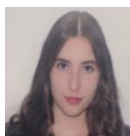


# Modelamiento espacial en la ubicación de un relleno sanitario para la zona de Intag, cantón Cotacachi, Ecuador

Spatial modeling in the location of a sanitary landfill for the Intag area, Cotacachi canton, Ecuador



**Charpentier Alcivar Andrea**  
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental,  
Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.  
Docente Universidad Metropolitana  
Email: andresakura@gmail.com



**Carrera Villacrés David Vinicio**  
Doctor en Ciencias en Hidrociencias, Colegio de  
Postgraduados (Ciudad de México). Docente ESPE  
Email: dvcarrera@espe.edu.ec



**Freire Mancheno Jorge Andrés**  
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental,  
Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.  
Docente Universidad Metropolitana  
Email: jandresfreire@hotmail.com

**Haro Robayo Margarita del Pilar**  
Magister en Sistemas de Gestión Ambiental, Universidad de  
las Fuerzas Armadas-ESPE. Docente ESPE  
Email: mpharo@espe.edu.ec

## Resumen

Uno de los principales problemas que contribuyen a disminuir la calidad de vida de las poblaciones del Ecuador es el inadecuado manejo de los residuos urbanos, ya sea por la falta de equipamiento o de programas que contribuyan a la gestión integral; este es el caso de la actual población de la zona de INTAG, cantón Cotacachi, que no dispone de un relleno sanitario para la disposición final y gestión de los desechos sólidos generados; actualmente los residuos son conducidos al relleno sanitario de Cotacachi, que se encuentra en proceso de cierre definitivo. A través del presente estudio se propuso la ubicación óptima del nuevo relleno sanitario para la zona de INTAG, la metodología utilizada fue modelamiento espacial y álgebra de mapas, a través de herramientas de información geográfica, obteniendo seis alternativas de ubicación que fueron evaluadas en campo; posteriormente la más óptima fue seleccionada y aprobada por la Dirección de Ambiente del GAD Municipal de Cotacachi, cumpliendo con las especificaciones pertinentes del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Con la ejecución del presente estudio, no solamente se estará cumpliendo con uno de los objetivos del Plan de Desarrollo del cantón, sino también se mejorará, de manera sustancial, la calidad de vida de las comunidades, reduciendo los impactos ambientales negativos que las actuales condiciones generan.

**Palabras clave:** *gestión integral; disposición final; residuos sólidos; ubicación óptima; álgebra de mapas.*

## Abstract

*One of the main problems that contribute to diminish the life quality of Ecuador populations is the inadequate management of the waste, either due to the lack of equipment or programs that contribute to the integral management of waste, this is the case of the current population of INTAG area in Cotacachi canton. Which does not have a sanitary landfill for the final disposal nor management of the solid waste generated. Currently this waste is taken to the Cotacachi's city landfill, which is in process of definitive closure. This study propose an optimum location of the new sanitary landfill for the INTAG area, the methodology used was maps algebra and spatial modeling through geographic information tools obtaining six location alternatives that were evaluated on field. Then the best option was selected and approved by the Environmental Department of the Municipal GAD of Cotacachi, complying with the specifications of the Environment Ministry of Ecuador. Through the implementation of this study, not only will one of the objectives of the Development Plan of the canton be fulfilled, but also the quality of life of the communities will be substantially improved, reducing the negative environmental impacts that the current conditions generate.*

**Keywords:** *integral management; final disposal; solid waste; optimal location; map algebra.*



## Introducción

El cantón Cotacachi, perteneciente a la provincia de Imbabura, está organizado territorialmente en parroquias y comunidades. Las zonas establecidas y reconocidas son tres: Urbana, Andina e Intag; la zona de Intag está conformada por las parroquias rurales de Apuela, Plaza Gutiérrez, Cuellaje, Peñaherrera, Vacas Galindo y García Moreno. (GAD Cotacachi, 2011)

Actualmente, los residuos de las comunidades de la zona de Intag se transportan, para su disposición final, hasta el relleno sanitario de la ciudad de Cotacachi. Dicho relleno, por influencia de varios factores, vio reducida su vida útil de 15 a 3 años y, actualmente se encuentra a punto de colapsar (GAD Cotacachi, 2015). Existen estudios para el cierre técnico y apertura de una nueva celda en el actual relleno, sin embargo, la solución sería temporal y no representa una medida que a largo plazo garantice una adecuada disposición final para los residuos generados en la zona de Intag. Debido al crecimiento poblacional y por consiguiente el aumento de la producción de residuos sólidos, se torna evidente la necesidad de que la zona de Intag cuente con un sitio de disposición final propio.

La implementación del relleno sanitario mejorará sustancialmente la gestión integral de los residuos sólidos del cantón Cotacachi, evitando la formación de vertederos a cielo abierto y optimizando recursos destinados a la recolección y transporte.

El objetivo principal de este estudio fue: determinar técnicamente el sitio más adecuado para la ubicación de un relleno sanitario para la zona de Intag, en base a las normativas del Ministerio del Ambiente del Ecuador, empleando una metodología que combinó álgebra de mapas y análisis multicriterio para generar un modelo espacial. El modelo resultante tiene 11 variables de análisis que incluyen criterios topográficos, geológicos e hidrológicos, y constituyó la herramienta de decisión previa a la visita de campo para delimitar posibles sitios para la ubicación del sitio de disposición final.

## Metodología

### Metodología del modelo espacial para la localización del relleno sanitario

Los insumos utilizados en el modelamiento espacial fueron facilitados por la dirección de Planificación Territorial del GAD Municipal de Cotacachi, los cuáles se enlistan a continuación (Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Ana de Cotacachi., 2010):

1. Cartografía base en formato Shape y Dwg, escala 1:50000.
2. Cartografía Temática en formato Shape, escala 1:25000.
3. Mapas temáticos de uso del suelo, Riesgos y Ame-

nazas en formato PDF.

4. Mosaico de Fotografías aéreas, escala 1:5000

La metodología empleada en el modelo espacial utilizado para obtener las zonas más adecuadas para la construcción del relleno sanitario en la zona de Intag, fue álgebra de mapas en función del análisis de criterios técnicos y de exclusión según una adaptación del estudio para la Localización óptima de Relleno Sanitario, aplicando técnicas multicriterio en Sistemas de Información Geográfica, en el área metropolitana del Alto Paraná, presentado en el VII Congreso de Medio Ambiente- AUGM (Vera, 2012), utilizando el software Arc Gis 9.3 (Licencia del Laboratorio de Geomática de la ESPE) para la determinación de las parcelas viables y el análisis de la cuenca visual, necesario para evaluar, posteriormente la fragilidad del paisaje.

Los criterios de análisis empleados son los especificados en la Legislación Ambiental Ecuatoriana en base a la Norma de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, del Libro VI Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015) de donde se toman las siguientes consideraciones para la ubicación de un relleno sanitario: Artículo 4.12.4 Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos de ubicación para rellenos sanitarios mecanizados:

- a) El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 13 km. de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje:  
Se empleó una cobertura con la ubicación de los aeropuertos del país, y se comprobó que dentro de la zona de Intag no existe ningún aeropuerto ni pista de aterrizaje, por lo tanto, esta variable no fue considerada en el modelo.
- b) No debe ubicarse en zonas donde se ocasione daños a los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, fuentes termales o medicinales), a la flora, fauna, zonas agrícolas, ni a otros elementos del paisaje natural. Tampoco se deben escoger áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc.).

La determinación del sitio adecuado para el diseño del relleno sanitario se sustenta en 11 variables: áreas protegidas; uso actual del suelo; bosques protectores; cursos hídricos; riesgos de inundación y flujos de lodo; riesgos volcánicos; distancia a centros educativos y centros de salud; distancia vías de acceso; distancia núcleos poblados y pendientes. A continuación se reclasificó cada valor, en cada una de las variables sustentadas, se utilizó el valor de cero, no cumple la nor-



mativa, y uno, cumple la normativa, y que, al final estos resultados se superponen y dan como resultado final los lugares donde las 11 variables en estudio cumplen.

A través del cruce de coberturas de la zona de Intag y el sistema Nacional de áreas protegidas se evidenció que parte de la reserva Cotacachi Cayapas está dentro de la zona de estudio, dentro del modelo cartográfico se excluyó toda esta área de las áreas viables para la ubicación del relleno sanitario, la Fig. 1 representa la Variable 1 de estudio.



Figura 1. Análisis de variable 1, área protegida Cotacachi Cayapas dentro de la zona de Intag

Se realizó el análisis del uso del suelo actual de la zona de Intag, en el cual se excluyó las áreas agrícolas, urbanas, bosques naturales, cuerpos de agua y páramos. La Fig. 2 representa la Variable 2 de análisis:

Uso de suelo	Raster Value	Reclassify New Value
Arbicultura Tropical I	1	0
Bosque intervenido	2	1
Bosque natural	3	0
Bosque plantado	4	0
Cuerpo de agua natural	5	0
Cultivo Ciclo corto	6	0
Cultivo ciclo corto y áreas en proceso de erosión	7	0
Cultivo de café	8	0
Cultivo de caña	9	0
Cultivo de maíz	10	0
Nieve o hielo	11	0
Pasto cultivado	12	1
Pasto cultivado y áreas en proceso de erosión	13	1
Pasto Natural	14	1
Pasto Natural y áreas en proceso de erosión	15	1
Páramo	16	0
Vegetación arbustiva	17	1
Área erosionada	18	1



Figura 2. Análisis de variable 2, uso actual del suelo de la zona de Intag

Dentro de este literal se analizó la cobertura de bosques protectores, dentro de la zona de Intag, la Fig. 3 muestra la Variable 3:



Figura 3. Análisis de variable 3, bosques protectores de la zona de Intag

c) El relleno sanitario deberá estar ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial más próxima. Se empleó la cobertura de ríos principales y secundarios, se delimitó un buffer de 200 metros del límite de cada río para determinar el área de exclusión (Fig.4)

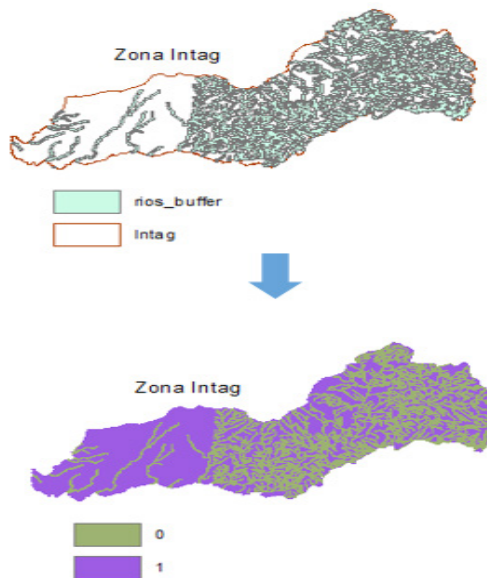


Figura 4. Análisis variable 4, cursos hídricos de la zona de Intag.

d) Para la ubicación del relleno no deben escogerse: zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, etc., que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno: Los principales riesgos identificados que pueden suponer un problema para la ubicación del relleno sanitario en la zona de Intag, son las inundaciones, zonas propensas a la formación de flujos de lodo y peligro de formación de lahares,

en caso de la erupción del volcán Cotacachi; se seleccionó solamente las áreas con probabilidad baja o ninguna de inundación, y se excluyó las zonas de probabilidad alta y media, la de formación de flujos de lodo y lagunas (Fig. 5):

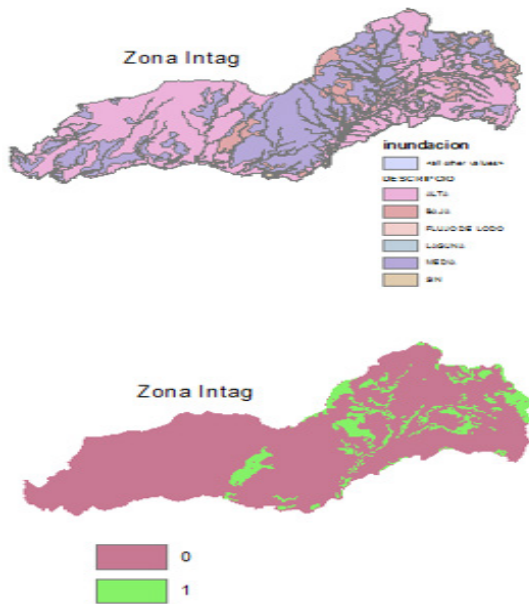


Figura 5. Análisis variable 5, riesgos de inundación y flujos de lodo en la zona de Intag.

Para los riesgos volcánicos se utilizó la cobertura de los ejes de los lahares que produciría una eventual erupción del volcán Cotacachi, se realizó un buffer de 200 metros alrededor de cada lahar para tener un mayor nivel de seguridad (Fig. 6).

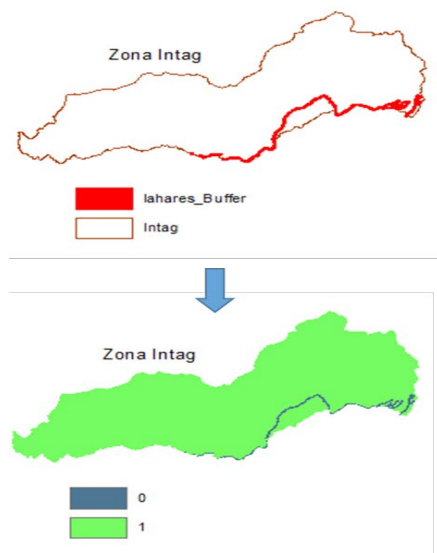


Figura 6. Análisis variable 6, riesgos volcánicos, formación de lahares en la zona de Intag

e) El relleno sanitario no debe ubicarse en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menor de 500 m. Al ser una zona rural no existe un Plan de desarrollo urbano, también se comprobó a través de entrevistas con las autoridades municipales que tampoco

existen proyectos de desarrollo planificados a un corto plazo dentro de la zona. Como valor agregado se realizó un análisis de cercanía a centros educativos y centros de salud para garantizar que el relleno se encuentre por lo menos a 500 metros de dichas infraestructuras. La Fig. 7 muestra las Variables 7 y 8 de análisis:

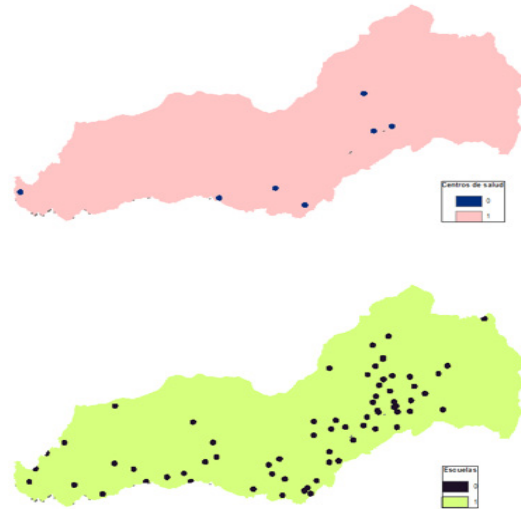


Figura 7. Análisis variable 7 y 8, distancia a centros educativos y centros de salud

f) El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos. El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 500 metros de una vía de acceso principal (Fig. 8).

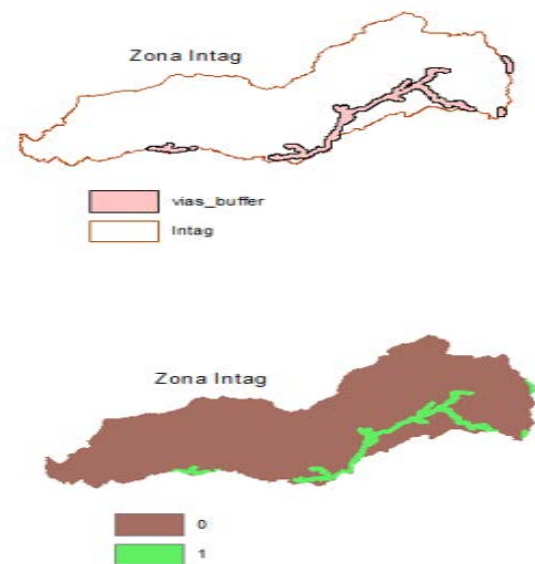


Figura 8. Análisis de variable 9, distancia vías de acceso al relleno sanitario

Además de contar con las vías de acceso adecuadas para el relleno sanitario, también es necesario que el mismo esté ubicado a una distancia no mayor de 20 kilómetros de los núcleos poblados de la zona de Intag, ya que la distribución de la población no es uniforme, se utilizó la cobertura de los núcleos poblacionales y se delimitó un buffer de 20 kilómetros alrededor de cada uno (Fig. 9):

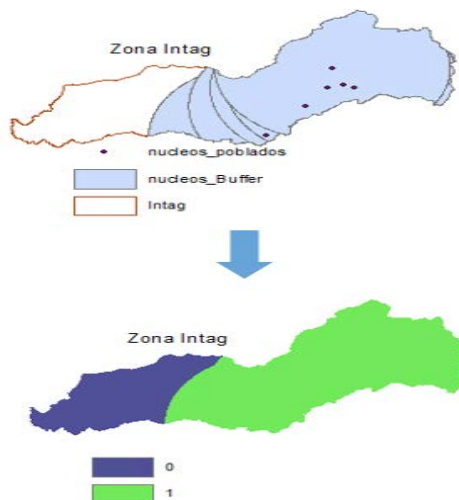


Figura 9. Análisis de variable 10 Distancia del relleno sanitario a los núcleos poblados.

g) El lugar seleccionado para el relleno sanitario debe contar con suficiente material de cobertura, de fácil extracción.

Se realizó un mapa de pendientes para que el lugar seleccionado para el relleno sanitario no tenga una pendiente mayor al 3%. (Fig.10)

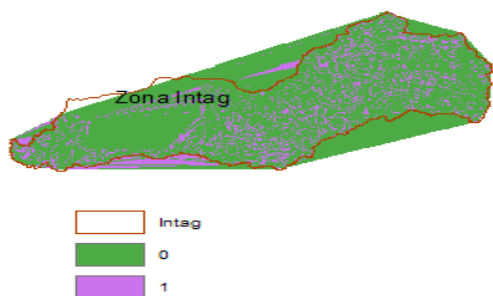


Figura 10. Análisis de variable 11, mapa de pendientes zona de Intag

En base a las once variables descritas anteriormente, empleando la herramienta "raster calculator", del Software ArcGIS 9.3, se determinó las parcelas. (Fig.11):

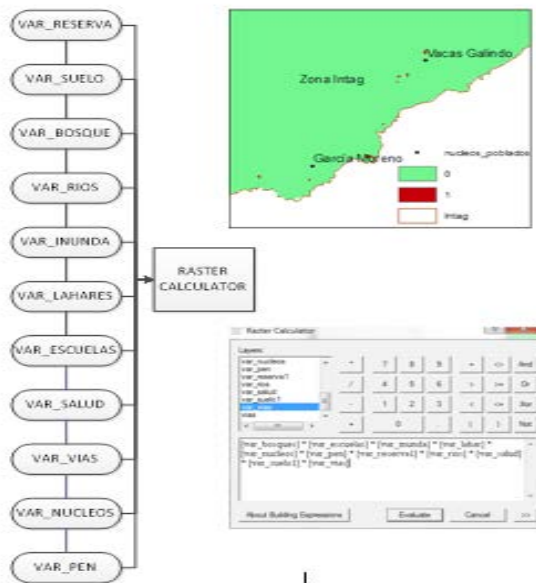


Figura 11. Determinación de las parcelas

Se escogió seis parcelas de mayor tamaño para proceder a evaluarlas por calidad visual y fragilidad del paisaje.

### Metodología empleada para evaluar la calidad visual y la fragilidad del paisaje

La metodología empleada para la evaluación de calidad visual y fragilidad del paisaje de las seis alternativas, fue el de la Agencia de Servicio del Bosque de Estados Unidos USDA Forest Service (United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 462, 1974). Véase tablas en el Anexo 2 (formato digital) adjunto con metodología detallada y la valoración in situ de cada caso.

Para el análisis de cuenca visual, necesario para la evaluación de fragilidad del paisaje, se utilizó el software ArcGIS 9.3, los puntos de observatorio fueron los núcleos poblados, es decir dónde se concentra la población, para comprobar si el relleno sanitario tendrá un impacto visual, en cada una de las alternativas resultantes.

Una vez realizada la evaluación in situ de cada una de las alternativas, los resultados obtenidos fueron presentados a la Dirección de Ambiente del Municipio de Cotacachi para ser evaluados por el Director de Ambiente el Ingeniero Christian Paz, y el especialista de ambiente el Ingeniero Francisco Grijalva. La Dirección de Ambiente presentó un informe de aceptación de la alternativa seleccionada para la ubicación del relleno sanitario el 30 de octubre de 2017.

### Discusión de resultados

#### Alternativas resultantes del modelo espacial para la ubicación del relleno sanitario en la zona de Intag

Del modelo resultante se seleccionaron las parcelas de mayor tamaño, teniendo seis alternativas preliminares, una en la parroquia de Vacas Galindo, dos en la parroquia de Peñaherrera y tres en la parroquia García Moreno (Fig.12).

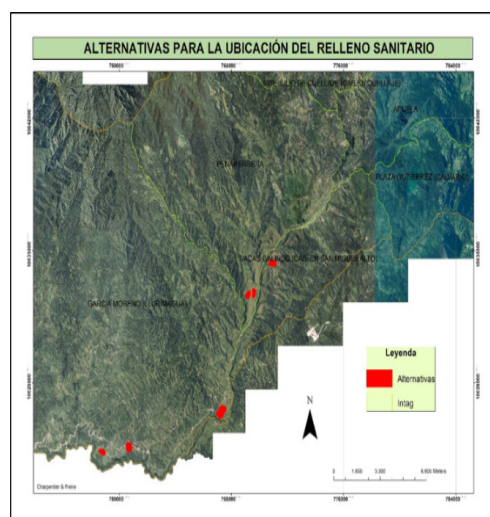


Figura 12. Mapa de Alternativas para la ubicación del relleno sanitario



Para cada una de las seis alternativas resultantes se elaboró una ficha con información de las características relevantes las cuáles se encuentran en el Anexo 1 (formato digital).

El Análisis de cada una de las alternativas resultantes, y la evaluación de la calidad y fragilidad del

paisaje se presenta a continuación a través de seis fichas de información y posterior evaluación in situ de la fragilidad y calidad del paisaje. Tabla 1. Véase tablas (12-23) en Anexo 3, con la información pormenorizada de la valoración de cada una de las alternativas.

**Tabla 1. Resumen de alternativas.**

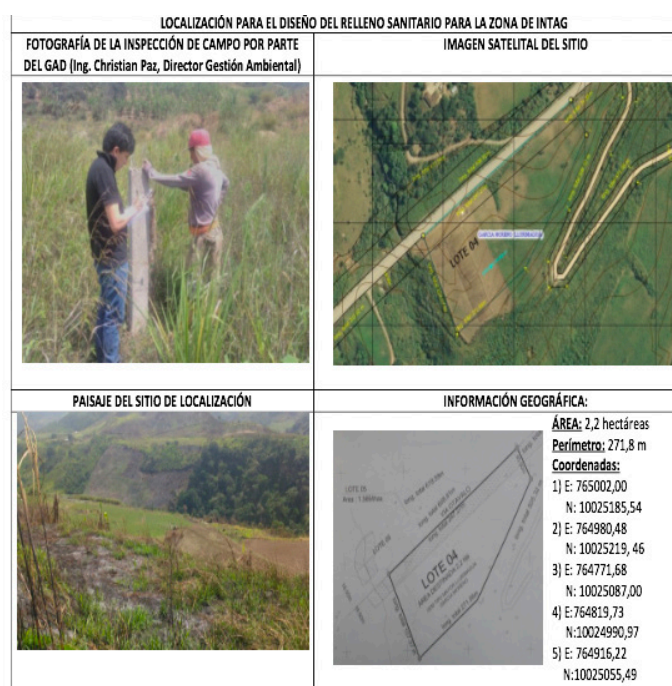
Descripción	Área (ha)	Fragilidad del paisaje (1)	Calidad visual del Paisaje (2)	Ubicación	Coordenadas U.T.M.	Observaciones
<b>Alternativa 1</b>	14,84	120	180	Vacas Galindo	770930,16 E 10034363,55 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje posee variedad de formas.
<b>Alternativa 2</b>	10,57	180	230	Peñaherrera	769590,99 E 10032758,81 N	(1) Paisaje sensible a la intervención (2) Paisaje cuyos rasgos poseen variedad
<b>Alternativa 3</b>	11,14	180	230	Peñaherrera	769191,91 E 10032671,49 N	(1) Paisaje sensible a la intervención (2) Paisaje cuyos rasgos poseen variedad
<b>Alternativa 4</b>	30,11	130	90	García Moreno	765002,00 E 10025185,54 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje con muy poca variedad
<b>Alternativa 5</b>	16,75	130	180	García Moreno	760691,69 E 10024589,30 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje cuyos rasgos poseen variedad
<b>Alternativa 6</b>	10,85	100	100	García Moreno	758787,76 E 10024358,48 N	(1) Paisaje poco sensible (2) Paisaje con muy poca variedad

1) Fragilidad del Paisaje (2) Calidad visual del Paisaje Elaborado: Por autores

### Selección de alternativa final

Una vez evaluadas las seis alternativas con observaciones en campo, a través de la metodología de la USDA Forest Service y conjuntamente con el análisis de la conveniencia y facilidades del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cotacachi, se llegó a la conclusión que la mejor alternativa es la cuatro, ubicada en la parroquia de García Moreno, sector Llurimagua, por presentar una menor calidad y fragilidad del paisaje, además de cumplir con todos los requisitos que establece la normativa ambiental ecuatoriana vigente, y que asimismo parte de esta zona se encuentra en propiedad del GAD Municipal de Cotacachi. El departamento de Gestión Ambiental del GAD de Cotacachi realizó una visita de inspección a la alternativa seleccionada, y verificó que no existan proyectos futuros a desarrollar en la zona, la ficha de resumen de la alternativa final se presenta a continuación, dónde se evidencia el área efectiva para la construcción del relleno sanitario y sus límites.

Se realizó de igual manera una nueva verificación in situ con las autoridades de GAD Municipal para constatar todo el resultado del estudio realizado. (Fig. 13)



**Figura 13. Verificación in situ y con la dirección de Planificación del GAD Municipal de Santa Ana de Cotacachi.**

### Conclusiones

El modelo espacial resultante para la determinación del sitio adecuado del relleno sanitario se susten-

ta en las 11 variables mencionadas, el cual al discriminar las parcelas que no cumplen, a través del álgebra de mapas permite obtener resultados de las seis parcelas adecuadas para la ubicación del relleno sanitario, una en la parroquia de Vacas Galindo, dos en la parroquia de Peñaherrera y tres en la parroquia García Moreno. Durante la visita in situ a cada una de las seis alternativas resultantes en compañía de representantes del GAD Municipal de Cotacachi, se determinó que todas cumplían con los criterios evaluados a través del Software. Una vez evaluadas las seis alternativas por su: calidad del paisaje, fragilidad del paisaje y cuenca visual, se determinó que la mejor alternativa era la cuarta, ubicada en la parroquia de García Moreno, en el sector de Llurimagua. El sitio fue evaluado y aprobado por el Departamento de Gestión Ambiental.

### Recomendaciones

Se recomienda aplicar la metodología empleada para la ubicación de proyectos similares de nuevos rellenos sanitarios, debido a que este optimiza tiempo y recursos a través del software ARC Gis y únicamente al final de su análisis se realiza la inspección de campo de las zonas finales de interés, para determinar la parcela más conveniente para la administración local.

### Referencias bibliográficas

GAD Cotacachi. (2015). Auditoría Ambiental de cumplimiento y actualización del Plan de Manejo Ambiental del relleno Sanitario en Cotacachi. Cotacachi.

Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Ana de Cotacachi. (2010). Cartografía base 1:50000, Cartografía temática 1:25000, Mapas temáticos, Mosaico fotografías 1:5000. Cotacachi, Imbabura, Ecuador.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (12 de Noviembre de 2015). Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA). Acuerdo 068. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial del Ecuador.

United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 462. (1974). National forest landscape management, Volume 2, chapter 1: the visual management system. Washington,

District of Columbia: U.S. Government Printing Office.

Vera, M. (2012). Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitana del Alto Paraná. 7mo Congreso de Medio Ambiente. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

### FOTOGRAFÍA SATELITAL

