar el crecimiento con base en los metros cuadrados de construcción tramitados históricamente. En este caso, los resultados fueron más acertados, lo cual era de esperar debido a que es una variable más directamente relacionada con los RESCOND. Tomando como referencias las tasas de generación por metros cuadrados de construcción de la recopilación bibliográfica, se obtuvo un promedio simple para el cálculo y se transformó a toneladas anuales por metro cuadrado de construcción. Utilizando esos datos se trabajó con dos modelos de proyección: el lineal<sup>6</sup> y el exponencial. Para el caso de análisis, se consideró que la totalidad de los metros cuadrados de construcción que se tienen reportados para cada año en la base de datos del CFIA se llegaron a construir y para simplificar la modelación se supone que el volumen de demolición representa un 10% del volumen de construcción. En la Tabla 1 se presentan los resultados de ambas modelaciones junto con los de la modelación de crecimiento poblacional.

Se evidenció que las tasas de generación son casi tres veces más pequeñas para el caso de las estimaciones generadas a partir de los metros cuadrados de construcción en el tiempo, si se comparan con las tasas generadas a partir de las proyecciones basadas en crecimiento poblacional. Estos resultados se consideraron más conservadores y fueron los utilizados para el resto de la investigación. Para brindar un análisis más amplio, el proceso de análisis de sensibilidad de la inversión consideró las modelaciones tanto por regresión lineal como por modelación exponencial.

Tabla 1 Resultados obtenidos para la demanda de procesamiento que entra a la planta

Año		Tasas de alimentación anual para la planta de procesamiento (Ton/ h laboral)										
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Método de proyección	Crecimiento poblacional	32,1	32,5	33,0	33,4	33,9	34,3	34,7	35,2	35,6	35,9	36,3
	Regresión lineal	8,2	8,6	9,1	9,6	10,1	10,6	11,1	11,6	12,0	12,5	13,0
	Modelo exponencial	8,3	9,2	10,0	11,0	12,1	13,3	14,6	16,0	17,6	19,3	21,2

\*Nota: Para los casos que usan como base los metros cuadrados de construcción se eliminaron los registros de los años 2008 a 2010, debido a que corresponden a valores extremos registrados en la crisis inmobiliaria. Fuente: Elaboración propia.

<sup>6</sup> Según la propuesta realizada por Gobierno de Chile (11), un método aceptable para la estimación de los RESCOND es la regresión simple, al proyectar directamente las superficies a edificar sobre la base de su tendencia histórica.

Como se indicó en la metodología, se realizó primero un ajuste de regresión lineal, utilizando las herramientas de Excel, y calculando la ecuación de ajuste y la varianza ( $R^2$ ). El gráfico de la figura 2 muestra los resultados obtenidos, y evidencia por qué se decidió eliminar los valores para los años de la crisis (2008 – 2010). Como puede observarse al eliminar los años extremos el ajuste de línea de tendencia mejora significativamente.

Para el caso con ajuste exponencial el gráfico de la figura 3 muestra los resultados obtenidos. Los resultados evidenciaron que este modelo correspondía a la línea de mejor ajuste, según el programa de Excel, mejorando levemente la  $R^2$ .

### **1.1 Diseño del proceso de la planta**

Por otro lado, se trabajó en la determinación de la oferta, que corresponde al diseño de la planta de tratamiento integral de RESCOND, para lo cual se contemplaron las operaciones unitarias requeridas para propiciar el cumplimiento de los principios de la GIRS aplicados a los RESCOND que se proyectan generar en el municipio de Alajuela, Costa Rica, para los próximos 10 años. Se logró contemplar todos los aspectos recomendados por los expertos para contar con un sistema que genere agregados reciclados para la construcción como principal producto; pero que a la vez mantenga un flujo ágil del resto de residuos valorizables y no valorizables, hasta su destino final. El esquema de la figura 4 presenta dicho proceso, los flujos se representaron por diferentes colores, siendo el principal el flujo de RESCOND a procesar, que corresponde al flujo azul.



Figura 2 Gráficos de tendencia histórica del m<sup>2</sup> de construcción tramitado ante el CFIA para el cantón de Alajuela mediante ajuste lineal  
Fuente: Elaboración propia

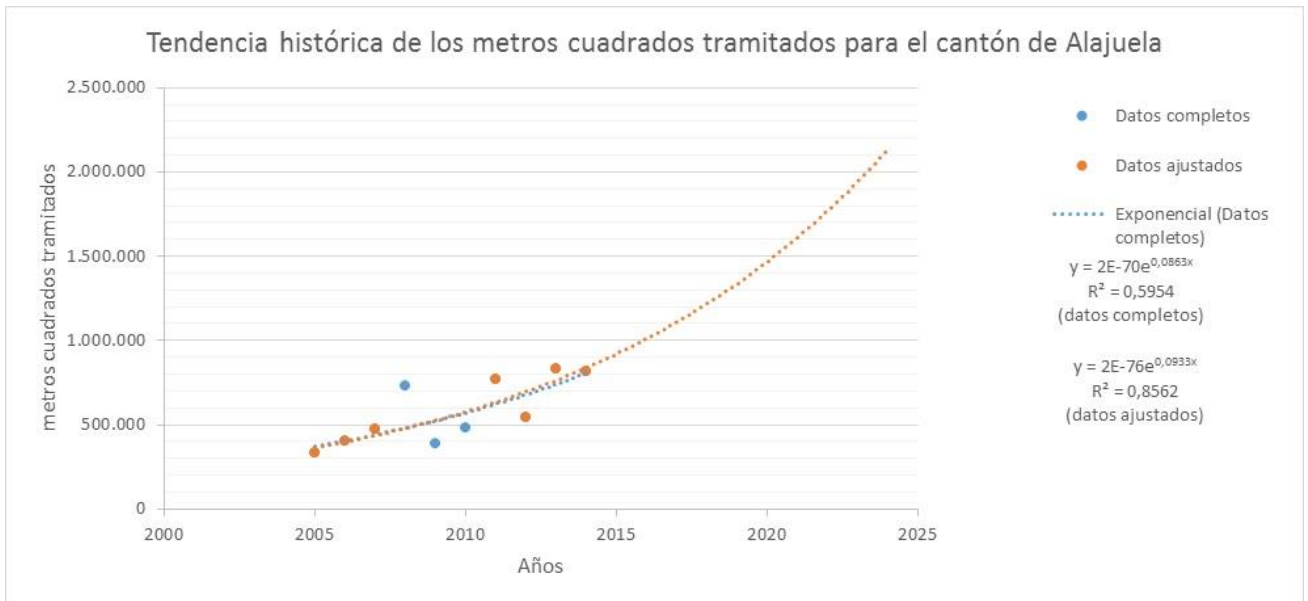


Figura 3 Gráficos de tendencia histórica y proyectada de los m<sup>2</sup> de construcción tramitado ante el CFIA para el cantón de Alajuela mediante ajuste exponencial  
Fuente: Elaboración propia

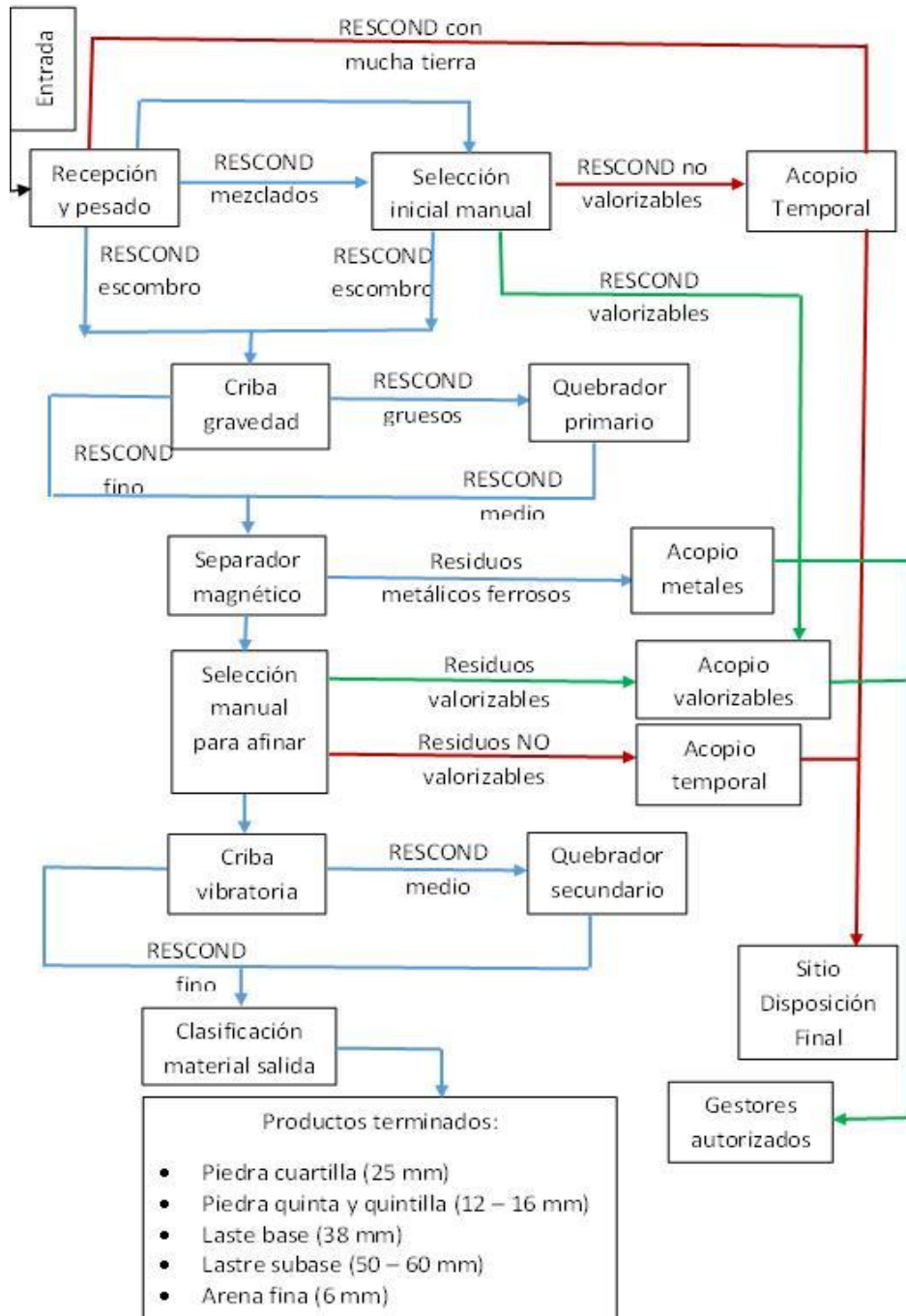


Figura 4 Esquema de proceso diseñado para la planta  
Fuente: elaboración propia

Por otro lado también se investigó acerca de los potenciales usos de los materiales producidos en la planta, dentro de las mismas labores actuales de la municipalidad, para lo cual se realizaron entrevistas a los encargados de diferentes procesos internos y se estimaron los insumos actualmente utilizados. Los resultados se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2 Posibles usos del material procesado en la planta

Dependencia municipal	Cantidad de obra que realizan anualmente	Costo actual de obras con material virgen	Volumen estimado de material a sustituir
Caminos, Gestión Vial.	Se repara un promedio de 16 Km al año.	Costo total de 50 millones anuales para 6 o 7 meses de trabajo.	Compran 4.000 m <sup>3</sup> , segregado en 2.500 m <sup>3</sup> de sub-base y 1.500 m <sup>3</sup> de base.
Alcantarillado pluvial	Dependen de las condiciones climáticas del año.	El costo aproximado ronda los ¢ 35.000.000,00 anuales	1500m <sup>3</sup> de lastre, 1200m <sup>3</sup> de arena y 1200m <sup>3</sup> de piedra.
Parques	Obras de inversión desde el mantenimiento de parques, aceras y otros	No tiene datos específicos	No hay dato
<b>TOTALES</b>		<b>7900 m<sup>3</sup></b> (equivalentes a 12640 Toneladas anuales, considerando una densidad de material ya procesado de 1.6 Ton/m <sup>3</sup> <sup>7</sup> )	

Fuente: Elaboración propia, con base en los datos suministrados por los funcionarios municipales entrevistados.

### 1.2 Selección de los posibles sitios de disposición final

Paralelamente, se trabajó en el levantamiento de posibles sitios para la disposición final adecuada de RESCOND no valorizables, pues siempre habrá una fracción de residuos que no podrán ser aprovechados. Se propuso seguir el ejemplo práctico desarrollado en Santiago de Chile, en el cual

<sup>7</sup> Según indicó Perera (2015) el material ya procesado tiene una densidad un poco mayor al material de RESCOND sin procesar, y está dada en promedio por 1.6 Ton/m<sup>3</sup>.

se utilizan los sitios mineros abandonados como puntos aptos para la disposición de los RESCOND, y a la vez se utilizan estos residuos como recuperadores de suelos, que de otra forma no podrían regenerarse. Junto con el técnico para la región de Alajuela de la Dirección de Geología y Minas en Costa Rica (DGM), se montó una base de datos con los registros de los tajos activos y cerrados del cantón de Alajuela, para valorar las posibilidades reales de sitios para la disposición de RESCOND. Para el análisis se contemplaron los lineamientos que da el Código de Minería en el país en cuanto al uso de sitios mineros, y los aspectos ambientales que la SETENA<sup>8</sup> define para la viabilidad ambiental de las obras. Con esta lista se procedió a determinar cuatro potenciales categorías de utilización (con un plazo general de uso), a saber:

- Inmediato: corresponde a tajos que ya están cerrados y que podrían utilizarse con solo negociar con el dueño respectivo.
- Corto plazo: son aquellos tajos que todavía están activos, pero que ya están en los últimos años de concesión o tienen muy pocas reservas. Estos tajos estarían por entrar en proceso de cierre técnico a más tardar en un par de años.
- Largo plazo: son tajos que acaban de iniciar su operación o todavía tienen muchas reservas por explotar, y por consiguiente no entrarían en cierre técnico antes de 5 años o más tiempo.
- No Factible, para aquellos casos en que por alguna situación particular no sería posible su uso como sitio de disposición.

Para evaluar la cobertura se trabajó con Sistemas de Información Geográfica y se midieron distancias reales sobre carretera pública de 15, 25 y 50 kilómetros, con los que se crearon radios de acción para cada potencial sitio. Los resultados evidenciaron que prácticamente la totalidad del cantón tiene acceso a un posible sitio de disposición, según se observa en la figura 5.

### **1.3 Análisis de Costos y determinación de la prefactibilidad**

Los principales puntos que se consideraron en este esquema de costos se pueden resumir de la siguiente forma:

- Inversión inicial de la planta: Contempla el terreno, equipos que quebrado, maquinaria pesada mínima, permisos ambientales, instalación y puesta en marcha, infraestructura básica, pozo de agua, entre otros. Todos se consideraron como una sola inversión en el año cero, ya que se espera se financien con fondos municipales que pueden ser recogidos mediante una contribución especial. No se consideró la necesidad de apalancamiento para la inversión inicial.
- Inversión de los sitios de disposición final: Se consideró que se requiere un sitio para la primera parte del período y posiblemente otro a mediados del plazo de análisis. Contempla el alquiler del inmueble, los permisos ambientales y la maquinaria pesada.
- Jornada laboral: Estimada para la realidad de trabajo de un servicio municipal.

<sup>8</sup> Secretaría Técnica Nacional Ambiental.



- Mano de obra: Se consideró tanto obrera como profesional a ser utilizada en la planta y en el sitio de disposición final de no valorizables. Se estimó el requerimiento según el funcionamiento completo de la planta, ya que los aumentos de la demanda en principio no consideran un aumento significativo de mano de obra, debido a lo auto controlado del sistema y de la maquinaria. Se consideró que las labores más manuales (separación en las bandas) si podría requerir un par de peones más adicionales, los cuales para simplificar el análisis se incluyeron a partir del año 5. Adicionalmente se consideró un costo de mano de obra para el año cero de la mitad de la estimada para el año 1, para considerar capacitación en uso de equipos y otros requerimientos.
- Impuestos: Se consideró que al ser un proyecto público la Municipalidad está exenta del pago de estos tributos.
- Depreciación y valor de rescate: Se estimó para equipos, maquinaria e infraestructura. Al no pagarse impuestos, no se tiene un escudo fiscal por la depreciación.
- Mantenimiento de equipos: Se consideró tanto el preventivo como el requerido por desgaste de piezas en los quebradores.
- Energía, combustibles y agua: Se consideró lo requerido para el procesamiento en la planta, según costos para uso industrial. Se consideró un aumento de costos igual que para los salarios, mantenimientos y otros. No considera una variación de acuerdo a la cantidad de material por procesar, ya que se estimaron costos de procesamiento a capacidad en las horas laborales

En las Tablas 3 y 4 se resumen los costos utilizados en el análisis, para los que se utilizó como moneda común el dólar estadounidense. La Tabla 3 resume los costos asociados a la inversión inicial, en donde se consideró solo la parte del terreno que se utilizaría; la Tabla 4 muestra los costos operativos generales que se tendrán en la planta de procesamiento.

Para la estimación de los ingresos se contemplaron los ahorros que se estarían generando producto de la existencia y uso de la planta. Los mismos son:

- Ahorro del costo de comprar agregados para las obras municipales: Se consideró la cantidad de RESCOND que son escombros (80% del ingresado) y el costo promedio de los agregados que actualmente se compran.
- Ahorro por el espacio que no se utiliza en rellenos sanitarios: Se estimó considerando la totalidad de RESCOND que se generan y llegarían a la planta, contemplando que todo este volumen de material no iría ahora a un relleno sanitario. Para el costeo se consideró el precio que deberían pagar por tonelada en el relleno.
- Ahorro por la No limpieza de micro basurales: Se contempló que el 25% de los RESCOND generados podían ser dejados en botaderos ilegales que deberían ser limpiados por la Municipalidad, lo cual tiene un costo operativo a contemplar, que se estimó en \$50/Ton; este costo es alto debido a que todas las labores se realizan a mano, sin maquinaria pesada, debido a lo incómodo de los sitios donde son dejados estos residuos. En todos los casos se consideró

- para este ahorro solo lo que se limpia en la Municipalidad de Alajuela, y no los RESCOND que se consideran como aumento de demanda pero que vienen de otros sitios.
- También se consideró una cuarta tarifa por la disposición de los RESCOND no valorizables en el sitio de disposición final que se asocia a la planta, esto se consideró en los costos operativos ya que la municipalidad al operar la planta debe llevar estos residuos al sitio escogido. La Tabla 5 establece las tarifas utilizadas para este cálculo, según los datos recopilados en el municipio de Alajuela.

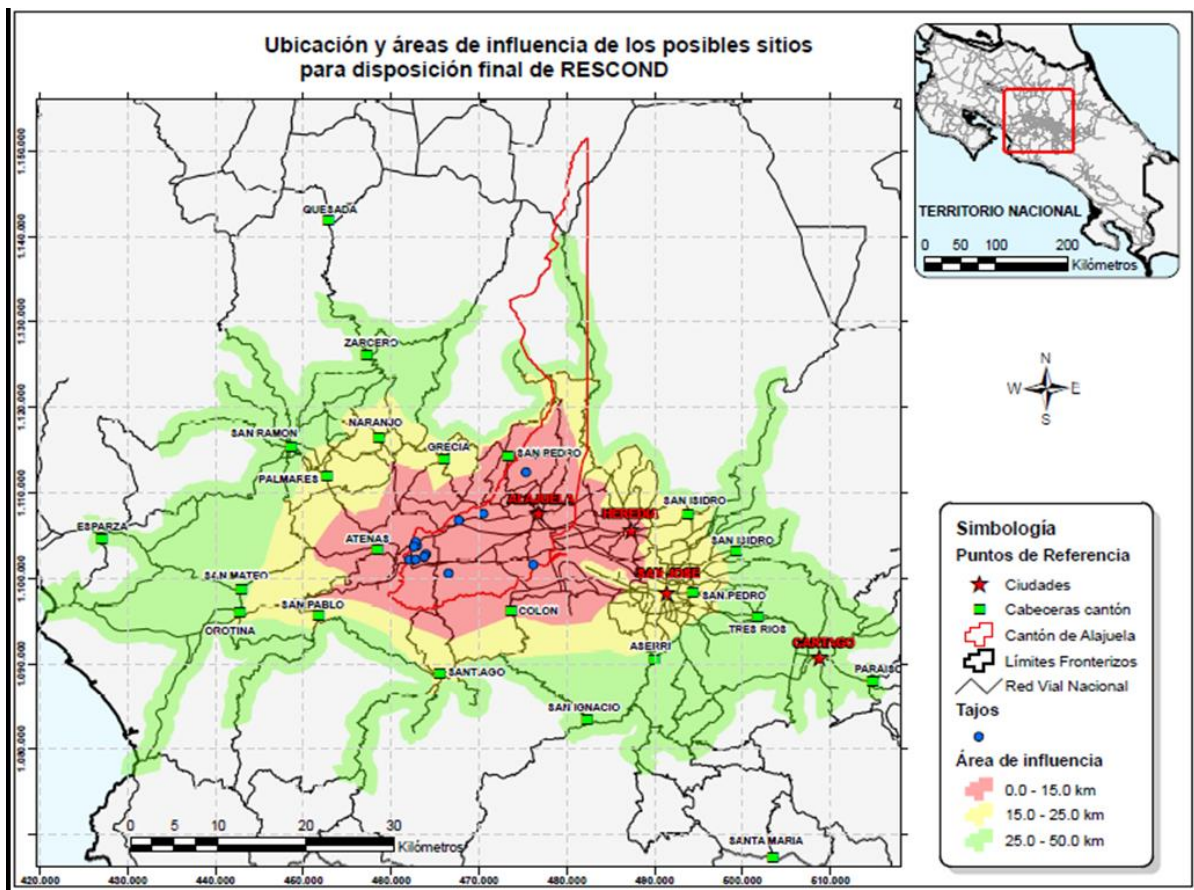


Figura 5 Mapa de ubicación de posibles sitios de disposición final para RESCOND no valorizables

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Resumen de costos de la inversión inicial para el Proyecto

<b>Rubro costeadado general</b>	<b>Monto (US\$)</b>
Terreno	\$329.597,89
Puesta en marcha	\$200.000,00
Permisos ambientales y de funcionamiento	\$30.000,00
Infraestructura básica	\$37.037,04
Construcción pozo	\$6.000,00
Quebradores	\$1.300.000,00
Vagoneta	\$125.000,00
Back hoe	\$110.000,00
<b>TOTAL Inversión Inicial Planta</b>	<b>\$2.137.634,93</b>
Inversión inicial del sitios de disposición final	\$430.000,00
Cambio de sitio de disposición final	\$220.000,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 4 Resumen de costos operativos del proyecto

<b>Rubro costeadado general</b>	<b>Monto (US\$) anual</b>
Mantenimiento preventivo de la planta	\$52.385,50
Mantenimiento por desgaste de la planta	\$14.815,00
Planilla obrera	\$156.803,00
Planilla profesional	\$167.193,00
Combustible	\$218.906,00
Servicios públicos (agua y energía)	\$2.889,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 5 Resumen de las tarifas utilizadas para el análisis de factibilidad

Rubro	Tarifa (US\$/Ton)
Tarifa general por recepción de RESCOND en la planta	\$19,50
Tarifa por disposición de residuos No Valorizables	\$10,50
Tarifa de venta de agregados reciclados (promedio)	\$17,08
Ahorro por la no limpieza de microbasurales (aproximado)	\$50,00

Fuente: elaboración propia

Con base en la información expuesta hasta el momento, se procedió a realizar un análisis de sensibilidad financiera para el proyecto, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. Se consideró los siguientes escenarios para cada una de las modelaciones:

- **Caso 1:** análisis base, tasa de retorno del 12%, demanda real proyectada.
- **Caso 2:** cambia la tasa de retorno del proyecto a un 8% (que sería menor a la pedida normalmente para estos proyectos)
- **Caso 3:** aumentar el período de análisis a 20 años, lo que evidencia un problema con la proyección de los RESCOND a largo plazo, pues no es adecuado extender tantos años una estimación. Se decidió mantener la cantidad de RESCOND fija a partir del año 10 y hasta el 20, manteniendo los ingresos constantes y los costos operativos aumentan.
- **Casos 4, 5 y 6:** consideran aumentos graduales de la demanda, es decir la planta tiene capacidad para dar el servicio de procesamiento a municipios vecinos, con lo que puede recopilar un volumen mayor de RESCOND a procesar, y llevar la capacidad del quebrador a niveles más rentables. Se utilizaron escenarios de aumento del 25, 35 y 50% en la cantidad de escombros a procesar. Se estimó la tasa de alimentación que se tendría en el quebrador con los aumentos de la demanda y no se llega en ningún caso a sobrepasar la misma.

Tabla 6 Resumen del análisis de sensibilidad financiera para el Proyecto

Caso	Escenario	Tasa de interés	Basado en Regresión Lineal		Basado en Modelo Exponencial	
			VAN (US\$)	TIR	VAN (US\$)	TIR
Caso 1	Análisis a 10 años, demanda real	12%	\$ (901 486,72)	4%	\$ 405 244,09	15%
Caso 2	Análisis a 10 años, demanda real	8%	\$ (521 512,10)	4%	\$ 1 159 494,36	15%
Caso 3	Análisis a 20 años, demanda real	12%	\$ (946 640,24)	Indefinido	\$ 1 740 342,78	Indefinido
Caso 4	Análisis a 10 años, demanda mayor 25%	12%	\$ 359637,40	15%	\$ 1 567 193,88	22%
Caso 5	Análisis a 10 años, demanda mayor 35%	12%	\$ 765 654,60	18%	\$ 1 984 921,97	25%
Caso 6	Análisis a 10 años, demanda mayor 50%	12%	\$ 1 620 761,52	24%	\$ 2 729 143,66	29%

Fuente: Elaboración propia.

## 5. Conclusiones

El principal hallazgo de la investigación realizada fue el comprobar que el instalar una planta de procesamiento para tratar RESCOND, bajo un esquema municipal, es factible si se llega a concretar una demanda mínima requerida. Los estudios evidenciaron que, según la demanda proyectada con solo los RESCOND del cantón de Alajuela, se requiere al menos un 25% más para que financieramente el proyecto se sostenga en el tiempo, esto considerando el escenario de proyección más bajo.

La incertidumbre asociada a los datos de origen de la generación de RESCOND representa una limitante importante, por ello se utilizó el panorama más conservador y se analizaron varios escenarios, sin escoger cuál de las proyecciones basadas en los metros cuadrados de construcción era la más adecuada, pues ambas pueden reflejar situaciones futuras reales. Otro punto importante para garantizar la factibilidad está en asegurar los potenciales ingresos asociados al reciclaje de los RESCOND, entre ellos están: ahorro por la no compra de agregados vírgenes para las obras municipales; cobro por el uso de la planta para el tratamiento y la disposición de los residuos; y el ahorro por la disminución de los requerimientos de limpieza de microbasurales<sup>9</sup> en el cantón. Este último punto podría ser uno de los principales aportes sociales asociados a la planta, ya que los microbasurales son focos de contaminación que generan problemas de salud pública.

El no tener una opción para el manejo y tratamiento de los RESCOND genera un problema de salud pública. Existen evidencias de casos en Santiago de Chile en los cuales los microbasurales ilegales nacen a raíz de los RESCOND que son dejados en las calles o lotes baldíos. Al ver estos residuos abandonados se puede propiciar la mala práctica de disponer otro tipo de residuos junto a ellos, lo cual provoca la atracción de vectores no deseados como ratas, insecto y otros. Por todo lo anterior, se considera que proponer una alternativa para la disipación de los RESCOND, como la planta de procesamiento, va a disminuir la cantidad y el tamaño de esos microbasurales. Esto a la vez ayudaría a reducir la necesidad de inversión de recursos públicos en la limpieza de estos sitios.

Un esquema de planta de tratamiento para los RESCOND, con énfasis en la valorización de residuos y bajo un esquema municipal, es una novedad en Costa Rica; pero existe en otros países como en Brasil, donde han sido exitosas. Por ello, se consideró que el esquema puede ser replicable si se siguen las recomendaciones que se plantean en esta investigación. Es importante continuar futuras investigaciones para documentar más a fondo las experiencias de otras plantas y así tener mayor claridad de las posibles brechas que deben ser libradas.

El uso de sitios mineros abandonados ha demostrado ser una opción económica y técnicamente viable para el manejo de los RESCOND en Chile. A pesar de que en Costa Rica la escala de la minería es mucho menor, igual existen estos grandes terrenos de antiguos tajos en las cercanías de los núcleos urbanos, y que reúnen condiciones similares a los casos chilenos, por lo que se vio factible propiciar su utilización. A la vez se contribuye a la recuperación de suelos que de otra forma no podrían ser utilizados nuevamente. Específicamente en el cantón de Alajuela existe suficiente espacio disponible cuya vocación podría ser casi exclusivamente la disposición final y controlada de RESCOND, se determinó que es uno de los cantones con mayor cantidad de tajos en el área central del país. El aprovechamiento de estos espacios se consideró factible por los expertos en minería y las autoridades geológicas consultadas, solo que se requiere crear normas que regulen la utilización de estos espacios, tanto durante la recuperación como a posterior.

---

<sup>9</sup> Estos sitios son los botaderos ilegales que quedan en las calles o lotes baldíos, producto de la clandestinidad y de la necesidad de algunas personas de deshacerse de los residuos que generan sin un adecuado manejo.



Lo más complejo del análisis de factibilidad fue definir el mejor escenario para que el proyecto sea rentable, ya que la incertidumbre asociada a la estimación del crecimiento de la demanda es alta, en vista de que no se tienen esquemas de proyección ni tasas de generación oficiales. Para mejorar el análisis se requiere contar con más datos concretos y trabajar de la mano con el gremio para iniciar el registro de estadísticas específicas para RESCOND. Se requiere de más investigación de campo para contar con más datos de tasas de generación nacionales. También es relevante que se establezca el registro sistematizado de la cantidad de residuos generados, para lo que se podría pensar en un sistema de información similar al que se maneja en otros países como Chile, donde es responsabilidad de los generadores registrar todos los tipos de residuos producidos.

Finalmente, corresponde al gremio de ingenieros y arquitectos definir las pautas aplicables en el país para poder utilizar agregados reciclados, ya que existe una reticencia a su utilización si no está avalada por alguna autoridad en el campo. Un proyecto como el planteado en esta investigación requiere de apoyo normativo y político para su ejecución, sino es difícil concretarlo.

## 6. Referencias Bibliográficas

1. Leandro (2007). *Administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción etapa 2: Alternativas de Manejo*. Recuperado el 07 de junio de 2014, en: <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/492/Informe%20final%20Manejo%20de%20Desechos%20enla%20construcci%EF%BF%BD%EF%BF%BDn%20Etapa%20II.pdf?sequence=1>.
2. Ihobe (2004) *Monografía sobre residuos de construcción y demolición*. País Vasco, España. Recuperado el 12 de noviembre de 2015 en: [http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/contenidos/plan\\_programa\\_proyecto/plan\\_residuos\\_peligrosos/es\\_10758/adjuntos/construccion.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/contenidos/plan_programa_proyecto/plan_residuos_peligrosos/es_10758/adjuntos/construccion.pdf)
3. Poveda Quirós, M. A. (2008). Evaluación de la prefactibilidad técnica y financiera de reutilizar los residuos de construcción como agregados para concreto. Proyecto Final de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
4. Androvetto, E. (marzo 2014). Comunicación personal (grabación). Ministerio de Salud, San José, Costa Rica.
5. Plan Nacional de Residuos Sólidos (PRESOL), 2008. Plataforma interinstitucional – GTZ. Costa Rica.
6. Beckel Richter, Jorge (1999). Clasificación en obra de residuos de la construcción. Artículo de revista publicado en: Boletín Estadístico. CCHC, v.26:no.308. (1999:May.), p. 6.3-6.8

7. Corbitt, R. A. (2003) Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental. Editorial Mc Graw Hill. España.
8. Paschoalin, J. A; Guerner, A.J; Cortes, P.L y Lima, E. B. (2013) “Manejo de Resíduos de Demolicao Gerados durante obras da Arena de Futebol Palestra Itália Localizada na cidade de Sao Pablo, Brasil”, artículo Recuperado el 20 de mayo de 2014 de: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=23d010b6-a07f-431d-ac00-2091870e712a%40sessionmgr4004&hid=4201>
9. Kofoworola, O.F., Gheewala, S.H., (2009). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. Waste Management 29, 731–738.
10. Villalobos Murillo, A. (1995). Estudio de generación de desechos en la construcción de viviendas en mampostería. Proyecto Final de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
11. Gobierno de Chile (1994). Comisión especial de descontaminación de la Región Metropolitana. Proposición de un plan para la regulación de la disposición final de residuos provenientes de las actividades de la construcción en la Región Metropolitana: informe final [monografías]. Santiago, Chile: EWI, octubre. 163 p.

## 7. Correspondencia

Cruz Zúñiga, Nidia. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Sede Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. (506)2511-5510, [nidia.cruz@ucr.ac.cr](mailto:nidia.cruz@ucr.ac.cr), [www.ucr.ac.cr](http://www.ucr.ac.cr)