

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ESPACIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ

Embely Luzón Francisco
Saúl Rafael Almonte Morilla
Derian Arismendi Acosta González

Resumen

Esta caracterización hidrogeológica se llevó a cabo en la provincia Sánchez Ramírez específicamente en el municipio de Cotuí con la finalidad de ver el impacto que generaban los residuos sólidos en la hidrogeología del vertedero y su periferia. El objetivo principal consistió en determinar el comportamiento de las características hidrogeológicas en la periferia del espacio de disposición final de residuos sólidos en el municipio de Cotuí, donde específicamente se describió la geología del espacio de disposición final de residuos sólidos, se analizaron las características hidrológicas e hidrogeológicas del espacio de disposición final de residuos sólidos y se midió el impacto de la disposición final de residuos sólidos en la calidad del acuífero y la periferia del espacio de disposición final. Se aplicó el método deductivo, partiendo desde las normas y requisitos para espacios de disposición final de residuos sólidos hasta el impacto que se ha generado en la hidrogeología del espacio de disposición final de Cotuí, el diseño no experimental de tipo transversal en la clasificación descriptiva y exploratoria, donde se observaron características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas del espacio de disposición final como también sobre impacto de la disposición final en la naturaleza del acuífero y la periferia del espacio de disposición final. Los resultados de las características hidrológicas e hidrogeológicas, evaluadas por medio a los indicadores físicos se reportó que están dentro de los parámetros normales, mientras que en los químicos que el decantador y TH_02 presentar valores fuera de

los parámetros conductibilidad eléctrica, cloro, sodio, nitrito, hierro y zinc, poniendo en evidencia efecto de la disposición sobre la hidrología e hidrogeología. Finalmente para el análisis bacteriológico reportan alteraciones para coliformes fecales y totales TH_01, TH_02, TH_03 y el decantador. Al aplicar la matriz de Leopold y Conesa (1996), efecto en los factores físico: agua, para ecológico en los agroecosistemas.

Palabras Claves: hidrogeología, espacios de disposición final de residuos sólidos, vertederos, residuos sólidos, impacto en los acuíferos, geología, hidrología.

Abstract

This hydrogeological characterization was carried out in the Sánchez Ramírez province, specifically in the municipality of Cotuí, in order to see the impact generated by solid waste in the hydrogeology of the landfill and its periphery. The main objective was to determine the behavior of the hydrogeological characteristics in the periphery of the final disposal space of solid waste in the municipality of Cotuí, where the geology of the final disposal space for solid waste was specifically described, hydrological characteristics were analyzed and Hydrogeological studies of the final disposal space for solid waste and the impact of the final disposal of solid waste on the quality of the aquifer and the periphery of the final disposal space were measured. The deductive method was applied, starting from the norms and requirements for spaces of final disposition of solid waste until the impact that has been generated in the hydrogeology of the space of final disposal of Cotuí, the non-experimental design of transversal type in the descriptive classification and exploratory, where geological, hydrological and hydrogeological characteristics of the final disposal space were observed as well as on the impact of the final disposal on the nature of the aquifer and the periphery of the final disposal space. The results of the hydrological and hydrogeological characteristics, evaluated by means of the physical indicators, are reported to be within the normal parameters, while in the chemicals that the decanter and TH_02 present values outside the parameters electrical conductivity, chlorine, sodium, nitrite, iron and zinc, highlighting the effect of the provision on hydrology and hydrogeology. Finally, for the bacteriological analy-

sis they report alterations for fecal and total coliforms TH_01, TH_02, TH_03 and the decanter. When applying the matrix of Leopold and Conesa (1996), the effects on physical factors: water, for ecological appeared in agroecosystems.

Keywords: hydrogeology, final disposal spaces for solitary waste, landfills, solid waste, impact on aquifers, geology, hydrology.

Introducción

La generación de residuos sólidos en Sánchez Ramírez ha sido objeto de varios análisis, Calbo (2008), presentó en el informe preliminar de la caracterización de residuos sólidos, resaltando que la composición era 64.09% orgánicos y 35.91% inorgánicos, con notables diferencias entre los municipios y distritos municipales, ya que estos últimos alcanza hasta proporciones de 75 % y 25%.

La tendencia de la generación de residuos sólidos en el municipio de Cotuí, es creciente, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de Residuos Sólidos y Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (2017), estima que el municipio genera alrededor de 110.71 toneladas diaria. Por su lado, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Universidad Católica Madre y Maestra (2015) reportaron que la problemática de la disposición final de residuos sólidos se caracteriza porque los lugares seleccionados no cuentan con las condiciones adecuadas para ser utilizados como vertederos.

Por su lado, el informe de la Compañía Guzmán y Then, Velásquez (2011), reportó que las estadísticas compiladas por la Dirección Provincial del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010) son similares los resultados de la Encuesta Demográfica y de Salud del Centro de Estudios Sociales y Demográficos (CESDEM) y las Estadísticas del Censo

de Población y Vivienda (Oficina Nacional de Estadística, 2010) las cuales se pueden resumir en 65.86% de residuos orgánicos constituidos por desperdicios de alimentos (32,57%), hierbas y madera (20,89%) y papel y cartón (12.36%). Mientras que el 34,14% de inorgánicos lo representaron: plásticos (18,9), botellas y vidrios (6.55), metales (2,66), tierra y escombros (3,59), textiles (1,4), gomas y pieles (1,04) y otros (0,05).

En ese orden, el Consejo Provincial para la Administración de los Fondos Mineros de Sánchez Ramírez, Inc. (2015) reportó que el cálculo de la generación de residuos sólidos para los nueve (09) distritos municipales de la provincia Sánchez Ramírez para el 2012 en la provincia se producían 100.55 toneladas /día. El proceso de recolección y transporte de residuos sólidos a su destino final se encuentra a cargo del ayuntamiento de cada municipio. En total, el volumen de recolección de residuos en la provincia, considerando todas las municipalidades, es de 88.04 toneladas por día, con un índice de recolección de 66% del total de los residuos sólidos (FOMISAR, 2014).

El depósito de residuos sólidos del municipio de Cotuí se muestra en la figura 1, la misma se corresponde con el paraje Breña, adscripto al distrito municipal Platanal, específicamente en las coordenadas UTM 21099800 Norte, 303750 Este, una elevación de 60 msnm. Este funciona a cielo abierto en una extensión territorial de 110.71 tareas que equivalente a 6.9 hectáreas. Según la (Oficina Nacional de Estadísticas, 2018) estimó que la provincia Sánchez Ramírez tiene población aproximada de 152,069 habitantes, distribuidos en los siguientes municipios: Cotuí (76,896), Cevicos (13,820), Fantino (22,217) y Villa La Mata (39,136). Según los registros de la Gerencia Provincial Sánchez Ramírez del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018), la provincia Sánchez Ramírez cuenta con tres (3) espacios formales de disposición de residuos sólidos, los cuales están ubicados en Cotuí, Cevicos y Fantino con el agravante de que ninguno de estos vertederos cuenta con licencia ambiental.



Fuente: Imagen tomada de Google Earth, en febrero del 2018.

Figura 1. Lugar de disposición de residuos sólidos de Cotuí, 2018.

En el depósito de Cotuí, se han iniciado trabajo para mejorar el servicio, en virtud del creciente volumen recibido (Ynoa, 2017). Además, este ser el más importante de la provincia dado que recibe residuos sólidos desde Villa La Mata, Angelina, La Bija, Platanal, Zambrana y Pimentel.

En varias visitas realizadas al vertedero en días posteriores a las lluvias torrenciales se observaron flujo superficial de lixiviado, lo que requiere especial control porque podría impactar en la hidrología, pues estos son generados en el fondo de los vertederos y según las características edafológicas, geológicas y morfológicas pueden favorecer la filtración vertical contaminando las aguas subterráneas o la escorrentía contaminando las aguas superficiales (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994).

En ese sentido, la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014) planteó que la gestión inadecuada de residuos sólidos urbanos puede generar impactos ambientales como son: presencia de patógenos, proliferación de insectos y roedores, degradación estética del paisaje, emisiones de olores

nauseabundos, producción de lixiviados y de gases con efecto invernadero que contribuyen al cambio climático; con los consecuentes riesgos derivados para la salud pública y los peligros de deterioro de la calidad de: aire, suelo y aguas tanto superficiales como subterráneas.

Al analizar las proyecciones de las estadísticas poblacional para los años 2018 al 2030 de la Oficina Nacional de Estadísticas (2016), se verifica una tendencia creciente en la población, las mismas, al ser cruzadas con las proyecciones de (Franco, Acosta, Grullon, & Paula, 2012) se vislumbra que pesar de los programas de reducción puesto en marcha desde las municipalidades y las extracciones que realizan los recicladores y reutilizadores formales e informales la generación de residuos sólidos continuará creciendo y demandando de más espacios para la disposición final.

Caracterizar el depósito de residuos sólidos en el municipio de Cotuí en sus aspectos: geológico, hidrológico e hidrogeológico, tiene su valor práctico, debido a que constituye una línea base para la gerencia del ayuntamiento e instituciones responsables, tomar decisiones eficientes a la hora de mejorar la disposición final y reducir sus efectos en los ecosistemas y comunidades periféricas. Los estudios de la hidrogeología de los espacios de disposición de residuos sólidos requieren de: levantamiento topográfico, mapa de isopiezas, análisis físicos, químicos y bacteriológicos. Según los datos presentados en el anexo 2 sobre el costo de la red de recolección de datos y análisis de rocas y agua, se requirió limitar la investigación al vertedero de Cotuí.

Metodología

Esta investigación correspondió con el diseño no experimental, donde se observó el comportamiento de las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas del espacio de disposición final, e impacto de la disposición final en la naturaleza del acuífero y la periferia el espacio de disposición final. Fue de tipo transversal, dado que se midió en un tiempo específico de febrero a diciembre del 2018 con levantamiento de datos

durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del mismo año, dentro de la clasificación descriptiva y exploratoria. El enfoque aplicado ha sido mixto, se trabajó con datos cuantificables como en la naturaleza de las variables hidrológicas, hidrogeológicas e impacto en la naturaleza del acuífero, y con datos cualitativos para las características geológicas y geotécnicas.

El método utilizado fue el deductivo, se analizaron teoremas, leyes y principios que cumplen en la selección de los espacios de disposición final de residuos sólidos, en lo relativo a características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, para plantear mejoras orientadas a reducir el impacto en la naturaleza de los acuíferos circundantes.

La investigación se desarrolló en tres etapas:

Primera etapa: Elaboración del estado del arte y análisis documental, se partió de una profunda y exhaustiva búsqueda de información a través de consultas a la alcaldesa, o su representante, y gerentes o encargados de manejo de residuos sólidos; consultas con doctores expertos como Iñaki Vadillo, Marco Bezzi y Marco Ragazzi; análisis de la memoria geológica del Servicio Nacional Geológico (2007), los mapas geológicos y topográficos pertenecientes a los cuadrantes 6173 y 6172.

Segunda etapa: Trabajo de campo para la recolección de datos relativos a:

a) Características geológicas

- 1) Características litológicas:** Se definió la litología a través de la descripción macroscópica de los afloramientos presentes dentro y alrededor de los espacios de disposición final, esto se realizó con la ayuda de lupa para observar los minerales, además del rayador para describir la dureza se aplicó ácido clorhídrico (HCl) para determinar el contenido de carbonatos en la roca. La finalidad de conocer la litología es entender como incide la misma en el comportamiento hídrico de la zona, realizando una correlación de las litologías presentes con las del mapa de hidrología nacional.

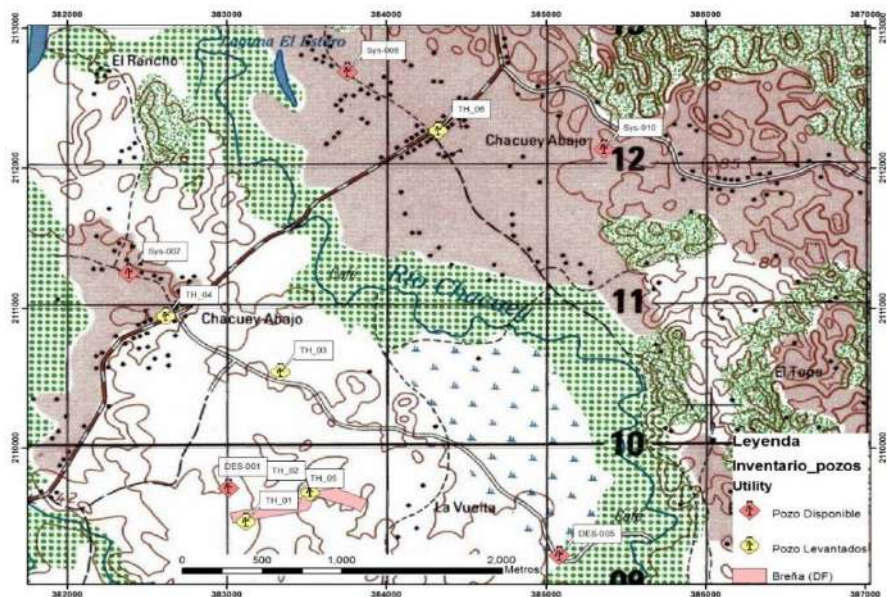
2) **Suelo:** las características físicas y químicas del suelo han sido definidas a través de un muestreo sistemático en formato de cuadrícula espaciada a 100 por 50 metros dentro del espacio de disposición final donde los aspectos físicos del suelo fueron definidos y descritos mediante las normativas de clasificación establecidas por la Sociedad Americana para Prueba y Materiales (ASTM D2248).

b) Características hidrológicas, hidrogeológicas

1) **Inventario de fuente de agua:** Se realizó con el propósito de identificar los puntos donde circula agua superficial y donde se capta aguas subterráneas, mediante un levantamiento de campo con ayuda de GPS y libreta de apuntes para la toma de cotas del terreno y coordenadas de ubicación en UTM (Universal Transverse Marcator), así como la descripción del entorno.

2) **Toma de muestras para análisis de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas:** En cada sitio de muestreos se tomaron fotografías, se registró Sistema de Posicionamiento Global marca Garmin GPSMAP y se midieron parámetros puntuales como: temperatura (T), potencial redox (Eh), conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrógeno (PH) con la ayuda del equipo multiparámetro HANNA 9828 (ver anexo7), y oxígeno disuelto (OD) con la ayuda del medidor de oxígeno disuelto Milwaukee 600.

Se tomaron muestras en envases plásticos de 1 litro con ayuda de guantes, se almacenó una parte en una nevera a una temperatura 4°C y se envió a los laboratorios para análisis físico-químicos: potencial de hidrógeno (pH), conductibilidad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), alcalinidad, calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg), Cloro (Cl), sulfato (SO₄), nitratos (NO₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), Trióxido de Carbono (CO₃), Bicarbonatos (HCO₃), bacteriológicos (coliformes fecales y totales) y metales pesados (Cu, Zn y Fe).



Fuente: Mapa elaborado por los sustentantes, sobre el mapa topográfico del Instituto Cartográfico Militar.

Figura 2: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de agua para evaluar las características físicas, químicas y bacteriológicas en el espacio de disposición final de residuos sólidos del municipio de Cotuí, 2018.

- **Muestreo en pozos de agua:** Se seleccionaron los pozos de las periferias a los vertederos de Cotuí (figura 2). Se tomó en cuenta extraer la muestra de agua sólo después que el pozo haya sido bombeado por lo menos durante 15 minutos, para asegurar que la muestra representa la calidad de la fuente de agua subterránea (Bolívar, 2011).
- c) **Impacto de la disposición final en la naturaleza del acuífero y en la periferia del espacio de disposición final**
- **Identificación de las acciones del espacio de disposición final y de las componentes del medio afectado:** Se realizó una evaluación visual en las dimensiones físicas, biológicas, culturales y ecológicas resaltando cada uno de sus componentes y las acciones que tenían influencias en el impacto de la naturaleza del acuífero y en la periferia del espacio de disposición final. Por otro lado, se tomaron en cuenta las

características hidrológicas e hidrogeológicas que fueron evaluadas en campo y en los laboratorios.

- **Estimación de la magnitud del impacto:** en base a las acciones identificadas en cada componente se estimó cada una de ellas según su naturaleza, intensidad, extensión, momento, persistencia, recuperabilidad, efecto, reversibilidad, sinergia, acumulación, periodicidad.

Tercera etapa: Trabajo de Laboratorio

a) Geología: Las muestras de suelo fueron analizadas mediante el uso de dos técnicas distintas:

- 1) **Granulometría:** Las muestras fueron procesadas por los sustentantes en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental donde fueron analizadas para determinar la granulometría del suelo mediante tamizaje con el uso del equipo Matest Shieve Shaker.
- 2) **Porosidad, las muestras de suelo han sido analizadas mediante el método directo donde se aplicó agua a un volumen conocido de muestra de suelo hasta que los espacios vacíos quedaran completo.**

Donde:

n: porosidad del suelo
$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

Vv: Volumen de vacíos

Vt: Volumen total

b) Hidrología e Hidrogeología: Las muestras de aguas fueron analizadas mediante el uso de tres técnicas distintas:

Dos muestras fueron remitidas al laboratorio del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) ubicado en Santo Domingo, República Dominicana a los fines de determinar: en la primera muestra para determinar los aniones y cationes, la cual permitió determinar la proporción de elementos mayores en el agua, la segunda muestra para los análisis bacteriológicos (coliformes totales y agentes bacterianos), se seleccionaron muestras ubicadas en puntos críticos de influencia del verte-

dero con relación al medio hídrico. Una tercera muestra fue remitida al departamento laboratorio de control de calidad de EnviroGold Las lagunas Limited para realizar análisis de absorción atómica, a los fines de conocer la proporción de metales pesados presentes en el agua.

En cuanto al método y técnicas de análisis de datos, las variables características geológicas e hidrogeológicas en torno a datos espaciales, fueron analizadas con ArcGis, que es un Sistema de Información Geográfica desarrollado por el Instituto de Investigaciones de Sistemas Ambientales (ESRI). A través del mismo se confeccionaron los mapas temáticos y análisis espacial de los resultados del muestreo.

Para el análisis de las variables características hidrológicas e hidrogeológicas, en torno a la calidad de agua, se presentaron mapas temáticos con simbología graduada donde se presentan los valores de cada elemento en proporción a su tamaño y color. Los puntos de agua fueron georreferenciados utilizando un Sistema Global de Posicionamiento GPS. Se registraron las coordenadas UTM (Universal Transverse Marcator). Las concentraciones de cationes y aniones de las muestras de aguas superficiales y subterráneas fueron expresadas en mg/l. El análisis de datos incluyó la determinación del tipo de agua según la realización de diagramas Piper, estos resultados fueron expresados en esquemas de concentración de cationes y aniones que clasifican las aguas de acuerdo a su composición. Desarrollo de modelo: A través del programa Diagrammes (De uso libre) se determinaron los distintos tipos de aguas superficiales y subterráneas utilizando los parámetros que fueron medidos "in situ" y en laboratorio, en la campaña de muestreo realizado en el mes de noviembre del 2018.

Para el impacto de la disposición final en la calidad del acuífero y en la periferia se ha realizado una combinación de la matriz de Leopold y el método cualitativo de Conesa. La matriz de Leopold es una técnica que consiste en la evaluación de impactos siguiendo una serie de pasos: 1. identificación de las acciones del proyecto y de las componentes del medio afectado; 2. estimación subjetiva de la magnitud del impacto, en una escala

de 1 a 10, siendo el signo + un impacto positivo y el signo - uno negativo, y 3. evaluación subjetiva de la importancia, en una escala de 1 a 10 (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971). Aplicando el análisis de Conesa (2010), se procedió a determinar la importancia de cada impacto según la ecuación:

$I = \mp [(3 \ln) + (2 \text{ Ex}) + \text{Incidencia (In)} + \text{Extensión (Ex)} + \text{Momento (Mo)} + \text{Persistencia (Pe)} + \text{Recuperabilidad (Rc)} + \text{Efecto (Ef)} + \text{Reversibilidad (Rv)} + \text{Sinergia (Si)} + \text{Acumulación (Ac)} + \text{Periodicidad (Pr)}]$. El índice de importancia calculado para cada acción, se ha hecho una clasificación según la categoría de valor que se presentan en el cuadro 3

Cuadro 3. Escala de interpretación de la metodología cualitativa, Conesa (2010), que aplicó para determinar el impacto disposición final en la calidad del acuífero y en la periferia en el paraje Breña, distrito municipal de Platanal, municipio de Cotuí, 2018.

Categoría	Calificación
Irrelevante	<25
Moderado	25-50
Severo	50-75
Crítico	>75

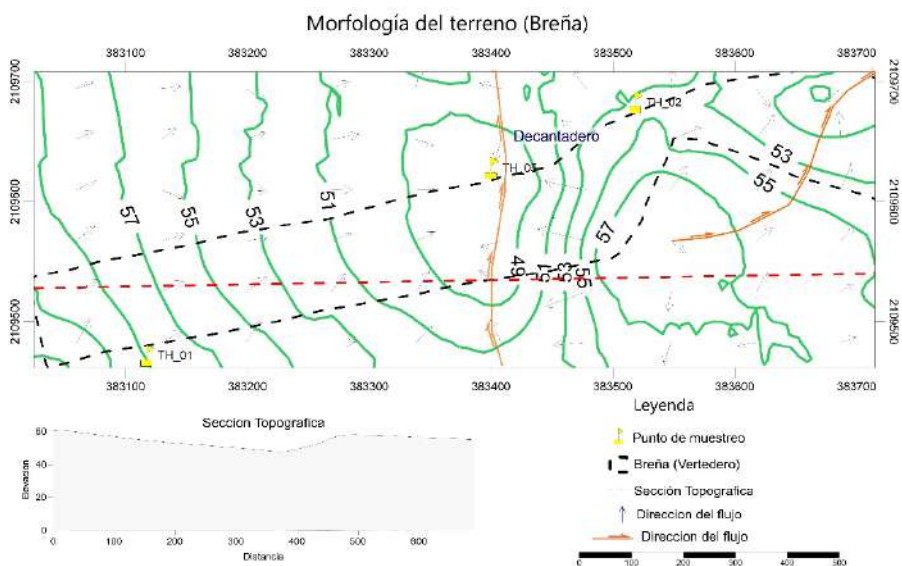
Fuente: Ruberto, 2006

Resultados

a) Características geológicas del espacio de disposición final de residuos sólidos

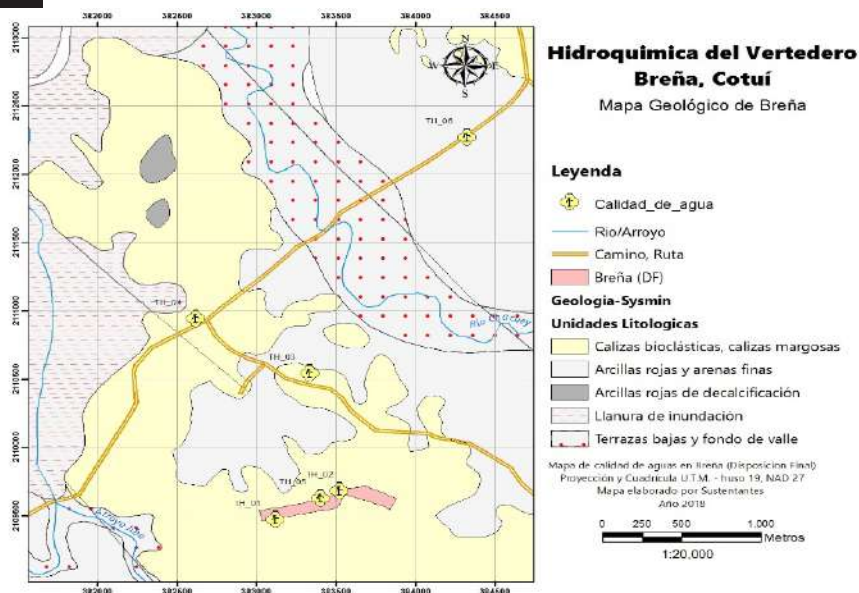
Al analizar la pregunta ¿Cuáles son las características geológicas del destino final de residuos sólidos en Cotuí? se encontró que la zona de estudio está influenciada principalmente por los bajos desniveles pertenecientes a las planicies de la cuenca del Yuna. Los niveles topográficos de la zona están condicionados por zonas estructurales principales, oscilando entre los 47 y los 65msnm (Figura 3). La red de drenaje superficial está dominada por la presencia de los ríos; Chacuey, Maguaca y el arroyo

Jibe (Figura 4). La presencia de calizas bioclásticas con marga de 5m, además de la existencia de arena y clastos de calizas, y una porosidad variada de 0 a 0.4% ponen en evidencia que geológicamente en el vertedero del municipio de Cotuí se requieren acciones rápidas que permitan atender la escorrentía y la infiltración (Figura 5). En ese orden, García (2014) reportó que los vertederos no deben ser ubicados en zonas afectas por procesos cársticos de desarrollo vertical y horizontal. Además, deben evitarse terrenos de permeabilidad media o alta. La porosidad del suelo en los primeros centímetros de profundidad determina en gran medida la infiltración y el escurrimiento del agua que condiciona su transporte hacia niveles superficiales o profundos. Los suelos con alto contenidos de calizas son de alta porosidad, en el caso de Breña de alcanzan hasta los 0.4% que facilitan la infiltración. Es decir, que la ubicación del vertedero de Cotuí sobre un ambiente cárstico, geológicamente, plantean la necesidad de establecer medidas de control para reducir su impacto en las aguas superficiales y subterráneas.



Fuente: Elaborada por los sustentantes a partir de los datos del levantamiento RTK.

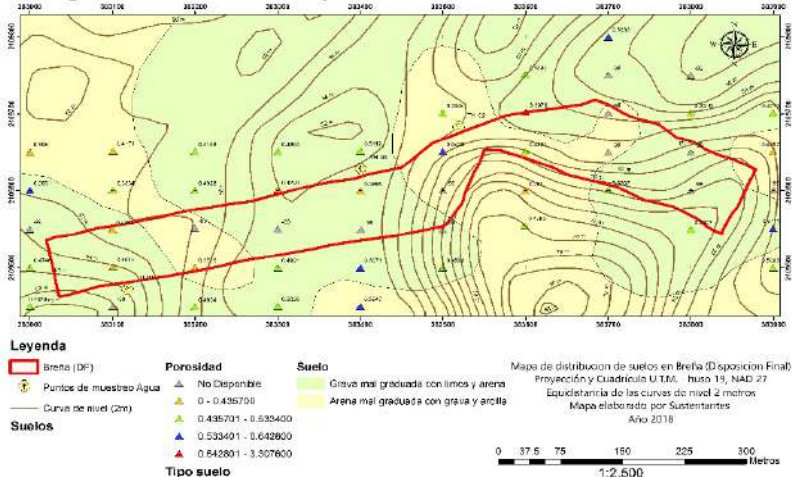
Figura 3: Características de la morfología del suelo el espacio de disposición final de residuos sólidos, paraje Breña, distrito municipal de Platanal, municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez República Dominicana, 2018.



Fuente: Elaborada por los sustentantes a partir de los datos del mapa geológico 6173-II, verificado a través de los datos levantados en campo.

Figura 4: Mapa de distribución de la litología que caracteriza el espacio de disposición final de residuos sólidos, paraje Breña, distrito municipal de Platanal, municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez República Dominicana, 2018.

Geología del vertedero: Mapa de distribución del suelo



Fuente: Elaborada por los sustentantes a partir de los resultados del muestreo de suelo en el campo.

Figura 5: Mapa de distribución de suelo del espacio de disposición final de residuos sólidos, paraje Breña, distrito municipal de Platanal, municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez República Dominicana, 2018.

b) Características hidrológicas e hidrogeológicas del espacio de disposición final de residuos sólidos

Al analizar ¿Cuáles son las características hidrológicas e hidrogeológicas del destino final de residuos sólidos en Cotuí?, se encontró que desde un punto de vista general los indicadores de las características hidrológicas e hidrogeológicas registrados en los pozos evaluados están dentro de los parámetros máximos permisibles según las Normas Ambientales sobre Calidad de Aguas Subterráneas y Descargas al Subsuelo, con excepción del punto de muestreo TH_05 que se ubica en la zona del decantador construido a los fines de acumular el lixiviado.

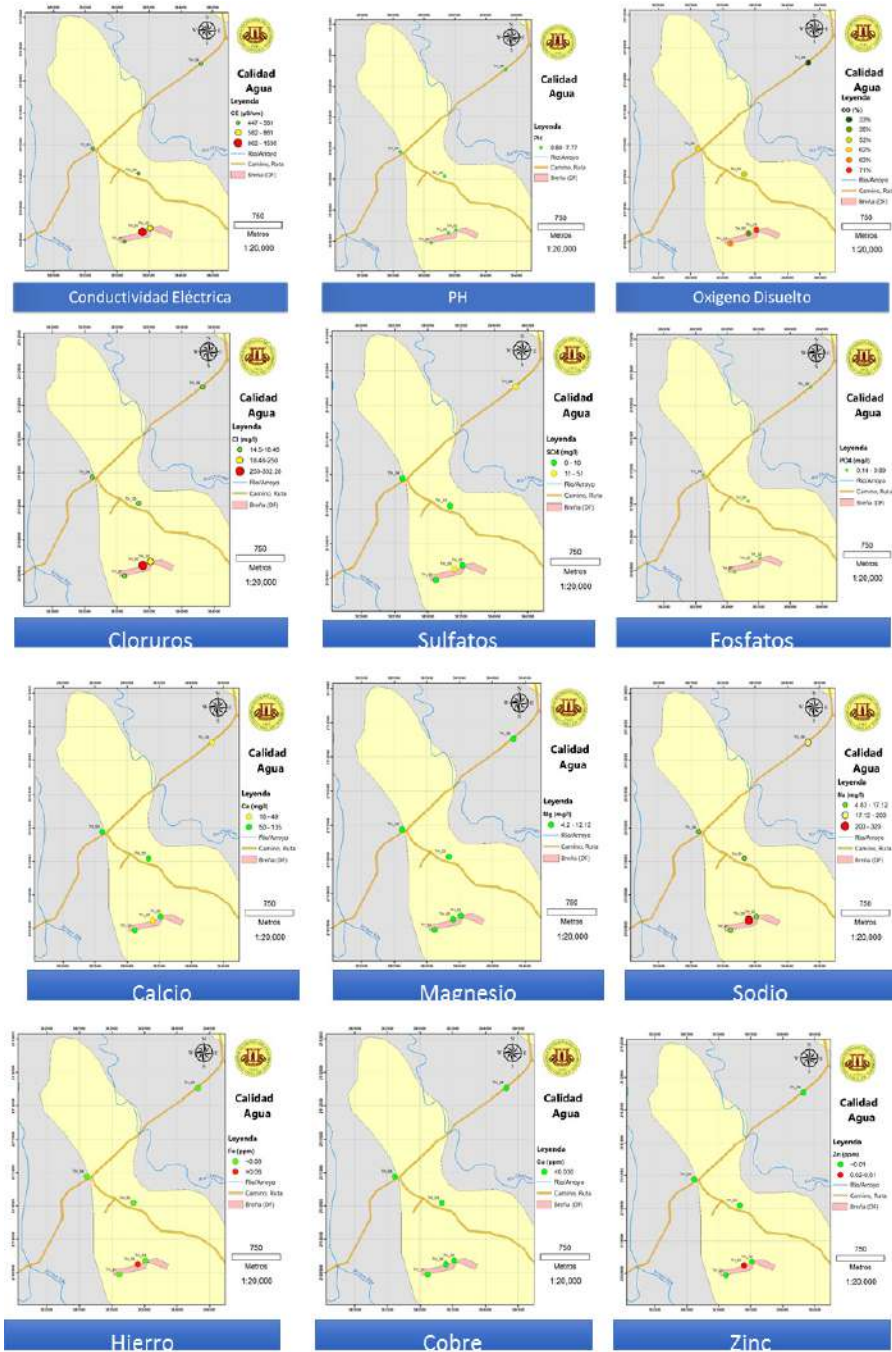
Las características hidrológicas e hidrogeológicas evaluadas se agrupan en tres dimensiones: físicas, químicas y bacteriológicas. Desde el punto de vista físico los parámetros para sólidos disueltos totales y el potencial redox (Eh) valores positivos del potencial indican que en el sistema predominan las condiciones oxidantes, mientras que los valores negativos indican que en el sistema predominan las condiciones reductoras. El Ministerio del Ambiente de Perú, (2008) los estudios hidrogeológicos son determinantes para identificar la posibilidad de existencia de acuíferos superficiales, la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, la dirección y la velocidad del escurrimiento o flujo de la misma. Los resultados reportan que las aguas de los pozos y el decantador son distintas, las aguas de los pozos presentan características bicarbonatadas con magnesio que se corresponde con las rocas calizas bioclásticas de la zona, mientras que el lixiviado es sulfatado sódico propio de los residuos sólidos.

Los valores de cloro registrado en los puntos TH_02 TH_05 por encima de 250 mg/l. ponen en evidencia cierta influencia de los residuos sólidos, el punto TH_02 está ubicado en las proximidades. Lo que indica que el pozo seleccionado TH_02 evidencia niveles de contaminación. Según Al-hajjar et al. (1990) puede tener origen fecal. Asimismo, el nitrito tiene un rango entre 0.013 y 0.04 mg/l, los cuales según la norma de calidad de agua subterránea y de descargas al subsuelo del país estos

valores están por debajo del valor máximo admisible que es de 3.00 mg/l. (Hem, 1985) considera que se encuentran dentro de los valores normales. A medida que se incrementa la concentración de OD, el Eh también aumenta y puede llegar a alcanzar valores próximos a +700 mV. Los valores de potencial negativo (<100 mV) se asocian a la ausencia de oxígeno y a la presencia de sulfuros en agua y otras sustancias reductoras. La relación entre el OD y el Eh es particularmente observada en ambientes acuáticos eutróficos, en cuerpos de agua con un contenido elevado de materia orgánica y en cuerpos de agua con una marcada estratificación térmica (Fuentes & Massol-Deyá, 2002)

Desde el punto de vista bacteriológico, se encontró que las bacterias coliformes se encuentran comúnmente en el medioambiente. Para coliformes totales en los puntos TH_03 (920 NMP/100 ml) y el TH_05 (17,000 NMP/100 ml), la norma recomienda que este valor sea menor de 100 NMP/100 ml. En cuanto a los coliformes fecales los puntos TH_02 (4.5 NMP/100 ml), TH_03 (220 NMP/100 ml) y TH_05 (4800 NMP/100 ml), superan los 3 NMP/100 ml permitidos por las normas dominicanas.

La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Es decir que las características de las aguas de las proximidades del vertedero muestran valores anormales para propiedades físicas, químicas y bacteriológicas, poniendo en evidencia que existen factores que alteran los valores permitidos por las normas dominicanas. En el caso de cloro y sodio en el decantador y el punto TH_02 ponen en evidencia que el comportamiento de las características hidrogeológicas en la periferia del espacio de disposición final, ha iniciado a ser impactada por la disposición final de residuos sólidos.



c) Impacto en la calidad del acuífero y la periferia del espacio de disposición final de residuos sólidos

En el cuadro 4. Se presentan el análisis de impacto, siguiendo la metodología de Leopold, desde el punto de vista físico, biológico, cultural y ecológico los impactos del espacio de disposición final de residuos sólidos en la naturaleza del acuífero y la periferia varían en una importancia irrelevante a moderada, debido a que es un vertedero relativamente joven y pequeño con aproximadamente 12 años y una extensión (6.9 ha), en una zona poco poblada, a una distancia considerable de los ríos y los arroyos.

Para las aguas superficiales, los impactos son moderados, pues se trata de un vertedero a cielo abierto donde se han generado modificaciones en la cobertura terrestre, lo que directamente ha alterado el drenaje. Además, el lixiviado generado hace escorrentía superficial, lo que modifica en la composición del flujo.

Por otro lado, el agua subterránea se ha visto impactada moderadamente por el lixiviado que filtra directamente en el decantador y por los coliformes totales y fecales que están presentes en cada uno de los pozos muestreados. En cuanto al acuífero reporta impactos irrelevantes, una parte de los parámetros fisicoquímicos están dentro de las normas ambientales con la excepción del decantador que impacta directamente el acuífero con altos valores en Na^+ , Cl , NO_3 , sólidos disueltos, conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio (RAS), efectos que se han visto reflejado en los pozos cercanos al vertedero. Uno de los casos de impactos negativos son los altos valores de NO_3 (Nitratos) que, aunque no sobrepasan los límites de la normativa de 45 mg/l, se ha considerado internacionalmente a través de diversos estudios realizados que el contenido de nitratos en las aguas naturales no supera los 10 mg/l, valores superiores están relacionados a actividades antrópica, lo que se puede evidenciar en los resultados en el pozo TH_01 con 14.52 mg/l y en el TH_02 con 11.47 mg/l.

En el suelo los residuos sólidos y el lixiviado generado tienen un impacto directo en su composición con una importancia moderada, pues se trata de un suelo mal graduado que en su mayoría se compone de grava con limos y arenas, y una arena con grava y arcilla.

En la dimensión biológica, la flora y la fauna se han visto impactada moderadamente debido a la disposición de residuos sólidos, la deforestación y el lixiviado, impactos que son inevitables en un vertedero a cielo abierto.

Desde el aspecto cultural, el uso de territorio tiene un impacto moderado en su mayoría, pues las alteraciones en el drenaje y la disposición de residuos sólidos hacen que el lixiviado interactúe con las actividades de agricultura y ganadería que se llevan a cabo en los alrededores de Breña, más sin embargo la zona residencial tiene un impacto irrelevante por su lejanía al vertedero. Desde la dimensión ecológica tiene una importancia moderada y se debe al impacto visual de la disposición de residuos sólidos que modifican totalmente el paisaje.

Cuadro 1: Matriz de Leopold para el espacio de disposición final de residuos sólidos de Cotuí, sólidos, paraje Breña, distrito municipal de Platanal, municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez República Dominicana, 2018.

Dimensiones	Indicadores		Acciones a considerar	Importancia
Físico	Agua	Superficiales	Alteración del drenaje	Moderado
			Modificación del flujo	Moderado
			Disposición de residuos sólidos	Moderado
			Lixiviados	Moderado
			Alteración de la cobertura terrestre	Moderado
		Subterránea	Alteración del drenaje	Irrelevante
			Disposición de residuos sólidos	Irrelevante
			Lixiviados	Moderado
			Conductividad eléctrica	Irrelevante
			pH	Irrelevante
			Calcio (Ca)	Irrelevante
			Magnesio (Mg)	Irrelevante
			Alcalinidad (Alk)	Irrelevante
			Sodio (Na)	Irrelevante
			Cloro (Cl)	Irrelevante
			Sulfatos (SO_4)	Irrelevante
			Nitratos (NO_3)	Irrelevante
			Cobre (Cu)	Irrelevante
			Zinc (Zn)	Irrelevante
			Hierro (Fe)	Irrelevante
			Coliforme totales	Moderado
			Coliformes fecales	Moderado
			Sólidos disueltos	Moderado
	Suelo		Disposición de residuos sólidos	Moderado
			Lixiviados	Moderado
Biológico	Flora	Microflora	Alteración de la cubierta terrestre	Moderado
			Disposición de residuos sólidos	Moderado
			Lixiviados	Moderado
			Deforestación	Moderado
	Fauna	Aves, mamíferos, anfibios y réptiles	Alteración cubierta terrestre	Moderado
			Deforestación	Moderado
Cultural	Usos del territorio	Agronomía	Disposición de residuos sólidos	Moderado
			Alteración drenaje	Moderado
			Lixiviados	Moderado
		Zona residencial	Disposición de residuos sólidos	Irrelevante
			Lixiviados	Irrelevante
Ecológico		Composición del paisaje	Disposición de residuos sólidos	Moderado

Al analizar ¿Cuál es el impacto de los residuos sólidos en la calidad del acuífero y la periferia del espacio de disposición final en Cotuí? se evidencia que 9 de las 21 acciones incluidas para agua alcanzaron clasificación importancia moderada. Las dos acciones de suelo poseen importancia moderada. Es decir, que en el contexto físico existe efecto moderado. Mientras que los aspectos ecológicos, biológicos están siendo impactados. En cuanto a lo cultural el mayor impacto, alto impacto en actividades agrícolas y baja para las zonas residenciales.

Tomando en consideración las características geológicas, los resultados de la evaluación hidrológica e hidrogeológica y la valoración de la matriz de Leopold el espacio de disposición final, requiere de monitoreo, seguimiento e intervenciones puntuales que mitiguen el impacto actual y prevengan eventos futuros. Entra las cuales se deben incluir: levantamiento topográfico de la zona a detalle con imagen de detalle, levantamiento de niveles piezométricos de agua y elaboración de un mapa de isopiezas, un plan de perforación de pozos a distancias graduales (15, 30, 60 y 100 metros) del vertedero en dirección a la línea de flujo del acuífero, construcción de calicatas a dos metros de profundidad entre pozos, muestreo periódico de los pozos y lixiviado del vertedero.

Conclusiones

Basado en los resultados de los trabajos de campo, análisis de laboratorio y las condiciones de la zona de ubicación espacio de disposición final de residuos sólidos en Cotuí, se arriban a las siguientes conclusiones: Para el objetivo general determinar el comportamiento de las características hidrogeológicas en la periferia del espacio de disposición final de residuos sólidos, se concluye que el lixiviado y las alteraciones sobre las propiedades químicas y bacteriológicas fluyen en dirección sur norte, siendo favorecida por las características de morfología y la geología por sus características karsticas y arcilla férrica.

En lo relativo a describir la geología del espacio de disposición final de residuos sólidos en Cotuí, se encontró que el ver-

tedero enclavado sobre un ambiente kárstico, geológicamente, por tanto, demanda medidas de control para reducir su impacto en las aguas superficiales y subterráneas.

Al analizar las características hidrológicas e hidrogeológicas los indicadores físicos de calidad en los seis puntos registraron valores dentro de los parámetros normales. Mientas los químicos reportan alteraciones específicamente en los puntos del decantador y TH_2, está siendo impactado por el vertedero. Las características bacteriológicas presentan alteraciones en diferentes puntos, lo que indica que existen actividades humanas que alteran los valores normales.

En lo referente a medir el impacto de la disposición final de residuos sólidos en la calidad del acuífero y la periferia se concluye que existen impacto moderado para indicadores de agua, suelo, biológico, actividades agrícolas y ecológico.

Al evaluar la hipótesis de que las características hidrogeológicas en la periferia no están siendo influenciadas por la disposición final de residuos sólidos en el municipio de Cotuí. No se acepta, ya que al menos el punto TH-2 y el decantador registran alteraciones para características químicas y bacteriológicas.

Recomendaciones

Al ayuntamiento del municipio de Cotuí aunar esfuerzos con las instituciones de desarrollo y gestionar:

- a) Implementar acciones con la participación de la sociedad civil, instituciones y organización para implementar programas orientados al manejo con visión sostenible y reducir la cantidad de residuos que llega al espacio de disposición final.
- b) Convertir el actual espacio de disposición final en un relleno sanitario acorde con los estándares ambientales nacionales e internacionales y operación con el monitoreo, seguimiento y evaluación que establecen las normas dominicanas.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, a través del Decanato de Investigación, seleccionar un equipos de in-

vestigadores formular un proyecto y gestionar recursos para evaluar las áreas periféricas a los espacios de disposición, incluyendo levantamiento topográfico detallado, levantamiento de niveles piezométricos de agua y elaboración de un mapa de isopiezas, un plan de perforación de pozos a distancias graduales (15, 30, 60 y 100 metros) en dirección a la línea de flujo del acuífero, construcción de calicatas a dos metros de profundidad entre pozos, muestreo periódico de los pozos y lixiviado del vertedero.

Referencia

- Oficina Nacional de Estadísticas. (2018). Proyección de la población por Provincia 2018-2030. From www.ONE.gob.do
- Acosta, N. (2014). Diagnóstico Uso de Suelo y Medio Ambiente de Sánchez Ramírez, para el Plan de Desarrollo Estratégico, Informe Preliminar.
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón; Nippon Koei Co., Ltd.; Nippon Koei Latin America-Caribbean Co., Ltd. (2017). Proyecto de fortalecimiento de la capacidad institucional en el manejo de residuos sólidos a nivel nacional en la República Dominicana. Santo Domingo.
- Al-Arif, N. S., Al-Agha, M. R., & El-Nahhal, Y. Z. (2013). Impacto ambiental de vertedero en aguas subterráneas, sureste de Riad, Arabia Saudita. *Arabia Saudita: Journal of Natural Sciences Research*.
- Alfonso, M. (2016). Selección de sitios intermunicipales para rellenos sanitarios mediante un modelo de soporte de decisiones espaciales. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alonso, F. J. (2010). Propiedades físicas: densidad y porosidad. Asturias, España: Universidad de Oviedo, Departamento de Geología.
- Al-Shaibani, A. (2008). Hydrogeology and hydrochemistry of a shallow alluvial aquifer.
- Alvarez, P. (2005). Barreras artificiales para la protección de centros de cultivos acuícolas. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

- American Society for Testing and Material. (n.d.). Standard Practice for Description and Identification of Soils. USDA.
- American Society for Testing and Materials. (2009). Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure). USDA - Natural Resources Conservation Service.
- Analítica. (2014). Analítica Inteligencia Estratégica & Económica. From Analítica Inteligencia Estratégica & Económica: <https://www.analytica.com.do/>
- Barba, L. E. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Cali, Colombia: UNIVERSIDAD DEL VALLE FACULTAD DE INGENIERÍAS.
- Barra, L. (2013). Hidráulica de pozos. Chile: Universidad Católica De Chile.
- Bautista, D. (2018, abril 6). Alcalde del Ayuntamiento Municipal de Fantino, Disposición Final de Residuos Sólidos en Fantino. (Sustentantes, Interviewer)
- Bernache, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región Centro Occidente de México. Guadalajara, Jalisco: Rev. Int. Contam. Ambie. 28 Sup.
- Bolívar, C. (2011). Manual de procedimientos de toma de muestra para análisis fisicoquímico y microbiológico.
- Bonifacio, A. (2006). Estudio de los factores ambientales para estabilización de un relleno sanitario en Cuatro Ciénegas, Coahuila. Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" División Ingeniería, Departamento de Ciencia y Suelo.
- Bruckler, L. (1998). Les transferts dans le sol. Paris: l'Institut National de la Recherche Agronomique.
- Calbo, F. (2008). Diagnóstico para la gestión de residuos sólidos en la Provincia Sánchez Ramírez, Arco La Cibirma, en coordinación con Fundación Desarrollo Sostenido (FUNDESO).
- Calderon, A., Camargo, C., Manrique, A., & Vasquez, A. (2015). Bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga. Universidad de Cartagena.
- Calderón, L. (2011). El diseño metodológico.

- Camargo, C. (2015). Bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga.
- Capuñay, I. (2015). *Minerales: Composición y Estructura*. Peru: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Centro de Estudios Sociales y Demográficos (CESDEM). (2007). *Encuesta Demográfica y de Salud República Dominicana 2007*. Santo Domingo.
- Champi, V. (2014). *Evaluación de la contaminación por disposición final de residuos sólidos en los centros poblados de Pisac, Coya, Lamay y Calca-Región Cusco*. Cusco, Perú.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota, Sediments*. London.
- Compañía Guzmán y Then, Velásquez Melvin. (2011). *Proyecto de construcción del Relleno Sanitario para la Disposición Final de residuos sólidos de Cotuí*.
- Concepción, L. (2018). Gerente del Provincial Sánchez Ramírez del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Disposición Final de Residuos Sólidos en Sánchez Ramírez*. (Sustentantes, Interviewer)
- Conesa, V. V. (2003). *Guía Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid, España.
- Congreso Nacional. (2005). Ley No. 91-05. Santo Domingo.
- Congreso Nacional. (2007). Ley No. 176-07 del Distrito Nacional y 10s Municipios. Santo Domingo.
- Congreso, Nacional. (2000). *Ley General Sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (64-00)*. Santo Domingo.
- Consejo Nacional de Asuntos Urbanos, CONAU. (2006). *Lineamientos de políticas de desarrollo urbano para la ciudad de Cotuí*. Santiago de los Caballeros.
- Consejo Provincial para la Administración de los Fondos Mineros de Sánchez Ramírez, Inc. (2015). *Plan de Desarrollo Estratégico Provincia Sánchez Ramírez*. Santo Domingo.
- Cortez, E. (2014). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL SEMBRADOS CON ESPECIES NATIVAS TROPICALES PARA LA ELIMINACIÓN DE Cr (VI) Y Cd (II) DE LIXIVIADO DE RELLENO SANITARIO*. Colombia: EIDENAR.

- Cotán, S. (2007). Metodología para la Valoración de impactos Ambientales. Sevilla, España: Inerco.
- Custodio, E. (1965). Hidrología Subterránea. España: OMEGA.
- De Leon, H., Cruz, C. R., Davila, R. A., Velasco, F., & Chapa, J. R. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Nuevo Leon, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- Del Pozo, M. (1991). Selección de emplazamientos para vertederos controlados. Madrid, España: Informes de la Construcción, Vol. 42 n.º 412, marzo/abril.
- Dirección Ambiental Sánchez Ramírez. (2017). Estadísticas y Situación actual del Manejo de residuos sólidos en los Ayuntamiento de la Provincia Sánchez Ramírez. Santo Domingo.
- El Congreso Nacional. (1999). Ley No. 120-99. Santo Domingo.
- El congreso Nacional. (2007). Ley No. 176-07 del Distrito Nacional y 10s Municipios. Santo Domingo.
- Escudero, J. M. (2008). Manual de energía eolica. Mundiprensa.
- Flores, J. A. (2013). Identificación de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos en los municipios Atlacomulco, Ixtlahuaca y Jocotitlán, estado de México. TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO: Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Washington, D.C.
- Franco, R., Acosta, J. A., Grullon, Y., & Paula, E. (2012). Intervenciones para mejorar el Retorno de la Inversion y la Gestión de Residuos Sólidos en los Municipios de la Franja Oriental del Cibao Sur. Cotui.
- Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (2002). Manual de laboratorio. Ecología de Microorganismos. Puerto Rico.
- Gámez, W. R. (2009). Texto básico de hidrología. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria: Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.
- García, F., Sanfeliu, T., Meseguer, S., & Jordán, M. (2008). Restauración de Canteras para su aprovechamiento como vertedero. España.

- García, I. B. (2015). Depósito de Residuos En Vertedero, trabajo de Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental, Escuela de Organización Industrial (EOI). Retrieved diciembre 20, 2018 from <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25706/deposito-en-vertedero>
- Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes.
- Gisbert, J. M., Ibáñez, S., & Moreno, H. (2010). La textura del suelo. Valencia, España: Universidad Politecnica De Valencia.
- González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. Puerto Rico: Servicio de Extension Agrícola.
- González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. Puerto Rico: Recinto Universitario De Mayaguez.
- Heiningen, M. V. (2009, agosto 16). Espeleogénesis: Técnicas de Geología. From <http://espeleogenesistecnicasdegeologia.blogspot.com/>
- Hem, J. D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of natural Water. . Washington, DC.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. D.F., México: Mc Graw Hill Education.
- Hernández, J. R. (2012). Sánchez Ramírez entre riqueza y pobreza (1952-2005). Santo Domingo, República Dominicana: Editora Nacional.
- Hoeksema, R. (2015). El flujo de fluidos a través de los poros. Oilfield Review.
- Holdridge, L. R. (1967). Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Izzo, M., Rathe, L., & Arias, D. (2011). Puntos Críticos para la Vulnerabilidad a la Variabilidad y Cambio Climático en la República Dominicana y su Adaptación al mismo.
- Javier, L. A. (2018). Sistemas de información geográfica y la localización y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, N., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. Ciudad de La Habana, Cuba: Revista CENIC.
- Leon, C. A. (2009). Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, a. J. (1971). A Procedure for Evaluating Environmental Impact. Geological Survey Circular 645. Washington.
- Lichtschlag, A. (2010). Geochemical processes and chemosynthetic primary production in different thiotrophic mats of the hakon Mosby Mud Volcano.
- Lucena Gutiérrez, F. (2009). Valoración del potencial redox en el control de la calidad del agua regenerada. Barcelona, España: Universitat De Barcelona.
- Lugo, J. (2013). Diccionario geomorfológico. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Luzon, E., Acosta, D., Almonte, S., luzon, E., Acosta, R., Pradela, C., & Borromé, S. (2018). Astoa. Porahi: Dalma.
- Marques, E. (2008). Hydrogeochemistry of Sand Pit Lakes at Sepetiba Basin, Rio de Janeiro, Southeastern Brazil.
- Martínez, Z. (2015). Texruras De Las Rocas & Rocas Ígneas. Bolivia, Venezuela: Ministerio Del Poder Popular Para La Educacion.
- Martínez, Z. (2015). Textura de las rocas & rocas ígneas. Venezuela.
- Massone, H., & Fresta, P. (2015). Evaluacion de peligrosidad de contaminación potencial del agua subterránea por fuentes puntuales. Mar del Plata: Universidad de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino.
- MIMAN. (2000). Libro Blanco del Agua. España: Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo. (2012). Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo 2030. Santo Domingo.

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA). (2014). Política para la gestión integral de residuos sólidos municipales. Santo Domingo.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de Residuos Sólidos y Agencia Japonesa de Cooperación Internacional. (2017). Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana. Santo Domingo.
- Municipalidad de San Carlos de Bariloche. (2008). Plan de gestión integral de residuos sólidos urbanos. San Carlos de Bariloche, Argentina.
- Navari-Izzo, F. (1998). Thylakoid-bound and stromal antioxidative enzymes in wheat treated with excess Copper. *Physiologia Plantarum*.
- Niño, L. X., Ramón, J. L., & Valencia, J. A. (2016). Contaminación físico-química de acuíferos por los lixiviados generados del relleno sanitario El Carrasco, de Bucaramanga. Bucaramanga: Producción + Limpia -enero - junio.
- Oficina Nacional de Estadística. (2010). Oficina Nacional de Estadística Censo Nacional de Población y Vivienda, Santo Domingo. From Oficina Nacional de Estadística: <https://www.one.gob.do/>
- Oficina Nacional de Estadística. (2015). Estimaciones y proyecciones nacionales de población 1950-2100. Santo Domingo.
- Oficina Nacional de Estadística. (2016). Población por región, provincia y año calendario, según sexo y grupos quinquenales de edad, 2000-2030. Santo Domingo.
- Olaiz, J. (2009). Prospección hidrogeológica en zonas áridas de baja permeabilidad (Tifariti, Sahara Occidental) con el método EM de inducción. Madrid: GEOGACETA.
- Ordoñez, J. J. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico.
- Organización Mundial de la Salud. (2003). Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra, Suiza.

- Osorio, S., & Martin, R. (2007). Reconocimiento, estudio y caracterización de rocas y minerales. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Panteja, I. R., & Hernández, A. H. (2015). Fortalecimiento de las políticas públicas en gestión integral de residuos sólidos (GIRS) en República Dominicana a partir de modelos integrales. Marco jurídico municipal.
- Parra, N., & Ovando, E. (2011). Aspectos geotécnicos de los rellenos sanitarios en México. Distrito Federal, México: 2011 Pan-Am CGS Geotechnical Conference.
- Peña, M. (2007). Temperatura. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Pérez, B. E. (2016). Análisis fisicoquímico de agua embotellada de diferentes aguas embotellada de aguas comerciales. Durango: Universidad Politécnica de Durango.
- Pérez, G. B. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Región centro occidente de México. Retrieved Diciembre 20, 2018 from www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a14.pdf
- Pividal, A. J. (1999). Condiciones Geomorfológicos e Hidrológicos para el Emplazamiento de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos a Escala Regional. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid Facultad de Ciencias Geológicas. Departamento de Geodinámica.
- Proaño, N. (2009). Informe Del Estudio Geológico Y Geotécnico Para El Relleno Sanitario De La Papelera Nacional.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Universidad Católica Madre y Maestra (CEUR). (2015). Perfil socio-económica y Ambiental de Sánchez Ramírez. Cotuí.
- Quintero, A. (2016). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en las propiedades geotécnicas de un suelo tropical. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, L. I., & Durán, M. d. (2008). Química Ambiental de los Residuos Peligrosos (Vol. I). Distrito Federal, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. (2010). Glosario de geología. España.

- Rebollo, L., Martín, M., & Garrido, L. (2007). Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Madrid: Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.
- Rimmer, A. (2006). Managing Water Resources in a Time of Global Change. New york: Routledge.
- Rodriguez, J. A. (2003). Uso, manejo y preservación de los recursos naturales (orientación en ecología de zonas áridas). La Paz, Baja California Sur: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
- Rodríguez, C. H. (2007). Dureza total de agua con EDTA por vulometría. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia.
- Rodríguez, R. (2011). Estructuras Geológicas. Venezuela.
- Sanchez, J. M., Velázquez, J., Serrano, E., Ramírez, A., Balcazar, A., & Quintero, R. (2008). Criterios ambientales y geológicos básicos para la propuesta de un relleno sanitario en Zinapécuaro, Michoacán, México. Michoacán, México.
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). Normas para la Gestion Integral de Residuos Sólidos no Peligrosos. Santo Domingo.
- Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). Norma ambiental sobre calidad de aguas subterráneas y descargas al subsuelo. Santo Domingo.
- Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. (1967). Reconocimiento y evaluación de los Recursos Naturales de la República Dominicana. Washington,DC: Unión Panamericana.
- Simpe, O., & Martin, R. (2007). Reconocimiento, estudio y caracterización de rocas y minerales. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sorolla, R. (2013). Estudio hidrológico del vertedero de residuos sólidos urbanos en Fornillos de Apiés, Huesca. Zaragoza: Universidad Zaragoza.
- Spinelli, M. (1987). El tiempo, el clima y la salud Boletín Informativo. Argentina: Fuerza Aérea Argentina.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). Gestion Integral de Residuos Sólidos (Vol. I). Madrid: S.A. McGraw-Hill.

- Tirado, L. R., González, F. D., Martínez, L. J., & Celedón, J. N. (2015). Niveles de metales pesados en muestras. Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena.
- Torres, J. (2014). *Análisis Físico del Agua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Trovatto, M. M., Álvarez, M. d., Solero, C., Hernández, M. A., & González, N. (2011). Criterios Hidrogeológicos Aplicados en un Sector de la Región Hidrogeológica del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Hidrogeología Regional y Exploración Hidrogeológica Salta, Argentina, 2011, (pp. 244-251). Salta.
- U.S. Department of Agriculture. (1998). *Glosario de terminos*. Estados Unidos.
- Unión Europea. (2010). *Mapa geológico de la República Dominicana escala 1:50,000 Cotuí (6173-II)*. Santo Domingo.
- Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas". (2005). *Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No. 200 (75 m) en agregado mineral por lavado*. San Salvador, El Salvador: Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas".
- Valderrama, A., & Cortina, J. (2016). Valorización de amonio de aguas residuales urbanas como fertilizante líquido utilizando contactores de membrana de fibra hueca. Universidad Colitecnica de Cataluña Barcelonatech.
- Villalobos, J. J. (1996). *Manejo y disposición final de residuos sólidos en la ciudad de Tuxtla Gutierrez, Chiapas*.
- Wetzel, R. (1975). *Limnology*, W. B. Saunders Company, United States of América.
- Ynoa, A. (2017). *Reporte de la Gerencia de Ornato de los Ayuntamientos*. Santo Domingo.
- Zorilla, L. A. (2015). *La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la central hidroeléctrica Cerro del Águila*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.