



INVESTIGACIONES

- 1 Desarrollo Integrado de la Red Vial en El Departamento de Francisco Morazán en Honduras
- 2 Introducción a la Geología del Cuadrángulo de Tegucigalpa, Honduras
- 3 Correlación entre las Anomalías Morfométricas y los Deslizamientos en la Ciudad de Tegucigalpa, Honduras
- 4 Estudio de Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Diseño de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de la Unión, Lempira, Honduras.
- 5 Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa
 - 5.1 Observación: Deslizamiento de Tierra por Casas Dañadas al Sur de Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.2 Observación: Estudio Deslizamiento de Tierra en la Colonia Campo Cielo en Distrito Central, Honduras.
 - 5.3 Observación: Estudio Deslizamiento de Tierra en la Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.4 Observación: Estudio del Deslizamiento de Tierra en la Colonia Altos de Loarque de Tegucigalpa, Honduras..
 - 5.5 Observación: Deslizamiento de Tierra en la Esperanza Departamento de Intibucá, Honduras
 - 5.6 Observación: Plan para Realizar Obras en el Deslizamiento de Tierra en la Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.7 Observación: Desastre en la Escuela Enmanuel de la Colonia Canaán, Honduras.
 - 5.8 Observación: Deslizamiento de tierra en el Museo de Villa Roy en Tegucigalpa
 - 5.9 Observación: Inestabilidad del Terreno Pendiente y Medidas, Cerro Juana Lainez en Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.10 Observación: Deslizamiento de Tierra de El Papalón en Perspiré, Choluteca, Honduras.
 - 5.11 Observación: Deslizamiento de Tierra de la Colonia Campo Cielo en Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras



La Fundación para la Educación Integral y Técnica de Honduras (FEITH), solicitó al Consejo de Educación Superior, el 8 de agosto de 2005, la creación y funcionamiento de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), la cual fue aprobada el 15 de marzo de 2007, con el Acuerdo No. 1785-202- 2007 y ratificada con el Acuerdo No. 1796-202-2007. La UPI, inició formalmente actividades el 8 de junio de 2007, ofreciendo carreras en el grado de Licenciatura y en el grado Asociado ó Técnico Universitario, asimismo con diferentes Diplomados que se han formulado en base a estudios de mercado que ratifican la necesidad de fortalecer el desarrollo del país en las áreas de infraestructura y medio ambiente. La UPI es la primera Universidad en Honduras creada para la especialización en ingenierías, en los campos de Ingeniería Civil, con orientaciones en construcción, carreteras e hidráulica; Ingeniería Financiera; Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación; Ingeniería en Diseño Industrial; e Ingeniería Ambiental.

VISIÓN

Ser la institución de educación superior más reconocida en el país, y con mayor liderazgo en el campo profesional y técnico de las ingenierías y campos afines; manteniendo en todo momento altos criterios de enseñanza teórico-prácticos, que contribuyan directamente al desarrollo tecnológico, social y humano de nuestro país, colaborando para ese objetivo como protagonistas directos en nuestras comunidades.

MISIÓN

Formar técnicos profesionales capaces, honestos y emprendedores en sus áreas de trabajo, comprometidos con el desarrollo técnico, económico, cultural y social de sus comunidades.

La UPI, pretende lograr su Misión a través de conocimientos actualizados para lograr:

Impulsar programas y modelos que utilicen las tecnologías de la información y comunicación, creando un desarrollo continuo y constante en el campo técnico profesional de aplicación.

OFERTA ACADÉMICA

Ingeniería Civil

Ingeniería TIC

Ingeniería Ambiental

Ingeniería Financiera

Ingeniería Diseño Industrial

Ing. Recursos Renovables

Ingeniería Cine y Televisión

Técnico en GeologíaREVISTA TECNICO CIENTIFICA

REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA DE INGENIERÍA MILÍMETRO

Volumen 1

Marzo, 2015

Revista técnico – Científica de ingeniería, Milímetro es publicada por el Departamento de Investigación Científica (DIVES) de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI).

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Rectora: JANCE CAROLINA FUNES

Tel: (504) 2225-7454, 2225-7455, 2225-2888

Correo Electrónico: jcfunes@upi.edu.hn

Secretario General LUIS EVELINE

Tel: (504) 2225-7454, 2225-7455, 2225-2888

Correo Electrónico: leveline@upi.edu.hn

Vice-Rectora Académica RINA ENAMORADO

Tel: (504) 2225-7454, 2225-7455, 2225-2888

Correo Electrónico: rwenamorado@upi.edu.hn

COMITE EDITORIAL

Miembros	Correo Electrónico
Ing. Nancy Martínez	nancy.martinez@upi.edu.hn
Dr. Eutimio Chi	Eutimio.chi@upi.edu.hn
Ing. Leevan Narvaez	leevan.narvaez@upi.edu.hn
Graduando: Patricia Eveline	patricia.eveline@upi.edu.hn
Graduando: Nelkit Chávez	nichavez@upi.edu.hn
Graduando: Oscar Ramírez	Oscar.ramirez @upi.edu.hn

©2015

Departamento de Investigaciones UPI

Las opiniones expuestas en los artículos publicados en “MILIMETRO”, son responsabilidad de los autores. La mención de productos o casas comerciales en la revista, se incluye como información y no implica recomendaciones por parte de la UPI.



CONTENIDO



INVESTIGACIONES

- 1 Desarrollo Integrado de la Red Vial en El Departamento de Francisco Morazán en Honduras
- 2 Introducción a la Geología del Cuadrángulo de Tegucigalpa, Honduras
- 3 Correlación entre las Anomalías Morfométricas y los Deslizamientos en la Ciudad de Tegucigalpa, Honduras
- 4 Estudio de Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Diseño de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de la Unión, Lempira, Honduras.
- 5 Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa
 - 5.1 Observación: Deslizamiento de Tierra por Casas Dañadas al Sur de Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.2 Observación: Estudio Deslizamiento de Tierra en la Colonia Campo Cielo en Distrito Central, Honduras.
 - 5.3 Observación: Estudio Deslizamiento de Tierra en la Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.4 Observación: Estudio del Deslizamiento de Tierra en la Colonia Altos de Loarque de Tegucigalpa, Honduras..
 - 5.5 Observación: Deslizamiento de Tierra en la Esperanza Departamento de Intibucá, Honduras
 - 5.6 Observación: Plan para Realizar Obras en el Deslizamiento de Tierra en la Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.7 Observación: Desastre en la Escuela Emmanuel de la Colonia Canaán, Honduras.
 - 5.8 Observación: Deslizamiento de tierra en el Museo de Villa Roy en Tegucigalpa
 - 5.9 Observación: Inestabilidad del Terreno Pendiente y Medidas, Cerro Juana Láinez en Tegucigalpa, Honduras.
 - 5.10 Observación: Deslizamiento de Tierra de El Papalón en Perspiré, Choluteca, Honduras.
 - 5.11 Observación: Deslizamiento de Tierra de la Colonia Campo Cielo en Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras

Revista

620

087.5 Milímetro / Universidad Politécnica de Ingeniería. – Vol. 1
(2015). – Tegucigalpa, Honduras: UPI, 2015 V. il; 28 cm
Semianual

ISSN 2410-9053

1. Infraestructura
2. Geología

Correspondencia o Canje

Biblioteca “Universidad Politécnica de Ingeniería, UPI”

Universidad Politécnica de Ingeniería, UPI

Apartado Postal No. 30617

Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán

Honduras, América Central

E-mail: investigaciones@upi.edu.hn

Telefonos: 2225-7455, 2225-7456

Página Web:

Investigaciones: <http://upi.edu.hn/investigaciones.html>

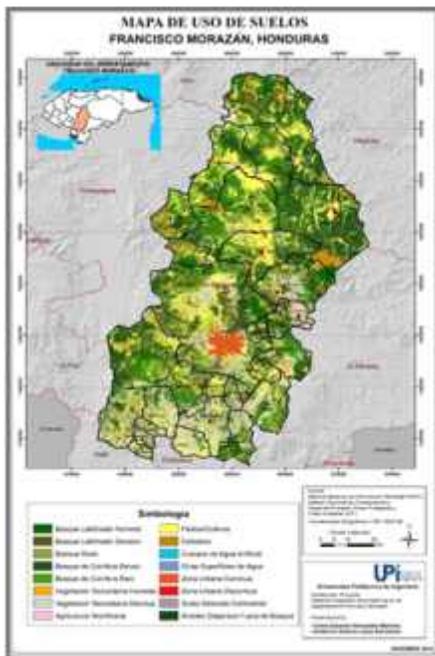
Buscar en Google: UPI investigaciones

Texto Completo: Solicítelo al e-mail: investigaciones@upi.edu.hn



1

CONTENIDO



Desarrollo Integrado de la Red Vial en El Departamento de Francisco Morazán en Honduras



DESARROLLO INTEGRADO DE LA RED VIAL EN EL DEPARTAMENTO DE FRANCISCO MORAZÁN

Interrelación de los Recursos Físicos, Humanos y Financieros

Carlos Eduardo Hernández Martínez^a
Guillermo Antonio López Barrientos^b

RESUMEN

En respuesta a la problemática que enfrenta Honduras en relación a la carencia de vías de comunicación y mal estado de los caminos ya existentes, se pretende extender un estudio para el desarrollo integrado del Departamento de Francisco Morazán, ubicado en la zona central de país y subdividido en 28 municipios.

El estudio fue realizado por los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil: Carlos Hernández y Guillermo López como Proyecto Final para optar al título de Pre-Grado en la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) localizada en la ciudad de Comayagüela, M.D.C., Honduras, complementado con el “Departamento de Proyectos de Investigación” coordinado por el Ing. Néstor Homero Chávez.

La estrategia y propuesta de acción planteada en la investigación considera la relación mutua e indudable de los recursos físicos (agrícola, forestal, entre otros.), humanos y financieros de la región, procurando el mejor aprovechamiento de los mismos.

Se identificaron todas las zonas con suelos aptos para uso forestal o agrícola que no son explotados por la falta de red vial o caminos en mal estado, con el objetivo de analizar proyectos sectoriales de inversión a nivel de infraestructura de transporte terrestre, para una correcta operación de mercado, movilidad de personas y aprovechamiento territorial en el departamento.

Finalmente se sentaron las bases para desarrollar un programa de orden financiero, donde se generaron presupuestos bases que permitan los ya mencionados proyectos sectoriales a nivel municipal.

Palabras Claves: Red Vial, Desarrollo Regional Integrado, geología, topografía, clima, recursos.

ABSTRACT

In response to the problems facing Honduras in relation to the lack of roads and poor condition of existing roads, it is intended to extend a study for the integrated development of the Department of Francisco Morazán, located in the central part of the country and subdivided in 28 municipalities.

The study was conducted by students of the faculty of Civil Engineering: Carlos Hernandez and Guillermo Lopez as a thesis project for the title of Pre-Degree from the Polytechnic University of Engineering (UPI) located in the city of Comayagüela, M.D.C., Honduras, supplemented the "Department of Research Projects" coordinated by Ing. Néstor Homero Chávez.

^a Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: carlos.hernandez@upi.edu.hn

^b Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: guillermo.lopez@upi.edu.hn

The proposed strategy and action raised in the research considers unquestionable mutual relationship, human and financial resources of the region (agriculture, forestry, etc.) physical resources, ensuring the best use of them.

All areas with soils suitable for forestry or agricultural use that are not exploited by the lack of roads or rough roads, with the aim of analyzing sectorial investment projects in terms of land transport infrastructure, for proper operation identified market, mobility of people and land use in the department.

Finally laid the groundwork for developing a program of financial order, where budgets foundations to the aforementioned sectorial projects at the municipal level were generated.

Keywords: *Red Vial, Integrated Regional Development, geology, topography, climate, resources.*

INTRODUCCION

EL presente trabajo consta de 6 capítulos, dispuestos de la siguiente manera: El primer capítulo, “El Problema”, expone el planteamiento de la problemática de manera clara y sencilla, manifestando pronósticos de la situación y también interrogantes que probablemente surgirán en el transcurso del informe.

El siguiente capítulo, “Marco Teórico”, refiere alguno de los planes o informes de carácter global o nacional, que sirven como guía para entender abiertamente la problemática expuesta. Inmediatamente se presenta la hipótesis que permite suponer sobre la solución del problema, y además se describen las variables tanto dependientes como independientes.

El tercer capítulo, “Metodología”, explica la lógica utilizada para elaborar el análisis propuesto y el conjunto de métodos utilizados para lograr los resultados esperados.

El capítulo cuatro, “Generación del Mapa de Aptitud”, muestra el análisis detallado que se llevó a cabo para realizar todos los mapas temáticos y generar la información correspondiente a cada uno de ellos. Se explica a detalle las variables que se involucran el análisis y su resultado final.

El capítulo número cinco, “Estabilización de Suelo”, es un apartado especial cuyo objetivo es proponer y recomendar un tipo de estabilización de suelo en base a la geología del departamento, el cual servirá para la red vial terciaria y senderos que se encuentran dentro de los focos de producción agrícola, identificados en el capítulo anterior, a los cuales no hay acceso por el mal estado de las vías.

El último capítulo, “Interpretación de Resultados”, identifica los efectos favorables y desfavorables del análisis hecho en toda la investigación, recomendaciones para mejorar la investigación y comprobación de la hipótesis.

JUSTIFICACION

La estructura vial del departamento de Francisco Morazán se ve afectada generalmente por fenómenos meteorológicos, esto trasciende enormemente en el desarrollo o progresión del sector agrario e ineludiblemente en la economía de la región o del país. Es por esta razón que concertamos la interrelación que existe con el sistema vial, el uso de suelos, la sociedad y la economía.

Si bien las limitaciones económicas que tiene el país, incide en el descuido de las reparaciones y mantenimiento viales, debido a los altos costos, procuramos presentar un análisis completo, una solución alternativa y eficiente como lo es una estabilización de suelos factible; de esta manera contribuiremos a que los pueblos y localidades del departamento no se sientan excluidos y estén atendidos en su desarrollo socioeconómico.

OBJETIVOS

General

Elaborar un modelo de análisis de la correlación de recursos físicos, humanos y financieros en el departamento de Francisco Morazán, que permita desarrollar planes de Infraestructura Productiva capaces de garantizar el desarrollo social y económico del departamento.

Específicos

- Realizar un inventario de la red vial en el departamento de Francisco Morazán al 2014, enfatizando la red vial terciaria y Senderos.
- Comparar el clima, topografía, geología, uso de suelo, etc.; de zonas de producción ya constituidas (Lepaterique, Azacualpa, Yaguacire) con otras zonas que presenten las mismas características.
- Indicar las zonas del departamento con pendientes mayores al 30% que se podrían considerar para actividad forestal.
- Identificar la cantidad de red vial terciaria o senderos que necesitan restaurarse para generar nuevos focos de producción.
- Elaborar un mapa de “Aptitud en Infraestructura Productiva” para el departamento de Francisco Morazán.
- Establecer un presupuesto base de los costos que supone la estabilización de suelos en la red terciaria o senderos.
- Analizar que “métodos de estabilización de suelos” serán necesarios según las características que presenten los caminos terciarios observados.

Elaborar un manual o modelo breve, de la metodología básica para lograr el análisis que ofrece ésta investigación y los resultados requeridos.

Interrelación de los Recurso Físicos, Humanos y Financieros, Planteamiento del Problema

En la falta de crecimiento de la producción agrícola, se identifican factores como el desaprovechamiento de los suelos y el mal estado de las vías terciarias y senderos en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Contextualización: La red vial terciaria y senderos en varios países recibe un mantenimiento adecuado en base a sistemas de conservación vial a nivel de terracería, con métodos de estabilización acordes a la geología, clima, topografía y otros factores que influyen en el deterioro de las capas.

En Francisco Morazán las vías terciarias y senderos necesitan, en primera instancia, de una restauración o reparación total y posteriormente un correcto mantenimiento que sea aplicable a los factores que inciden en su deterioro. Esto permitirá un crecimiento en el sector agrícola del departamento.

Análisis Crítico: Las fallas en la red vial se deben a los factores geológicos, climáticos, topográficos, etc.; de la misma manera la falta de inversión y la poca adopción de tecnología en su construcción, resultan en el mal estado de las mismas, por lo cual no podemos aprovechar al máximo el suelo apto para agricultura, explotación forestal o uso ganadero de los municipios.

Para aprovechar los suelos es necesaria una correcta estabilización del terreno vial, acorde a las características geológicas, topográficas y climáticas de la zona, ya que no todas son iguales.

Prognosis: Los niveles de producción del sector agrícola no se incrementaran mientras no se realicen las restauraciones y mantenimientos correspondientes a las vías de ingreso a las zonas que presentan suelos aptos para producción.

Formulación del Problema

Cuál será la correcta estabilización del suelo (considerando los factores que lo deterioran) que nos permita una restauración y más durabilidad para abrir paso al crecimiento de producción agrícola.

Interrogantes: Si el método de estabilización de suelo para la restauración tiene costos elevados, qué decisión deberá tomarse, si la geología, topografía y clima de una determinada zona no son los más favorables, existirá un método de estabilización de suelo factible que solucione estos problemas.

Qué ocurriría si la metodología elaborada no presenta los resultados esperados. Existe en el departamento de Francisco Morazán suelo apto para la agricultura, explotación forestal o ganadera. La base de datos de la “Red Vial de Francisco Morazán” proporcionada por los organismos pertinentes, es confiable para generar el análisis del “Desarrollo Integrado de la Red Vial en el Departamento de Francisco Morazán”, está actualizada a la fecha o se tendrá que generar nuevamente.

Delimitación del Objeto de la Investigación: El análisis del presente informe será aplicado al Departamento de Francisco Morazán en Honduras. Todos los datos generados (inventario de red vial, mapas temáticos por municipio, costos y presupuestos) son exclusivos para la región.

METODOLOGÍA

Antecedentes investigativos: Las vías de comunicación o carreteras en el mundo, y de manera muy particular en Honduras, se han constituido como un pilar fundamental en el desarrollo y conexión de territorios, por tal razón es imprescindible la tarea de brindar al país una red cómoda, segura, adecuada, eficiente y lo más importante, al mínimo coste. Prestar dicho servicio y preservarlo supone desarrollar un conjunto de actividades, que se pueden agrupar en:

- Actividades de Viabilidad
- Actividades de Conservación.
- Actividades de Rehabilitación.
- Actividades de Prevención.
- Actividades de Seguridad.

Si nos referimos al Índice Global de Competitividad (IGC) formulado por el Foro Económico Mundial (FEM) nos damos cuenta que la infraestructura juega un papel muy importante en términos de competencia. El FEM define competitividad como: “*Conjunto de instituciones políticas y factores que determinan el nivel de productividad de un país*”, y para medir esta competitividad se basa en 12 componentes o pilares que evalúan un aspecto diferente para obtener el índice final. El 2do pilar de la evaluación es LA INFRAESTRUCTURA, y el Foro Económico Mundial en su Reporte de este año (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014-2015), lo define de la siguiente manera:

Infraestructura amplia y eficiente es fundamental para garantizar el funcionamiento eficaz de la economía, como es un factor importante en la determinación de la ubicación de la actividad económica y los tipos de actividades o sectores que se pueden desarrollar dentro de un país. Bien desarrollada, la infraestructura reduce el efecto de la distancia entre regiones, integrando el mercado nacional y conectando, a bajo costo, los mercados de otros países y regiones. Además, la calidad y la extensión de la infraestructura de redes, impactan significativamente en el crecimiento económico y reducción de las desigualdades de ingresos y la pobreza. (pág. 6)

Honduras se ubica en la posición No. 100 en el ranking del ICG 2014-2015, con una puntuación de 3.82, siendo superado por Nicaragua, Guatemala, El Salvador y Costa Rica en la región Centroamericana. Si hablamos específicamente de infraestructura, Honduras ocupa el lugar No. 102 con una puntuación de 3.18 respectivamente.

Planes y Programas: La planificación a medio o largo plazo de las actividades de Infraestructura Productiva en Honduras, se puntualiza en varios informes elaborados en gobiernos pasados o el actual.

A continuación se abordan documentos concernientes a la problemática de la investigación, con el fin de esclarecer y orientar.

Visión de País y Plan de Nación: Ley aprobada en el año 2010 al Congreso de la República, establece un horizonte sobre la Infraestructura Productiva (Congreso Nacional de la República, 2010):

“La infraestructura productiva (energía, transporte y comunicaciones) es un medio importante para propiciar el desarrollo social de los pueblos y el desencadenamiento del potencial productivo de las naciones.” (pág. 104)

El decreto 286-2009 que estable una visión de país y adopta un plan de nación, describe los desafíos en materia de infraestructura productiva:

Desafío 1: Este primer enunciado habla sobre la importancia de propiciar la articulación del sistema vial en los centros de producción agrícola y los mercados de consumo y exportación.

Desafío 2: Considera la ubicación geográfica de Honduras, con el propósito de convertirse en el circuito de transporte terrestre más importante, para el flujo de mercado.

Desafío 3: Valora la energía hidroeléctrica como tema de atención continua y como una oportunidad liderazgo regional para Honduras, igual que la articulación vial y localización geográfica.

Desafío 4: Importancia de los sistemas de riego en las zonas productivas agrícolas.

Desafío 5: El 5to desafío de la visión de país, es que se formulen planes de desarrollo nacional o regional en el contexto de infraestructura productiva.

Para el año 2022 se espera que el país vuelva a ser “El Granero de Centroamérica” con el más importante sistema de transporte. Para el año 2034 honduras deberá contar con medios de inversión suficientes que aseguren el mantenimiento de la red vial del país. Para el 2038 Honduras será líder en Centroamérica con nuevos programas que consoliden y mantengan su posición.

Problemática de la Investigación en la Praxis: La institución encargada de rehabilitar y ejecutar obras de transporte es INSEPT (SOPTRAVI); para el año 2013 esta institución recibió un presupuesto de inversión de L. 4, 006, 284,321.00

El ente encargado de asegurar la ejecución continúa de servicios de mantenimiento de las carreteras en el país es el Fondo Vial, quien en el I Trimestre de 2014 atendió 268.36 km de Red Vial No Pavimentada generando un monto de ejecución de L. 36, 459, 446.33 (FONDO VIAL, 2014). Algunos de los departamentos beneficiados fueron: Comayagua, Copán, Francisco Morazán, Choluteca, El Paraíso.

Hipótesis: La elaboración de un modelo de estudio, de la relación de los recursos físicos (uso de suelo, topografía, clima) humano y financiero, permitirá desarrollar planes de Infraestructura Productiva para el departamento de Francisco Morazán y posteriormente al resto de los departamentos del país.

Señalamiento de variables:

Variables Independientes:

- Elaboración del Presupuesto base de costos de estabilización de suelos.
- Inventario de la Red Vial del departamento de Francisco Morazán actualizada al presente años 2014.

Variables Dependientes:

- Elaboración del modelo de estudio de la interrelación física, humana y financiera
- Análisis de los Métodos de Estabilización de Suelos.

Metodología para la elaboración del mapa de aptitud en infraestructura productiva

El conjunto de métodos que se siguieron en esta investigación contemplan la integración de diferentes variables, tanto de derivación o extracción de información como de integración y análisis de la misma. El esquema metodológico se ajusta y es exclusivo a los autores de la investigación en cuestión. Lo anterior con el objetivo de evaluar la aptitud del departamento de Francisco Morazán en planes y programas de Infraestructura Productiva. Los pasos considerados en la metodología son:

- Nociones previas para la elaboración del mapa de aptitud
- Identificación de los atributos o criterios.
- Definición de los atributos y escala de medición.
- Diagrama de Modelo Lógico.

Nociones previas para la elaboración del mapa de aptitud

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han beneficiado muchas disciplinas, las ingenierías no son la excepción, La Universidad Politécnica de Ingeniería asimiló de manera perfecta el uso de ésta tecnología. En el caso particular de ésta investigación los llamados “SIG” se aplican en análisis de Infraestructura Productiva. Con el objetivo de situar el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la ciencia y la educación.

Uso de Plataformas de Información: Para la elaboración de nuestro “Mapa de Aptitud en Infraestructura Productiva” se utilizaron dos plataformas o programas SIG, los mismos se describen

Software ArcGIS: Es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es un producto comercializado por ESRI (Environmental Systems Research Institute)



Figura 1, Software ArcGis

Software QGIS: Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR. Se puede descargar y utilizar sin ningún tipo de restricciones.



Figura 2, Software QGIS

Identificación de los atributos o criterios

Se identificaron variables de importancia en el desarrollo del tema, considerando los principales actores de la investigación. Las variables fueron subdivididas de la siguiente manera:

Variables Físicas:

- Uso de Suelos.
- Recursos Hídricos.
- Topografía del Terreno.

Variables Socioeconómicas o Humanas:

- Vías de comunicación terrestre.
- Localidades urbanas y rurales.

Definición de los atributos y escala de medición: En esta fase se definieron cada una de las características o atributos seleccionados, así como la escala mediante la cual fueron medidos.

Atributo o Característica	Definición	Escala
Uso de Suelos	Características y tipo de ambiente	Clase de suelo
Recurso Hídrico	Cercanía al recurso	Distancia medida en metros
Topografía del Terreno	Según tipo de pendiente	Pendiente medida en porcentaje
Geología del Terreno	Tipo de estructuras interna	Unidades Litológicas
Vías de comunicación terrestre	Cercanía a red vial	Distancia de tramos en metros
Localidades Urbanas y Rurales	Cercanía a las localidades mayores a 1,500 hab.	Distancia en metros

Tabla 1. Definición y Escala de Atributos

Uso de Suelos: El atributo de uso de suelo fue considerado y extraído de la base de datos del “Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF)” en su mapa: “Mapa Nacional de Cobertura Forestal y Uso de Suelos”, en el formato Shapefile (.SHP) el cual funciona con el software para Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS).

Es importante mencionar que el mapa facilitado por el ICF muestra varios tipos de suelos, sin embargo mencionaremos solo los referentes a la investigación, los cuales son:

- Vegetación Secundaria Húmeda
- Agricultura Tecnificadas
- Pastos y Cultivos
- Cafetales



Figura 3. Cobertura Forestal y Uso de Suelos Francisco Morazán

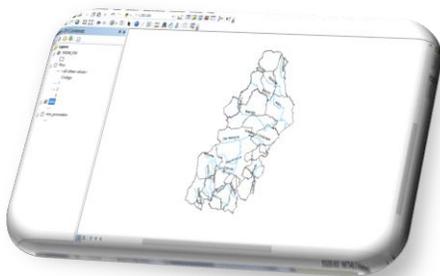


Figura 4, Mapa de Red Hídrica, Departamento de Fco. Morazán (SINIT 2005)

Recurso Hídrico El archivo Shapefile (.SHP) utilizado para el atributo de recurso hídrico fue extraído de la base de datos del SINIT (Sistema Nacional de Información Territorial). En el archivo se muestran todos los ríos principales y secundarios que atraviesan el departamento. Los niveles de aptitud serán evaluados de acuerdo a la distancia de las fuentes de agua a las zonas con potencial agrícola.

Topografía del Terreno: El Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), elaboraron un nuevo modelo digital de elevación a nivel mundial ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model), confeccionado a base de aproximadamente 1,3 millones de imágenes estéreo tomadas desde el año 2000 hasta el 2008 por el radiómetro japonés ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) que orbita dentro del satélite multinacional Terra, lanzado al espacio en Diciembre de 1999.

¿Cómo Acceder al Mapa?,

1. Registrarse en forma gratuita en el sitio del ASTER GDEM y comenzar a bajar todas las imágenes que se desea observar (el mapa del planeta es demasiado grande para ser descargado y visualizado en la máquina de una sola vez). para comenzar a bajar imágenes se debes ingresar en la opción SEARCH, en el renglón inferior del menú izquierdo.

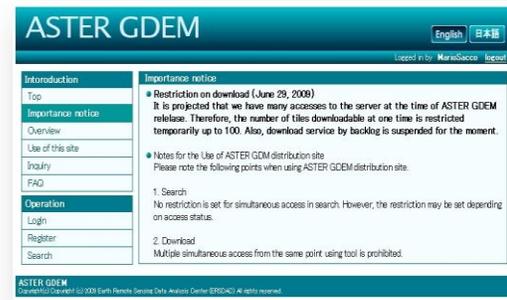


Figura 5, Sitio Web ASTER GDEM



Figura 6, Modelo de Elevación Digital a Nivel Mundial

2. A continuación acceder al mapa completo de la Tierra y acercarse, con el zoom, hasta la zona que se desea explorar. Observar también que existe un botón para dividir el mapa en grillas de 1° cuadrado de resolución (latitud y longitud) para poder obtener una imagen bien definida del sitio seleccionado. Para acceder a esto, pulsar sobre el botón Start, seleccionar la(s) grilla(s) y luego pulsar el botón Next.

3. Una vez hecho este procedimiento, se abrirá otra pantalla donde se encuentra el nombre

del archivo con los datos referentes a la latitud y longitud seleccionadas. Luego, en la próxima página, se le consultará acerca del propósito de uso del mapa que descargarás (energía, meteorología, agricultura, biodiversidad, etc.) y, por último, después de aceptar las condiciones de uso del sitio, comenzar la descarga del archivo.



Figura 7, Descarga de Archivos Aster GDEM

4. Vías de Comunicación Terrestre: El criterio de vías de comunicación terrestre consideró el inventario total de la red vial en el departamento de Francisco Morazán, para ello fue necesario hacer uso de “QGIS” un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para la plataforma Microsoft Windows o cualquier otro sistema operativo.

¿Cómo Digitalizar la red vial de Francisco Morazán?

Añadir la capa vectorial de los municipios de Francisco Morazán, en este caso utilizamos la capa vectorial de la base de datos facilitada por SINIT. Seleccionamos la primera herramienta de la barra “Administrar Capas”. Se abrirá una nueva ventana donde podremos buscar nuestra capa de municipios y cargarla.

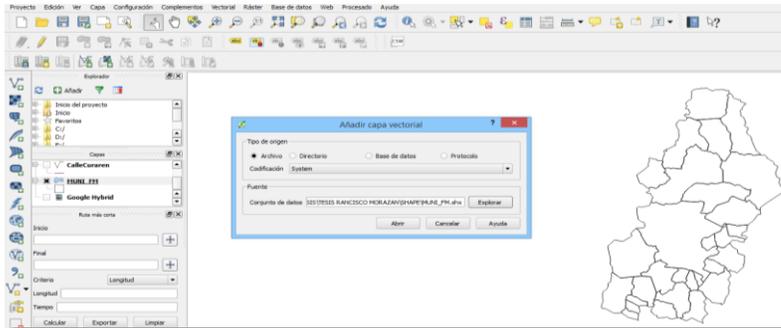


Figura 8, Herramienta “Administrar Capa” para crear capas vectoriales

Luego de cargar nuestra capa del departamento y sus respectivos municipios, procedemos a cargar un visor de mapas vía web. Para ello debemos descargar un “plugin” o complemento llamado: “OpenLayers”. En el encontraremos varias páginas de Mapeo Web como OpenStreetMap, Google Maps, Bing Maps, Apple Maps, entre otros.

Para digitalizar la red vial primaria, secundaria y terciaria cargaremos el visor de mapa OpenStreetMap:

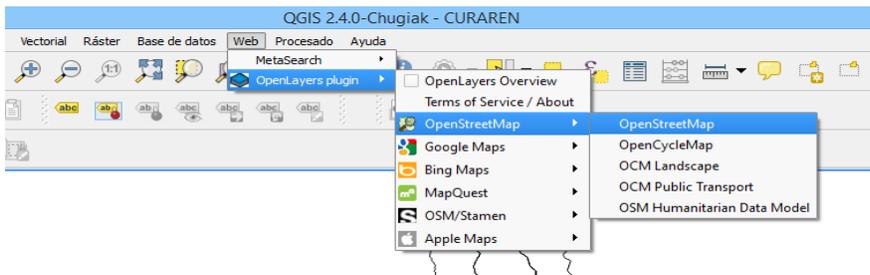


Figura 9, Complemento “OpenLayers” para acceder a visor de mapa OpenStreetMap

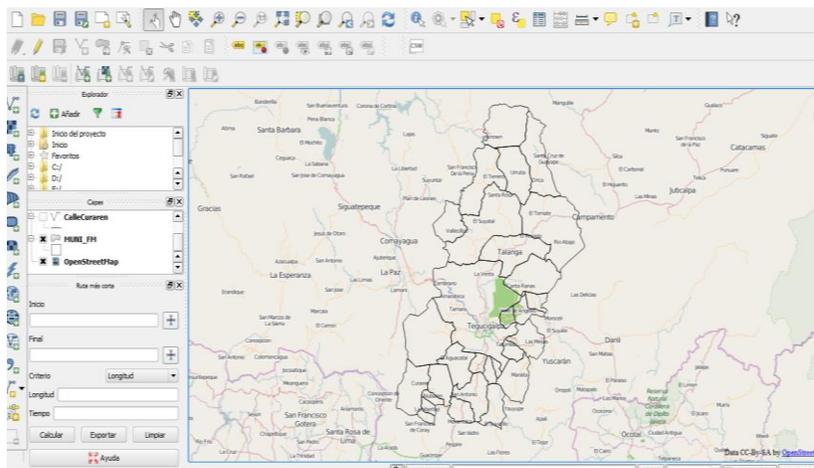


Figura 10, Visor de Mapa “OpenStreetMap”

Para digitalizar el resto de la red vial que son las vías no pavimentadas, caminos, senderos, entre otros. Utilizaremos el visor de mapa Google Hybrid:

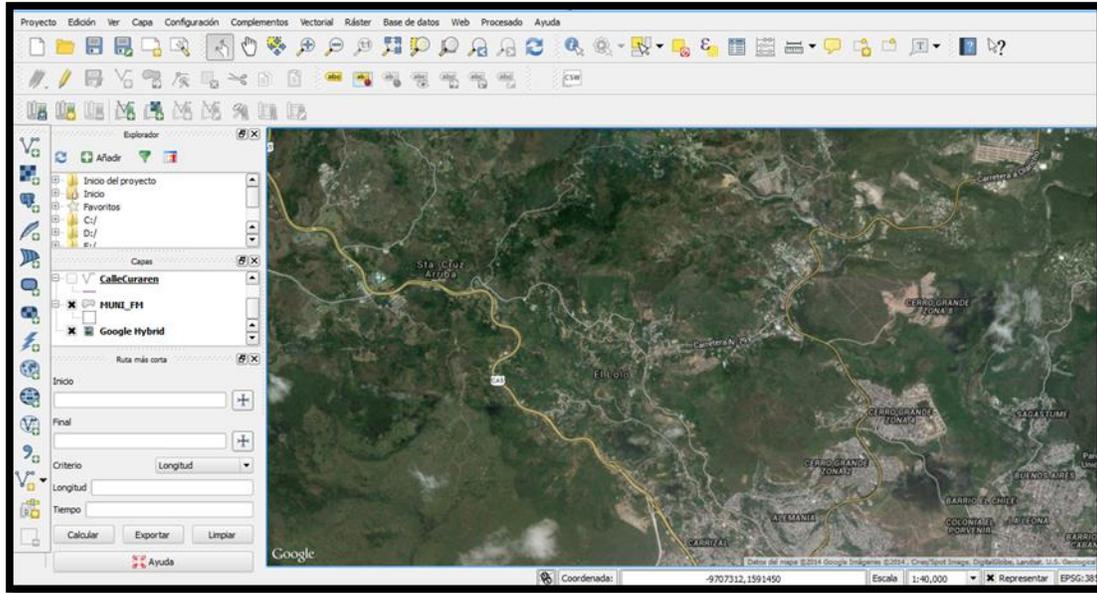


Figura 12, Visor de Mapa “Google Hybrid”

Es importante destacar que la escala utilizada para la digitalización es de 1:5,000 (la escala más pequeña permitida por el visor es de 1:2,500), y que los visores presentan datos del 2014.

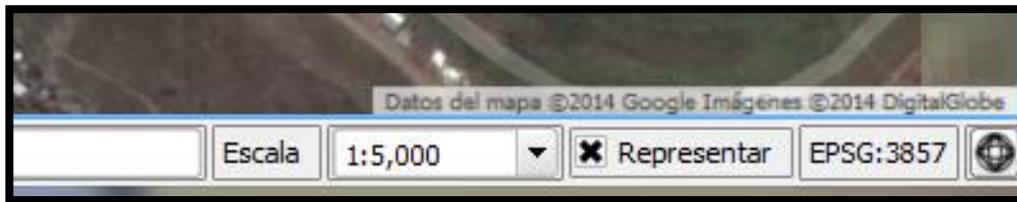


Figura 13, Escala de mapas y año de datos de visor

Localidades Urbanas y Rurales

Este criterio fue considerado con el objetivo de establecer la distancia de los focos de infraestructura a la mano de obra, servicios e insumos para las actividades. Para ello, el SINIT proporciona una base de datos con todos los caseríos del departamento. La población de cada caserío fue facilitado por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Se tomarán únicamente las localidades mayores a 2,000 habitantes.

Diagrama de modelo lógico: Después de haber verificado y definido los datos o variables, comenzaremos con esquemmatizar los Mapas Temáticos de entrada, que a su vez serán combinados para derivar en el Mapa de Aptitud de infraestructura productiva.

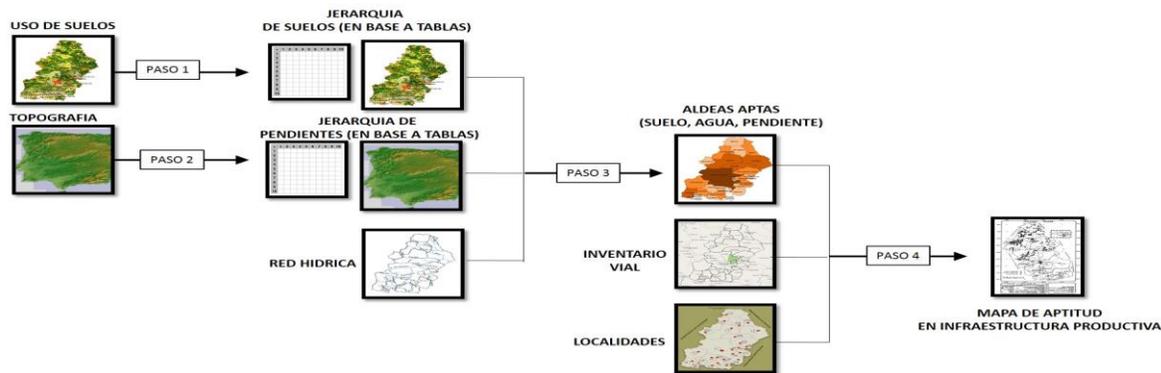


Figura 14, Diagrama de Modelo Lógico

Paso 1:

El mapa Uso de Suelos presenta muchos tipos de ambiente y vegetación, por lo que será necesaria la generación de tablas jerárquicas por aldeas, que muestren el nivel de aptitud agrícola versus el tipo de ambiente y vegetación. El mapa Jerarquía de Suelos deberá contener los ambientes y vegetación más aptos para la producción agrícola.

Paso 2:

El mapa Topografía está clasificado en un rango de pendientes, también se generaran tablas jerárquicas por aldeas, que muestren el nivel de aptitud agrícola versus el rango de pendientes. Pues es conocido que las pendientes influyen mucho en la agricultura. El mapa Jerarquía de Pendientes deberá contener las zonas con pendientes más aptas para la producción agrícola.

Paso 3:

Los dos mapas temáticos generados anteriormente junto con el mapa de la red hídrica del departamento se combinaran para conocer las aldeas más aptas para la producción agrícola. De esta manera se generara un nuevo mapa. El Mapa Aldeas Aptas deberá contener los nuevos focos de producción agrícola más aptos dentro del departamento.

Paso 4:

El último paso presume el uso del mapa generado en el paso tres (3) junto con el inventario de la red vial de Francisco Morazán y el mapa de las localidades urbanas o rurales del departamento. La conexión de estos tres mapas dará como resultado el Mapa de Aptitud en Infraestructura Productiva, el cual deberá contener los nuevos focos de producciones agrícolas identificadas, la cantidad de red vial que atraviesa estos focos y los asentamientos humanos que suponen la mano de obra para generar una oportunidad de desarrollo.

Evaluación de Aptitud del Territorio

Es importante mencionar que el análisis y la evaluación de la información se realizó por cada municipio del departamento para enriquecer la información y particularizar la importancia de las divisiones administrativas menores, sin embargo en este capítulo únicamente se mostrará el análisis de cuatro (4) municipios para no aburrir o abrumar al lector con demasiada información, los municipios que servirán como objeto de análisis son: Marale, La Venta, Lepaterique y La Villa de San Francisco. Los demás análisis se adjuntaran al final del documento.

En el capítulo preliminar se mencionan las variables, tanto físicas como socioeconómicas, de la investigación, éstas representarán los atributos dentro de nuestra evaluación.

El instrumento de planificación sistemática utilizada para el análisis de la situación, es particular de este documento. La evaluación de todos los atributos o variables que participan en este análisis se jerarquizaron de la siguiente forma:



Descripción del territorio

El Departamento de Francisco Morazán es uno de los dieciocho 18 departamentos de la Republica de Honduras, comprende una extensión territorial de 8,580 km² y se encuentra ubicado en el centro del país, entre las latitudes 13° 40' y 15° 02' N (Norte) y las longitudes 86° 43' y 87° 39' O (Oeste). El departamento limita al norte con los departamentos de Comayagua, Yoro y Olancho; al sur con los departamentos Valle y Choluteca; al este con Olancho y El Paraíso, al oeste con los departamentos de Comayagua y La Paz.

Según el censo de población y vivienda de 2013 cuenta con 2,110,008 habitantes de los cuales 970,780 son hombres y 865,908 mujeres, los que habitan en una extensión territorial de 8,580 km² con una densidad poblacional de 137 hab./ km².

El departamento se divide en 28 municipios: Distrito Central, Alubarén, Cedros, Curaren, El Porvenir, Guaimaca, La Libertad, La Venta, Lepaterique, Maraita, Marale, Nueva Armenia, Ojojona, Orica, Reitoca, Sabanagrande, San Antonio de Oriente, San Buenaventura, San Ignacio, San Juan de Flores, San Miguelito, Santa Ana, Santa Lucia, Talanga, Tatumbra, Valle de Ángeles y Vallecillo.



Diagrama 1, Extensión Territorial de los Municipios, Fco, Morazán

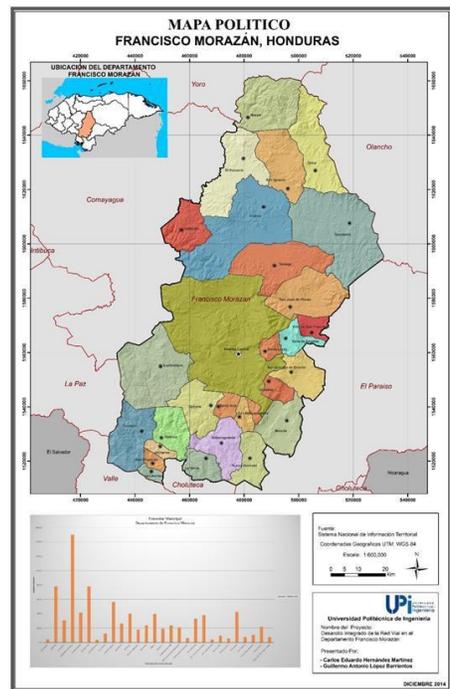


Figura 15, Mapa Político de Fco Morazán

Focos de Producción

En todas las zonas agrícolas de Francisco Morazán se cultivan variedad de productos. Sin embargo, cada región tiene sus propias cualidades, lo que genera mejor aprovechamiento a la hora de cosechar. Para los expertos agrónomos, Lepaterique es la zona de mayor producción y es considerado el pulmón de la economía en el comercio local, familiar y de mercado, Roger Guillén, Gerente de Producción de la Fundación para el Desarrollo Empresarial Rural (FUNDER).

Lepaterique es una zona de clima frío y se extraen todas las semanas la mayor parte de verduras de hojas como: el repollo, lechuga, apio, culantro y coliflor, entre otras. El segundo lugar en producción lo ocupa la montaña de Azacualpa con el alto cultivo de zanahoria y repollo. Güinope es el área que más produce cebolla amarilla. Las fértiles tierras de San Juan del Rancho, Yaguacire y el Zamorano, son las más aptas para la producción de chile y tomate de calidad exportación. Cantarranas, La Villa de San Francisco, Talanga y Guaimaca son los encargados de producir plátano verde y cubren las necesidades de 1.5 millones de consumidores asentados en las ciudades.

Para Ronnie Malta, Ingeniero Agrónomo y catedrático de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), el ecosistema de la capital es de bosque seco subtropical, por lo que sus suelos son aptos para los cultivos de zanahoria, chile dulce, tomate, papa, cebolla, apio, pepino, rábano y lechuga.

Agregó que los suelos y las texturas varían, en todo el territorio del Distrito Central, pero predomina el suelo franco arcilloso y arenoso. El experto manifestó que de acuerdo al clima, la altura, y las propiedades de la tierra se puede determinar la cantidad y la calidad de la cosecha y los municipios productores de Francisco Morazán tienen estas celestiales ventajas. (El HERALDO, 2013).

Proceso analítico jerárquico

Atributo de Uso de Suelos: El Suelo puede definirse como la capa superior de la tierra que se distingue de la roca sólida y es donde las plantas crecen. Los suelos siendo una capa delgada de la superficie terrestre, desarrollan capas distintas a diversas profundidades, lo cual le denota una característica propia. Su formación y características, está afectada por los diferentes medios que afectan el suelo como clima, relieve, organismos y tiempo.

Según la base de datos del ICF del 2014, la cobertura de suelos en Honduras se divide en 5 macro categorías: Bosque, Agropecuario, Cuerpos de Agua, Agroforestal y Otros Usos (No Bosque). A su vez estas se dividen en 26 subcategorías de las cuales el departamento de Francisco Morazán posee 16 de ellas. (ICF, 2014) Las mismas se describen a continuación:

Bosque

1. Bosque Latifoliado húmedo: Comunidades de árboles propios de los climas tropicales; estos bosques se caracterizan por la presencia de especies de hoja ancha siempre verdes, con alta densidad de especies.

2. Bosque Latifoliado: Deciduo: Son bosques de hoja ancha en los que sus árboles pierden las hojas de manera parcial o total en la época seca de cada año. Este fenómeno también se le conoce como estrés hídrico.

3. Bosque Mixto: Asociación entre especies del bosque latifoliado y bosque de conífera, identificables en zonas de transición entre ambos bosques. En este tipo pueden predominar las coníferas o especies de hoja ancha dependiendo de factores edáficos, clima, exposición al sol, entre otros. Las especies más predominante son Pinus oocarpa o Pinus maximinoi con varias especies del género Quercus, Liquidámbar stiraciflua y Carpinus carolinensis entre otros.

4. Bosque de Conífera Denso: Este tipo de bosque está compuesto por 7 especies del género Pinus. Los más frecuentes son el Pinus oocarpa, Pinus maximinoii y Pinus caribaea. Se puede encontrar en zonas con una precipitación promedio menor a los 2,500 mm por año con una estación seca desde febrero a mayo. En Honduras se encuentra entre el rango altitudinal de 0 - 2,849 msnm.

5. Bosque de Conífera Ralo: Este tipo de bosque está compuesto por las mismas especies del pino denso pero con menor densidad que el bosque de conífera denso (número de individuos por área). Los principales factores que lo vuelven menos denso son: características edáficas, pendiente, clima y aprovechamiento selectivo. Los porcentajes de cobertura pueden estar entre 15 a 50 % de cobertura arbórea.

Agroforestal

1. Cafetales: Son plantaciones de diferentes especies de café ya sea tecnificado, semitecnificado o tradicional, el cual, puede o no estar cubierto por especies que funcionan como sombra; ingas, musáceas y algunas maderables.

Agropecuario

1. Agricultura Tecnificada: Áreas destinadas al cultivo de hortalizas, frutas, granos básicos y otros mediante la implementación de prácticas mecanizadas de preparación, siembra, riego y control en zonas relativamente planas del país.

2. Pastos/Cultivos: Son áreas utilizadas para prácticas agrícolas y pecuarias tradicionales en Honduras, frecuentemente entremezcladas con áreas de vegetación secundaria y caseríos.

Cuerpo de Agua

1. Cuerpos de Agua Artificial: Son aquellos cuerpos de agua creados por el hombre, tales como represas o estanques, piscinas, lagunas de oxidación entre otros; en Honduras el cuerpo artificial de agua más grande es la represa hidroeléctrica Francisco Morazán (El Cajón).

2. Otras Superficies de Agua: Son todos los cuerpos de agua, tales como ríos, mares u océanos que cubren parte de la tierra de forma natural.

Otros Usos

1. Vegetación secundaria húmeda: Comprende aquella cobertura vegetal originada luego de la intervención o por la destrucción de los bosques húmedos, conocida también como sucesión vegetal.

2. Vegetación secundaria decidua: Esta cobertura se presenta en aquellas zonas donde el bosque latifoliado deciduo ha sido removido por actividades como agricultura y ganadería, que luego de ser abandonadas originan una vegetación secundaria con alturas promedio inferiores a 5 m.

3. Zona Urbanizada Continua: Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. La vegetación representa una baja proporción del área del tejido urbano.

4. Zona Urbanizada Discontinua: Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.

5. Suelo Desnudo Continental: Todas aquellas superficies de suelo desprovistas de vegetación, ya sea por causas naturales o antropogénicas constituidos especialmente por arenas y sedimentos de los ríos, deslizamientos de tierra, aluviones, minas a cielo abierto, calles con o sin revestimiento, balastreras, áreas erosionadas, entre otros.

6. Arboles Dispersos fuera de Bosque: Son los árboles que están fuera de superficies boscosas mayores a 0.5 hectáreas y se encuentran distribuidos de forma aislada o parcialmente agrupada en lotes entre 0.1 y 0.5 hectáreas.

Para valorar el atributo de “Uso de Suelos” solo se tomará en cuenta dos (2) categorías: Agropecuario (Agricultura Tecnificada, Pastos/Cultivos) y Agroforestal (Cafetales), ya que son las únicas áreas destinadas a la producción agrícola. La evaluación se hará por municipio, según el porcentaje de superficie o área que ocupan las dos categorías en relación a la extensión territorial del municipio. Por ejemplo:

Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
$\geq 33.00\%$	Alto
$\geq 20.00\% \leq 32.00\%$	Medio
$\leq 20.00\%$	Bajo

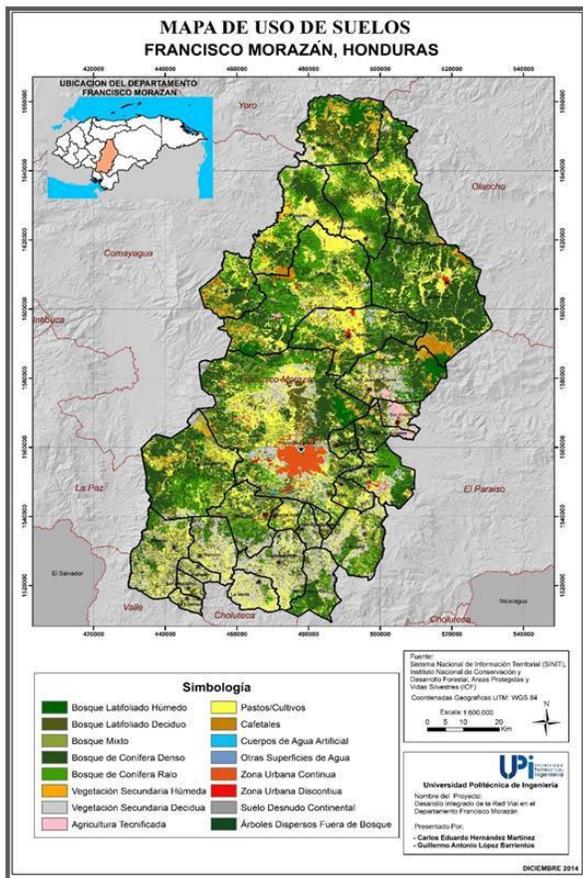


Figura 16, Mapa de Cobertura Forestal y Uso de Suelos, Francisco Morazán

Recordemos que el ICF divide la cobertura de uso de suelos en cinco categorías, es decir que la fracción mínima debería ser 1/5 o 20.00%. Nuestro criterio supone o considera 1/3 de fracción para calificar o jerarquizar con el nivel más alto.

A continuación se desarrollaran las tablas “Jerarquía de Uso de Suelos” para cuatro (4) municipios únicamente, ubicados en varios puntos cardinales del departamento, con la finalidad de ilustrar el proceso de análisis.

Municipio de Marale

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
	≥ 33.00%	Alto
	≥ 20.00% ≤	Medio
Agropecuaria/Agroforestal	≤ 20.00%	Bajo

Tabla 2, Jerarquía de Uso de Suelos, Municipio de Marale

En el municipio de Marale los suelos agrícolas solo representan un 16.03%, es decir, que el Nivel de Aptitud Agrícola es bajo para fines de producción agrícola.

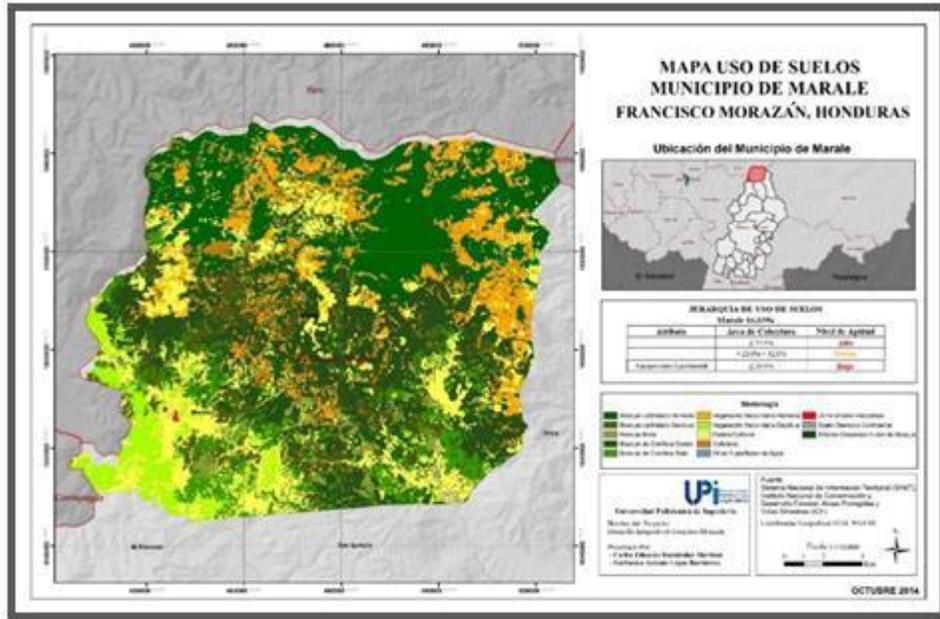


Figura 17, Mapa de Uso de Suelos, Municipio de Marale

Municipio de La Venta

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
Únicamente Pastos y Cultivos	≥ 33.00%	Alto
	≥ 20.00% ≤ 32.00%	Medio
	≤ 20.00%	Bajo

Tabla 3, Jerarquía de Uso de Suelos, Municipio de La Venta

En el municipio de La Venta los suelos agrícolas representan un 38.41%, es decir, que el Nivel de Aptitud Agrícola está en los niveles más altos, según los criterios aplicados.

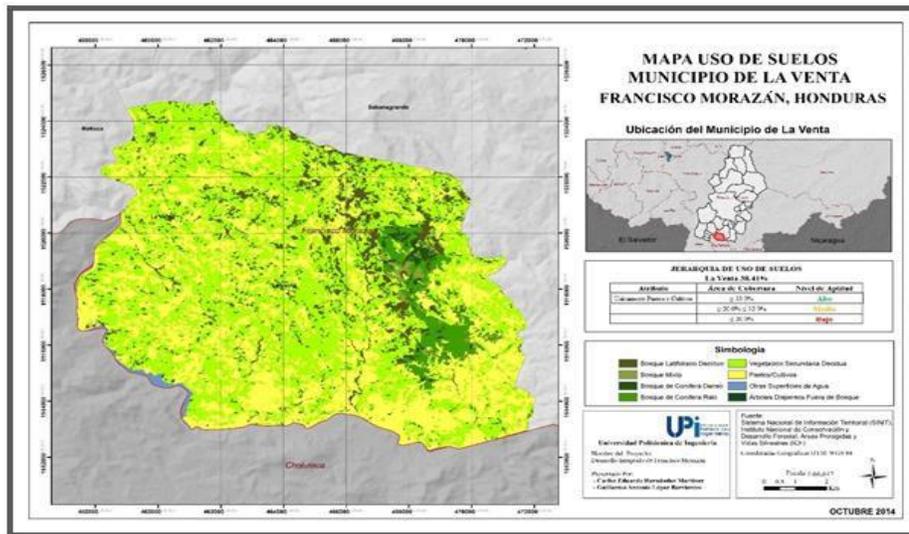


Figura 18, Mapa de Uso de Suelos, Municipio de La Venta

Este municipio carece de cobertura agroforestal (cafetales), pero los suelos agropecuarios representan un 38.74%, dando como resultado el nivel de aptitud más favorable.

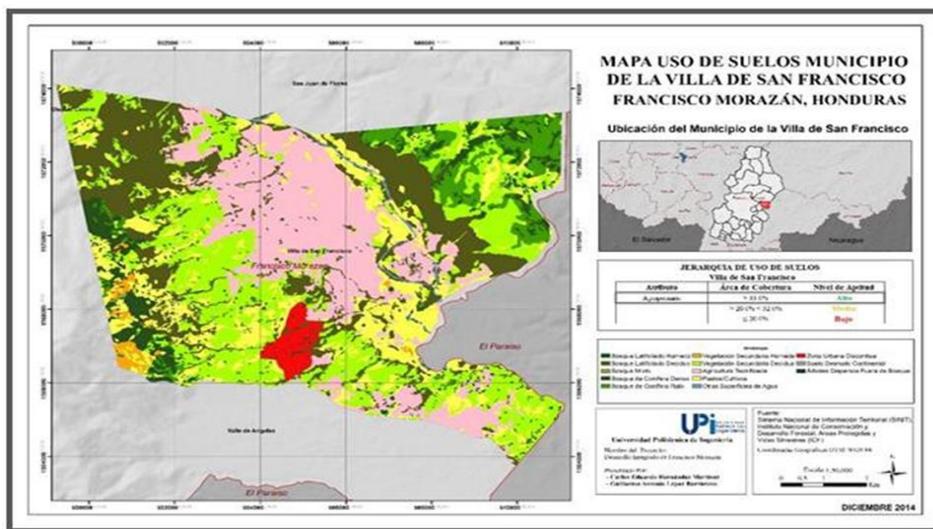


Figura 20, mapa de uso de suelos, municipio de la Villa de San Francisco

Atributo Topografía del Terreno (Pendiente)

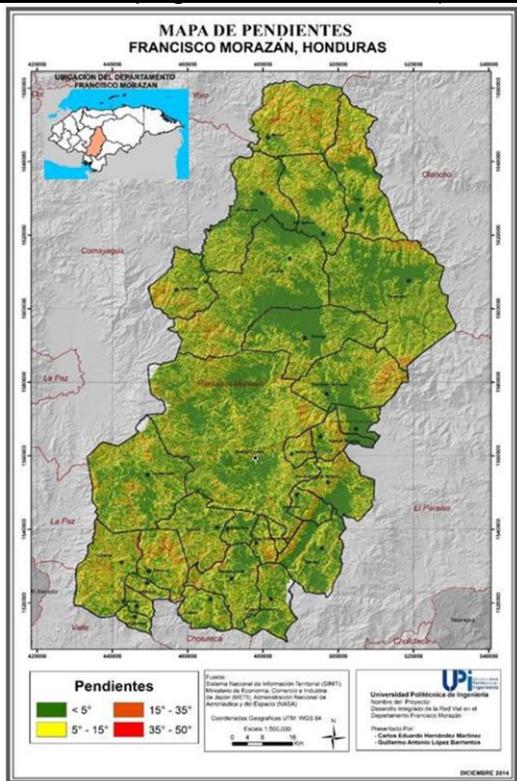


Figura 21, Mapa de Pendientes de Terreno, Departamento de Francisco.

Entre el suelo y la topografía existe una relación mutua. Algunos suelos se erosionan fácil y rápidamente, permitiendo la formación de valles amplios. Otros resisten la erosión, dando lugar a cerros y vertientes escarpadas. Una erosión rápida mantiene el suelo joven y poco profundo, una lenta permite formación de suelos más profundos. Los suelos en laderas empinadas son más secos, en general, menos profundos y poseen colores más claros, a menudo más rojizos que los situados en pendientes suaves. (Thompson & Troeh, 2002)

La topografía de Honduras es sumamente montañosa y accidentada, con fuertes pendientes, suelos poco profundos y recientes.

Analizando el Mapa de Pendientes junto con el Mapa de Uso de Suelos, podemos afirmar que las categorías “Agroforestal” y “Agropecuario” se encuentran por debajo de las pendientes del 15.00%, una percepción razonable ya que las condiciones óptimas para estos cultivos son pendientes suaves. Por ejemplo la caficultura se adapta a suelos con pendientes del 5.00% - 12.00%.

Para valorar el atributo de “Pendiente” se evaluará, por cada municipio, el porcentaje de área que ocupan las pendientes < 15.00% en relación a la extensión territorial del municipio, es decir, se proporcionarán valores específicos de áreas que definan el nivel de aptitud de la pendiente. Por ejemplo:

Área de Pendiente	Nivel de Aptitud
≥ 51.00%	Alto
≥ 30.00% ≤ 50.00%	Medio
≤ 30.00%	Bajo

En el departamento de Francisco Morazán las pendientes menores al 15.00 % representan 2,454.54 km², es decir, un 28.78% de la extensión territorial del departamento. Las pendientes entre el 15.00% - 30.00% ocupan 2,794.34 km²; pendientes entre el 30.00% - 50.00% ocupan 2,236.55 km² y las mayores al 50.00% 1,042.76 km².

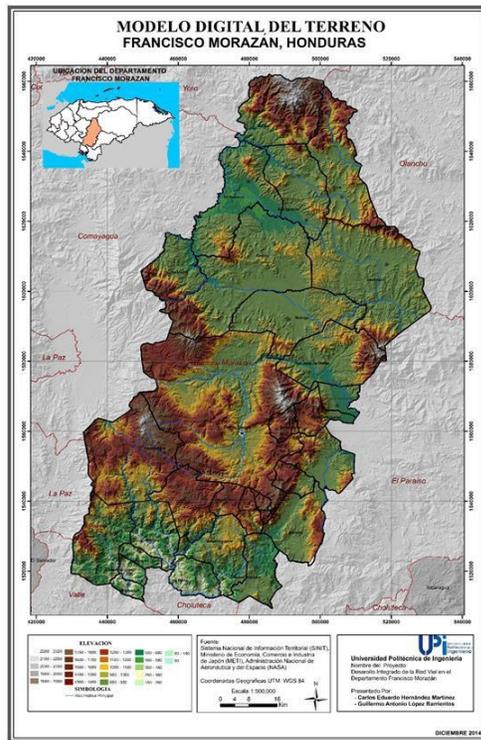


Figura 22, Modelo de Elevación Digital de Terreno

A continuación se desarrollarán las tablas “Jerarquía de Pendientes” para los mismos cuatro (4) municipios anteriores, continuando con la Figura del proceso de análisis. Todos los mapas referentes a “Pendientes” se adjuntarán al final del documento

Área de Pendiente	Nivel de Aptitud
≥ 51.00%	Alto
≥ 30.00% ≤ 50.00%	Medio
≤ 30.00%	Bajo

Municipio de Marale

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
	≥ 25.00%	Alto
Pendiente <15.00%	≥ 15.00% ≤ 24.00%	Medio
	< 15.00%	Bajo

En el municipio de Marale 86.52 km² (18.18%) posee pendientes menores al 15.00%, esto quiere decir que su nivel de aptitud es intermedio según el criterio aplicado.



Figura 23, Mapa de Pendientes, Municipio de Marale

Municipio de La Venta

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
	≥ 25.00%	Alto
Pendiente < 15.00%	≥ 15.00% ≤ 24.00%	Medio
	< 15.00%	Bajo

Tabla 7, Jerarquía de Pendientes, Municipio de La Venta

Al igual que el municipio anterior, La Venta se encuentra con un nivel apto medio en relación a sus pendientes, ya que únicamente 22.73 km² (18.12%) del territorio posee pendientes < 15.00%.

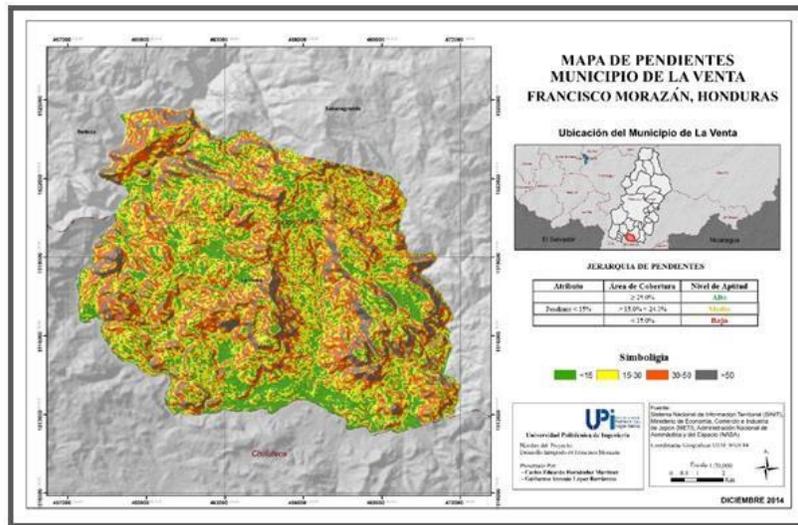


Figura 24, Mapa De Pendientes, Municipio De La Venta

Municipio de Lepaterique

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
	≥ 25.00%	Alto
Pendiente < 15.00%	≥ 15.00% ≤ 24.00%	Medio
	< 15.00%	Bajo

Tabla 8, Jerarquía de Pendientes, Municipio de Lepaterique

El municipio vuelve a estar en el nivel intermedio de la evaluación, 130.78 km² de territorio posee pendientes < 15.00%, esto representa un 24.17% del área total del municipio.

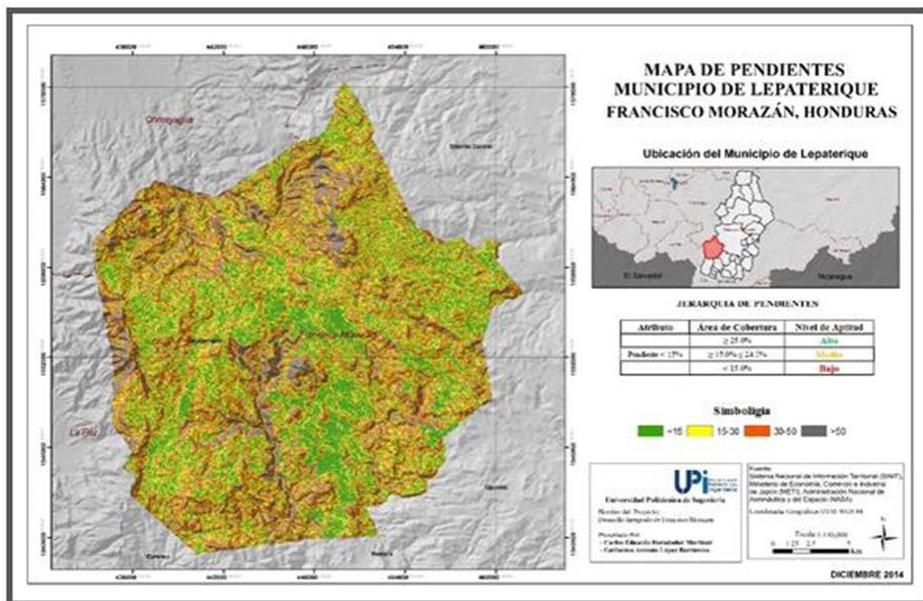


Figura 25, Mapa de Pendientes, Municipio de Lepaterique

Municipio de la Villa de San Francisco

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
	≥ 25.00%	Alto
Pendiente < 15.00%	≥ 15.00% ≤ 24.00%	Medio
	< 15.00%	Bajo

Tabla 9, Jerarquía de Pendientes, Municipio de la Villa de San Francisco

Igualmente en la Villa de San Francisco el nivel de aptitud es medio, 20.38 km² de municipio tiene pendientes < 15.00%, esto es, un 24.16% del área territorial.

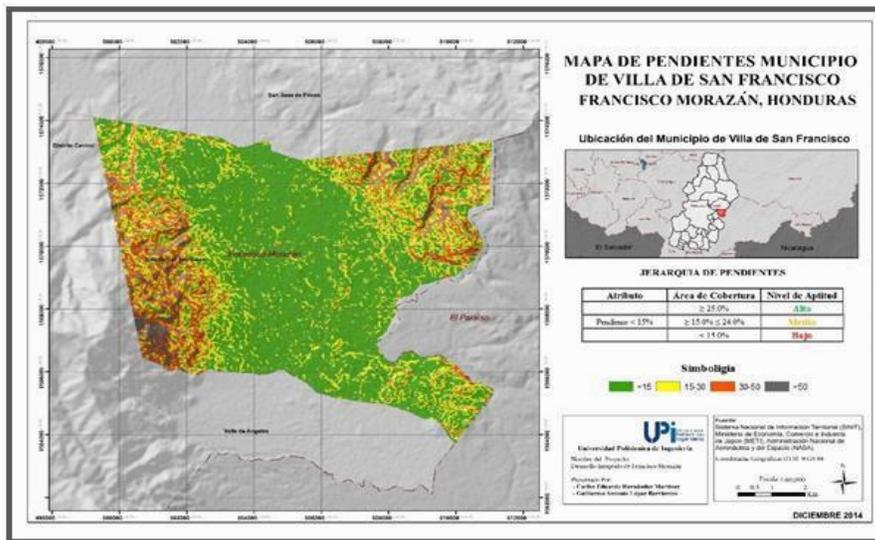


Figura 26, Mapa de Pendientes, Municipio de la Villa de San Francisco

Atributo Recurso Hídrico

Un análisis prudente evidencia la importancia del recurso hídrico en relación al uso de los suelos, nos referimos a zonas que garantizan la disponibilidad de agua para las tierras trabajadas a nivel agrícola, siempre y cuando este recurso se maneje de forma inteligente y sostenible.

Ríos y Cuencas Hidrográficas

Una cuenca es el territorio cóncavo por el cual escurre el agua lluvia hacia un río, en todo su recorrido hasta que desemboca en el mar. En este contexto lito hidrográfico se desarrollan las actividades agrícolas. La cuenca hidrográfica además se subdivide en subcuencas y micro cuencas correspondiendo estas a las quebradas más pequeñas, pudiendo ser que escurre en ellas agua solo de invierno. La microcuenca se constituye entonces en la unidad básica de planificación del desarrollo donde participan los recursos naturales, la agricultura y las personas que hacen posible ese desarrollo, exceptuando las áreas protegidas.

Honduras posee 21 cuencas hidrográficas, 19 continentales y 2 insulares. De las 21 cuencas mencionadas, cuatro de ellas abarcan el departamento de Francisco Morazán: Cuenca del Río Ulúa, Cuenca del Río Nacaome, Cuenca del Río Choluteca, Cuenca del Río Patuca. Según la base de datos del SINIT el departamento cuenta con 26 ríos principales, algunos de ellos: Río del Hombre, Río Grande, Río Guacerique, Río Choluteca, Río Azacualpa, entre otros. Para valorar el atributo de “Recurso Hídrico” se evaluará, por cada municipio, la confluencia Río-Municipio que existe, es decir, la cantidad de ríos que atraviesan cada municipio. A partir de esto, proporcionaremos los niveles de aptitud como se ha venido desarrollando en los atributos anteriores. Por ejemplo:

Confluencia Río-Territorio	Nivel de Aptitud
Dos o más	Alto
Uno	Medio
Ninguno	Bajo

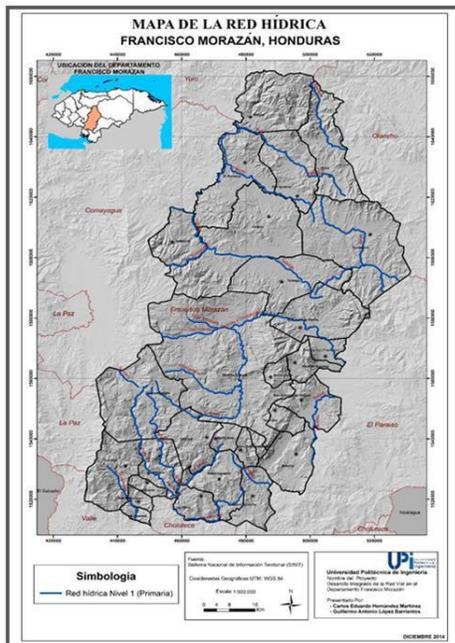


Figura 27, Mapa de Recurso Hídrico, Departamento de Francisco Morazán.

Siguiendo el mismo esquema se desarrollaran las tablas “Jerarquía de Recurso Hídrico”. Todos los mapas referentes a “Recurso Hídrico” se adjuntaran al final del documento.

Municipio de Marale

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
Recurso Hídrico	Dos o más	Alto
	Uno	Medio
	Ninguno	Bajo

Tabla 10, Jerarquía de Recurso Hídrico, Municipio de Marale

El **Río Siale** está ubicado en los límites del municipio, al suroeste. Es el único río que concurre en el territorio, esto quiere decir que su nivel de aptitud es intermedio según el criterio aplicado.



Figura 28, Mapa de Recurso Hídrico, Municipio de Marale

Municipio de la Venta

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
Recurso Hídrico	Dos o más	Alto
	Uno	Medio
	Ninguno	Bajo

Tabla 11, Jerarquía de Recurso Hídrico, Municipio de La Venta

Verdugo, Nacaome y Moramulca son los ríos que se encuentran en el municipio de La Venta. Se sitúan en los límites del municipio al este y oeste. Al ser tres ríos, el nivel de aptitud es el más alto.

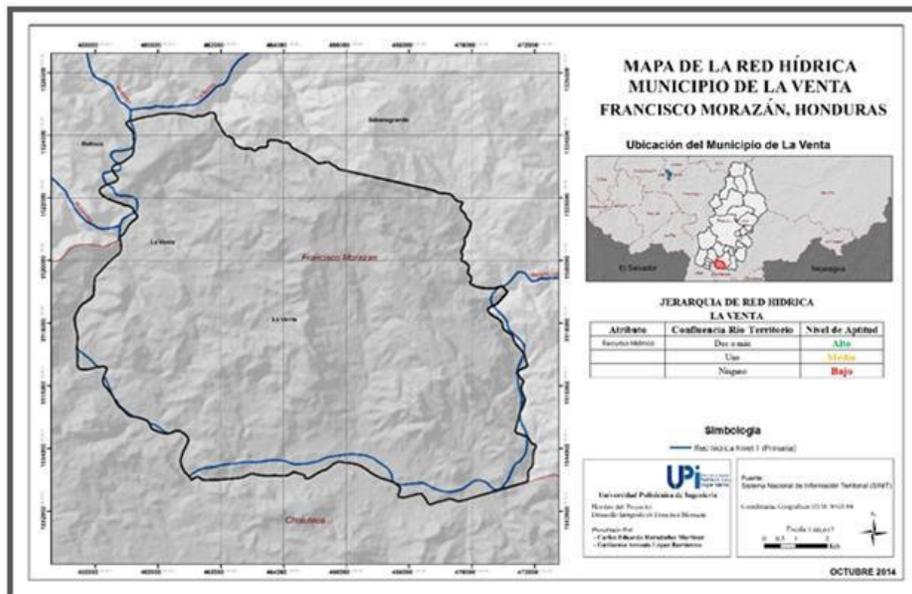


Figura 29, Mapa de Recurso Hídrico, Municipio de La Venta

Municipio de Lepaterique

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
Recurso Hídrico	Dos o más	Alto
	Uno	Medio
	Ninguno	Bajo

Tabla 12, Jerarquía de Recurso Hídrico, Municipio de Lepaterique

El municipio se evalúa con el nivel más alto de aptitud ya que son cuatro ríos los que atraviesan el territorio: Río Azacualpa, Río Lepaterique, Río Grande, Río Jupuará.

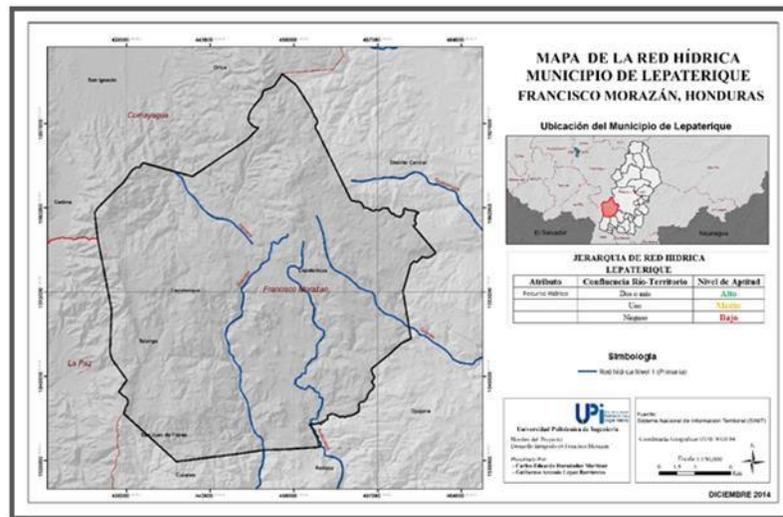


Figura 30, Mapa de Recurso Hídrico, Municipio de Lepaterique

Municipio de la Villa de San Francisco

Los valores obtenidos como resultado de la jerarquización se presentan en la siguiente tabla:

Atributo	Área de Cobertura	Nivel de Aptitud
Recurso Hídrico	Dos o más	Alto
	Uno	Medio
	Ninguno	Bajo

Tabla 13, Jerarquía de Recurso Hídrico, Municipio de la Villa de San Francisco

El **Río Choluteca** atraviesa el municipio analizado. Es el único río que concurre en el territorio, esto quiere decir que su nivel de aptitud es intermedio según el criterio aplicado.

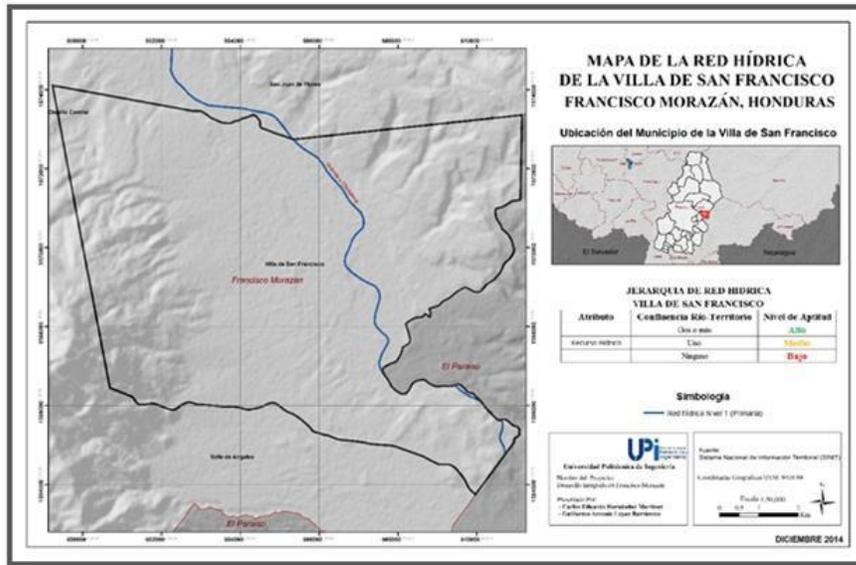


Figura 31, Mapa de Recurso Hídrico, Municipio de la Villa de San Francisco

Municipios Aptos

Después de observar de forma concertada los atributos Suelo – Pendiente – Agua, y la sinergia de los mismos para lograr un nuevo análisis basado en la comparación de las variables, siguiendo los procesos de nuestro “Diagrama de Modelo Lógico” señalado en el capítulo tercero. Este nuevo análisis se apoya en las tablas de Jerarquías generadas anteriormente y la equiparación de estas para producir una nueva tabla que muestre el Nivel de Aptitud Final para cada municipio en materia agrícola y agroforestal.

Para valorar el “Nivel de Aptitud Final” se evaluará la aptitud que tuvo cada municipio en los tres atributos analizados jerárquicamente (subcapítulos anteriores). Se proporcionaran valores numéricos según la aptitud obtenida en cada atributo, de la siguiente forma: Alto = 3, Medio = 2, Bajo = 1. De esta manera estimaremos rangos de valor numérico mediante una sumatoria, por ejemplo:

$$\text{Alto} - \text{Medio} - \text{Bajo} = 3 + 2 + 1 = 6$$

A dicho valor numérico se le asignará un carácter alfabético, es decir:

$$A = 8 \text{ y } 9$$

$$B = 6 \text{ y } 7$$

$$C = 4 \text{ y } 5$$

$$D = 3$$

Siendo “A” el nivel más alto, “B” un nivel intermedio, “C” nivel bajo y “D” un nivel deficiente

Matriz de Aptitud Final				
Atributo Municipio	Uso de Suelo	Pendiente	Recurso Hídrico	Nivel de Aptitud Final
Municipio 1	Bajo (1)	Medio (2)	Medio (2)	C (5)
Municipio 2	Alto (3)	Medio (2)	Alto (3)	A (8)
Municipio 3	Medio (2)	Medio (2)	Alto (3)	B (6)
Municipio 4	Bajo (1)	Bajo (1)	Bajo (1)	D (3)

A continuación se expresan los valores finales tabulados para los municipios del departamento de Francisco Morazán:

Matriz de Aptitud Final				
Atributo Municipio	Uso de Suelo	Pendiente	Recurso Hídrico	Nivel de Aptitud Final
Alubaren	Medio	Medio	Bajo	C
Cedros	Alto	Alto	Alto	A
Curaren	Medio	Medio	Alto	B
Distrito Central	Medio	Alto	Alto	A
El Porvenir	Medio	Bajo	Alto	B
Guaimaca	Bajo	Bajo	Alto	C
La Libertad	Alto	Medio	Medio	B
La Venta	Alto	Medio	Alto	A
Lepaterique	Medio	Medio	Alto	B
Maraita	Medio	Medio	Medio	B
Marale	Bajo	Medio	Medio	C
Nueva Armenia	Bajo	Medio	Medio	C
Ojojona	Bajo	Alto	Alto	B
Orica	Medio	Bajo	Alto	B
Reitoca	Medio	Medio	Alto	B
Sabanagrande	Medio	Medio	Alto	B
San Antonio de Oriente	Bajo	Bajo	Medio	C
San Buenaventura	Bajo	Alto	Bajo	C
San Ignacio	Medio	Medio	Alto	B
San Juan de Flores	Bajo	Medio	Alto	B
San Miguelito	Medio	Bajo	Medio	C
Santa Ana	Alto	Alto	Medio	A
Santa Lucía	Bajo	Bajo	Bajo	D
Talanga	Alto	Medio	Alto	A
Tatumbula	Alto	Alto	Bajo	B
Valle de Angeles	Bajo	Bajo	Bajo	D
Vallecillo	Medio	Medio	Alto	B
Villa de San Francisco	Alto	Medio	Medio	B

Figura 32, Nivel de Aptitud Final, por municipio

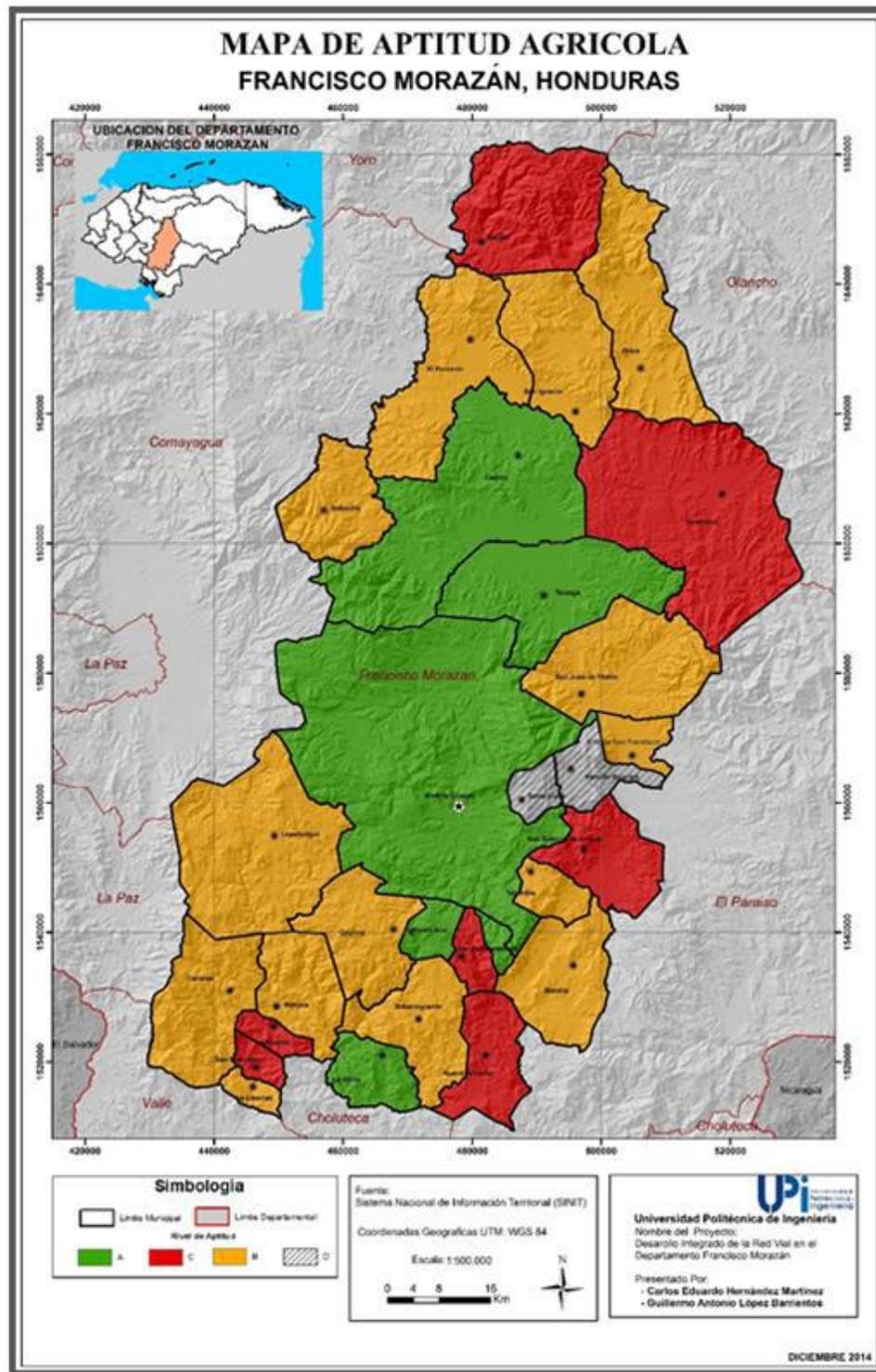


Ilustración 32, Nivel de Aptitud Final, por municipio.

Inventario de Red Vial y Asentamientos Humanos

El mapa del inventario del sistema vial para el departamento de Francisco Morazán fue elaborado desde cero, es decir, las capas vectoriales de las vías terrestres se digitalizaron carretera por carretera en todo el departamento. La clasificación de las carreteras se realizó de manera similar a las de la Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda (SOPTRAVI):

1. Carretera Principal Pavimentada.
2. Carretera Secundaria Pavimentada.
3. Carretera Principal No Pavimentada.
4. Carretera Secundaria No Pavimentada.
5. Carretera Terciaria.

Una de las facilidades de las plataformas de información geográfica son sus herramientas para calcular longitudes, áreas y hasta volúmenes. Para el caso, se describe una tabla comparativa entre los kilómetros de carretera del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT) versus la digitalización creada por los autores de este informe:

SINIT (2005)

Descripción	Km
Carretera afirmado sólido, dos o más vías (Carretera Principal Pavimentada)	279.89
Carretera afirmado sólido, una vía (Carretera Secundaria Pavimentada)	57.00
Carretera revestimiento suelto, dos o más vías (Carretera Principal No Pavimentada)	297.51
Carretera revestimiento suelto, una vía (Carretera Secundaria No Pavimentada)	333.88
Carretera transitable en tiempo seco, revestimiento suelto (Carretera Terciaria)	1,659.80
Sendero o Vereda	8,269.13
Vereda de Rodada	1,294.51
TOTAL	12,191.72
TOTAL (Sin sendero y veredas)	2,628.08

Digitalizada (2014)

Descripción	Km
Carretera Principal Pavimentada	416.41
Carretera Secundaria Pavimentada	38.48
Carretera Principal No Pavimentada	120.07
Carretera Secundaria No	145.16
Carretera Terciaria	3,512.74
TOTAL	4,232.85

Tabla 17, Clasificación de Carreteras propias del documento

¿Por qué se digitalizaron nuevamente las carreteras y no se trabajó con la “capa vectorial” del SINIT de 2005?

La razón más importante por la cual no se utilizó la base de datos del SINIT fue porque la clasificación “Sendero y Vereda” y “Vereda de Rodada” presentaba errores. Esto lo descubrimos en el momento de colocar la capa vectorial del SINIT sobre los visores de Google Maps (Hybrid) explicados en el tercer capítulo. Aquí un ejemplo de ello:

Asentamientos Humanos

La información pertinente al mapa de asentamientos humanos, fue tomada de un trabajo de digitalización realizado por alumnos de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) en conjunto con la Secretaria de Cooperación Externa y Planificación (SEPLAN) en el departamento de Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT), en el año 2013. Los alumnos fueron supervisados por la Ingeniera Nancy Núñez.

La metodología para realizar el mapa fue similar a las expuestas en este documento, el mapa describe la expansión territorial de los asentamientos humanos en el departamento de Francisco Morazán, es importante destacar que el mapa fue digitalizado para todo el territorio nacional.

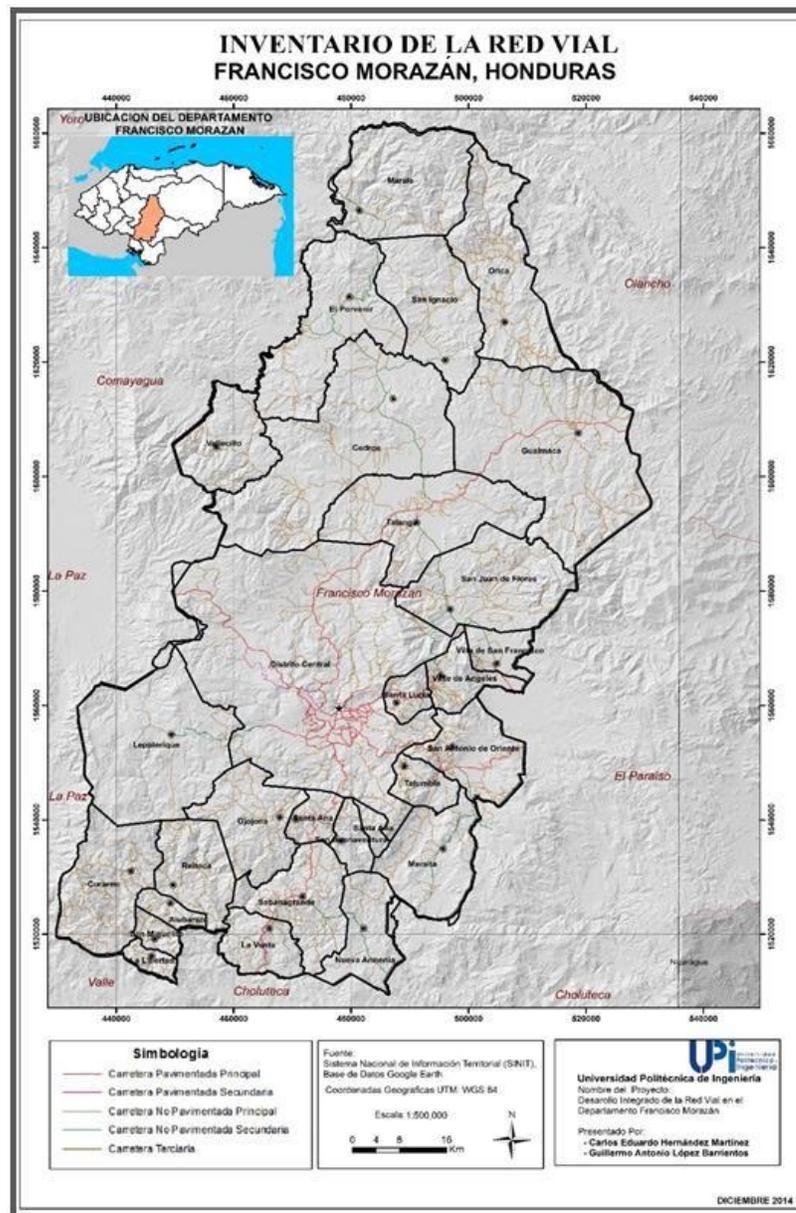


Figura 33, Inventario de la Red Vial de Fco. Morazán.

Una información extra presentada en este informe es la tabla de distancias entre

municipios de Francisco Morazán, junto con sus tiempos de recorridos.

		DEPARTAMENTO DE FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS																															
		TABLA DE DISTANCIA Y TIEMPO APROXIMADO																															
KILOMETROS	HOURS																															HOURS	
		1.60	1.32	1.15	1.56	1.38	1.95	0.72	1.00	1.00	1.95	1.20	0.50	1.66	1.72	0.62	0.62	0.48	1.52	0.85	1.77	0.49	29.00	0.95	0.32	36.00	1.05	2.22					
		2.92	0.67	3.16	3.00	1.00	1.06	2.29	2.37	3.33	1.50	1.45	3.27	0.23	1.12	2.06	1.42	3.12	2.35	0.85	1.42	2.00	2.55	1.84	2.04	2.55	3.83						
		3.35	0.36	0.83	3.16	0.94	2.05	2.23	45.00	2.26	1.72	1.00	2.94	1.83	1.63	1.70	0.32	0.92	3.00	1.70	1.43	0.55	1.53	1.18	1.15	1.62							
		3.63	3.05	0.80	1.55	2.76	2.83	4.10	1.96	1.91	3.73	0.41	1.60	2.53	1.88	3.60	2.76	4.90	1.88	2.45	3.00	2.31	2.56	3.00	4.30								
		1.02	1.58	2.16	2.28	2.46	0.38	2.50	1.95	0.83	3.16	2.06	1.86	1.93	0.35	1.15	3.58	0.72	1.93	1.66	1.76	1.41	1.38	1.90									
		2.46	2.00	2.13	2.31	1.28	2.45	1.80	0.40	3.00	1.90	1.70	1.78	1.00	1.00	4.00	0.56	1.76	1.50	1.61	1.26	1.23	2.10										
		1.35	2.56	2.65	3.83	1.78	1.73	3.55	1.08	1.40	2.33	1.71	3.40	2.63	4.81	2.83	1.70	2.26	2.11	2.36	2.83	4.11											
		1.38	2.58	0.53	0.46	2.30	1.11	0.15	0.08	0.43	2.15	1.36	3.60	0.45	1.00	1.58	0.86	1.11	1.58	2.85													
		1.93	2.65	1.66	0.86	2.36	2.33	1.21	1.45	1.10	2.23	1.75	3.55	0.90	1.38	1.66	1.48	1.23	1.95	2.93													
		2.81	1.08	1.35	2.53	2.41	1.30	0.56	1.12	2.41	1.30	3.85	1.73	1.31	1.06	0.83	1.31	1.06	3.13														
		2.91	2.37	0.91	3.56	2.46	2.25	2.33	0.73	1.55	3.96	1.11	2.33	2.05	2.16	1.81	1.76	2.28															
		0.78	2.65	1.55	0.45	1.16	0.61	2.48	1.68	3.90	1.90	0.75	1.31	1.16	1.41	1.66	3.18																
		2.16	1.48	0.38	0.90	0.25	1.98	1.20	3.41	1.41	0.60	0.83	0.68	0.93	1.40	2.70																	
		3.30	2.20	1.98	2.06	0.70	1.28	4.35	0.85	2.06	1.80	1.90	1.55	1.51	2.38																		
		1.16	2.11	1.46	3.20	2.40	4.63	2.61	1.46	2.03	1.88	2.15	2.60	3.90																			
		0.96	1.00	2.08	1.30	3.51	1.51	0.36	0.91	0.78	1.03	1.50	2.80																				
		0.85	1.81	0.73	3.36	1.16	0.83	0.58	0.35	0.83	0.50	2.65																					
		0.31	0.91	3.75	0.48	1.70	1.43	1.55	0.90	1.15	2.65																						
		0.73	3.36	1.16	1.90	1.63	1.75	1.38	1.35	2.15																							
		3.68	0.45	1.15	0.55	0.91	0.30	0.26	2.08																								
		3.30	3.30	3.63	3.18	3.45	3.90	3.35																									
		0.78	1.38	0.65	0.90	1.36	2.66																										
		0.96	0.56	0.30	0.78	2.48																											
		1.18	0.71	0.68	0.65																												
		0.63	0.83	2.43																													
		0.53	2.35																														
		2.30																															
		34.30																															
		85.50	86.80																														

Tabla 18, Distancias y tiempos aproximados entre municipios del departamento de Francisco Morazán.

Mapa de Aptitud en Infraestructura Productiva

Después de todos los procedimientos realizados hasta ahora, hemos finalizado con la preparación de toda la información necesaria para analizar el potencial del departamento de Francisco Morazán en materia de Infraestructura Productiva. A continuación repasaremos la información disponible:

1. Mapa de Aptitud Agrícola.
2. Inventario de la Red Vial de Francisco Morazán.
3. Mapa de Asentamientos Humanos.

Estas son las tres referencias que dieron las pautas para crear nuestro mapa de aptitud en infraestructura productiva.

Los alcances del mapa son identificar qué municipios tienen los niveles más altos en capacidad agrícola en relación a los kilómetros de carretera terciaria que son necesarios pavimentar junto con los asentamientos humanos que radican en el municipio y estimar la población.

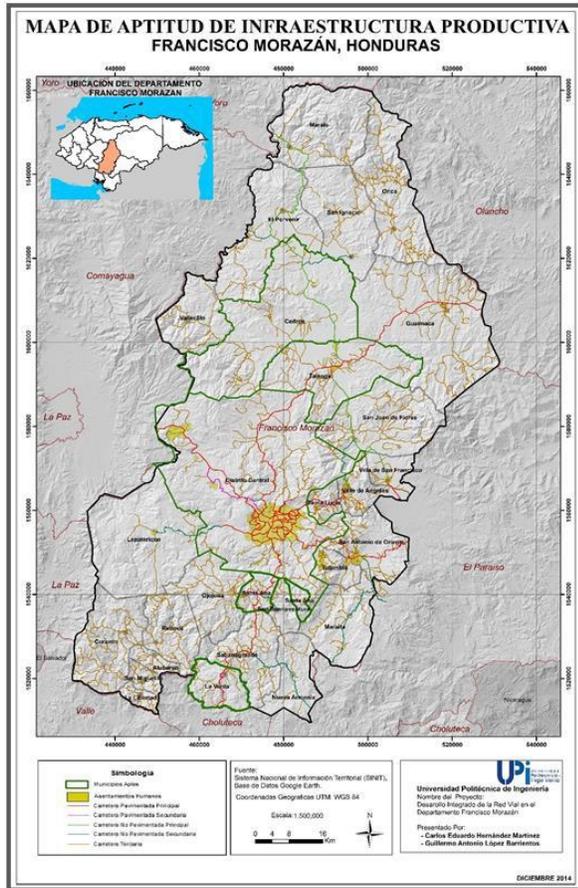


Figura 34, Mapa de Aptitud en Infraestructura Productiva (Mapa visible)

Los mapas de infraestructura productiva para los cinco municipios con los niveles más altos en capacidad agrícola, detallan los kilómetros de carretera terciaria que tiene el territorio.

En el siguiente capítulo se establecerán las investigaciones técnico-económicas que determinarán si es factible para el país invertir en una estabilización de todas estas carreteras terciarias, para poder desarrollar la comunicación entre asentamientos y el movimiento de mercados.

Capítulo Cinco “Estabilización de Suelos”

Uno de los grandes problemas que afrontan la gran mayoría de agricultores de nuestro país, es la falta de una red vial adecuada para su uso. A su vez el Estado de Honduras no desarrolla la infraestructura necesaria debido a que la misma presenta variables negativas que incrementarían los costos para su pavimentación.

Muchas de estas zonas aptas para la agricultura se presentan en sitios donde la topografía es desfavorable para la red vial, debido a esto, se propone buscar un método de estabilización donde el factor económico sea el más adecuado.

Varios países desarrollados y en vías de desarrollo empezaron a utilizar métodos de estabilización en caminos agrícolas para el crecimiento de dicho sector:

“Hace ya más de 50 años que en España empezaron a estabilizarse en algunos caminos agrícolas los suelos de los mismos” (ANCADE & IECA, 2002)

La estabilización de la arcilla con cal en la construcción tiene más de 5.000 años de antigüedad. Las Pirámides de Shersi en el Tíbet fueron construidas con mezclas compactadas de arcilla y cal, en la China y la India a lo largo de la historia, se ha utilizado de varias maneras la estabilización con cal, sin embargo, fue en los EE.UU., a finales de 1940; cuando se aplicaron a las mezclas de cal y suelo las técnicas y ensayos de la mecánica de suelos que se desarrollaban en aquella época, el tratamiento de arcillas con cal comenzó en 1950, y la técnica aumentó su popularidad con gran rapidez. Se han construido miles de kilómetros de carreteras, así como aeropuertos principales como el de Dallas Fort Worth en EE.UU, sobre arcillas estabilizadas.

(Universidad de EL Salvador, 2009).

Esta técnica también se practica extensamente en Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, Alemania, Suecia, Guatemala y Francia. Desde entonces, la estabilización de los suelos arcillosos con cal se ha convertido en una alternativa económicamente beneficiosa a los métodos tradicionales de construcción.

Por lo tanto, este apartado, tiene por objetivo ilustrar diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la subrasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal y cemento. Sin embargo, debe destacarse la importancia que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos.

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes.

Uno de los factores más significativos, o quizá el de mayor valor, que interviene y es importante conocer en los procesos de estabilización de suelos es la “Geología”, por lo que se dedicarán algunos subcapítulos para detallar acuciosamente su importancia.

Geología y Su Importancia

Antes de comenzar una estabilización en una carretera es necesario conocer ciertos factores del suelo, por lo cual es importante tomar en consideración los estudios geológico - geotécnicos a diferentes niveles, de acuerdo a la categoría de la carretera.

Durante la fase de planeación para la definición del Diseño Geométrico, se desarrollarán los estudios preliminares. Para efectos de un buen conocimiento básico será importante la obtención de toda la información disponible referente a la geología-geotecnia del área de estudio, para lo cual se indica seguidamente la mínima información requerida:

Información Básica Requerida:

- a. Hojas cartográficas de topografía Esc. 1:50,000.
- b. Hojas cartográficas de geología Esc. 1:50,000.
- c. Estratigrafía general de la zona.
- d. Fotografías aéreas 1:20,000 o 1: 40,000 o similares.
- e. Estudios anteriores de todas las carreteras y/o caminos vecinales.
- f. Cualquier otro estudio geológico aplicado en otras obras de ingenierías (presas, puentes, entre otros).

- g. Dependiendo de la magnitud del estudio o carretera de alta categoría, obtener la información de sismicidad que pueda afectar el área.

Estudios Básicos:

Etapa 1

- a. Estudios geomorfológicos.
- b. Estudios fotogeológicos.
- c. Reconocimiento geológico superficial.
- d. Mapa geológico.
- e. Informe geológico.

Etapa 2

- a. Levantamiento geológico.
- b. Levantamiento geofísico superficial.
- c. Mapa geológico.
- d. Informe geológico.

Marco Geológico

Según la información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Francisco Morazán presenta 14 formaciones geológicas como se observa en la siguiente figura:

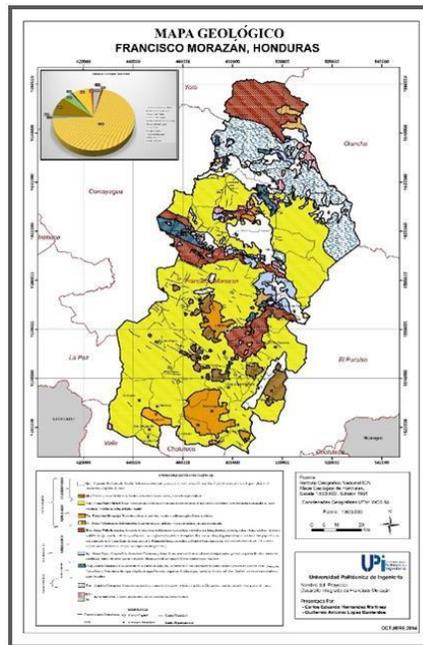


Figura 35, Mapa Geológico de Francisco Morazán.

La geología de este departamento está pobremente ilustrada ya que no existe un mapeo geológico a escala 1:50,000 y aun peor no existe ningún mapeo detallado de áreas específicas. El departamento de Francisco Morazán se encuentra ubicado en su mayoría en rocas volcánicas ácidas e intermedias (Tpm) 70.17 %, sedimentos (Kva) del grupo Valle de Ángeles 9.91%, esquistos del Buzamiento (Pzm) del Paleozoico 7.88% estas son las rocas dominantes de esta porción de Honduras. Ver cuadro y diagrama adjunto.

**Los límites de los contactos geológicos necesitan ser revisados y actualizados para todo este sector, debido a las incongruencias que muestra el mapa.*

El presente cuadro nos muestra la extensión territorial de la geología en el departamento.

Clasificación	Unidad Geológica	Extensión Estratigráfica Territorial (Km2)
Depósitos Recientes de Aluvión	Qal	291.72
Colados y Conos Basálticos	Qb	70.36
Grupo Padre Miguel	Tpm	6,006.00
Formación Matagalpa	Tm 1	11.54
Rocas Volcánicas no Diferenciadas	Tv	38.61
Grupo Valle de Ángeles	Kva	858
Grupo Yojoa	Ky 3	43.2
Grupo Honduras	JKhg	60.06
Esquistos Cacaguapa	Pzm	686.4
Rocas Intrusivas	Kti	85.8
Rocas Intrusivas	Ki	28.31
Extensión Territorial de Francisco Morazán 8,5		80 Km2

Tabla 19, Extensión Territorial de las unidades estratigráficas de Francisco Morazán

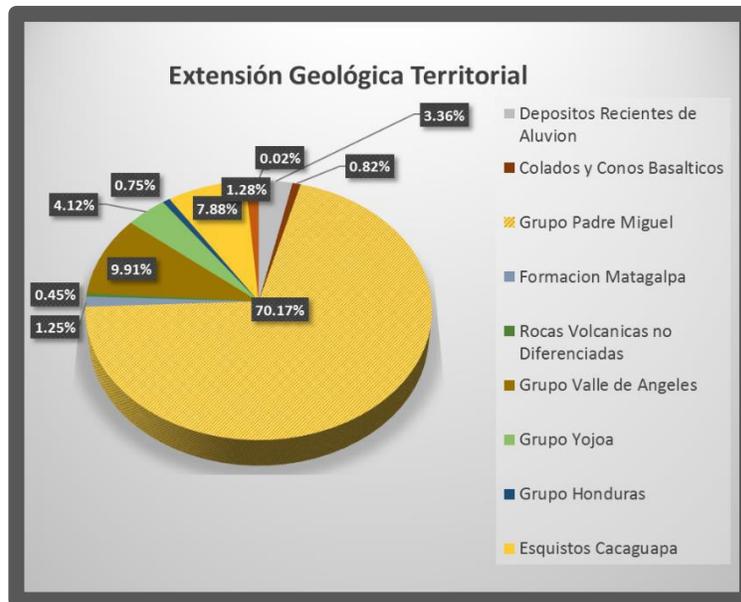


Diagrama 2, Diagrama pastel, extensión geológica territorial

A lo largo del tiempo los movimientos tectónicos han resquebrajado las rocas y creado una porosidad secundaria y una permeabilidad que permite una intemperización más acelerada y por lo tanto la creación de suelos arcillosos que junto a las pendientes empinadas de las laderas y los cortes de taludes para la construcción de obras de infraestructuras provocan inestabilidad que dañan muchas de esas obras con el acarreo de sedimentos y material detrítico.

Características Geológicas - Geotécnicas de Algunas Rocas en Honduras

La siguiente información fue extraída del manual de carreteras de Honduras. (SOPTRAVI, 1996)

Esquistos Metamórficos

- a. Fácilmente intemperizable tanto química como físicamente.
- b. Muy erosionable
- c. Inestable cuando en un corte de carretera, sus planos de esquistocidad tienen una inclinación favorable al deslizamiento.
- d. Son casi impermeables lo que trae como consecuencia que en los taludes con gruesos depósitos de suelos residuales, estos siendo más permeables, se saturan fácilmente reduciéndose su esfuerzo efectivo entre los granos, produciéndose los corrimientos o deslizamientos.
- e. Su capacidad de soporte es alta cuando la roca está sana, sin embargo ésta disminuye cuando es intemperizada, lo cual se debe verificar con las pruebas de laboratorio.

Rocas Carbonatadas: Grupo Yojoa

- a. Rocas duras cuando tienen poca contaminación arcillosa, por lo que triturada puede ser buena como material de base con ciertos análisis previos de laboratorio en cuanto a su posible reacción química por el efecto de disolución que posee al contacto con aguas con alto contenido de ácido carbónico.
- b. Como capacidad de soporte se tiene que tener cuidado con su estructura Kárstica por lo que se requieren algunas investigaciones con perforaciones.
- c. Por su estructura de estratificación y fracturación, sus taludes de los cortes pueden ser inestables dependiendo de la orientación, inclinación, apertura y rugosidad de sus planos.
- d. Son rocas muy permeables por la conexión de sus estructuras primarias (planos de estratificación) y sus estructuras secundarias (planos de fracturas y los Karts).
- e. Los taludes en esta roca pueden quedar expuestos dependiendo de la estabilidad de sus estratos y bloques fracturados.

Rocas del Grupo Valle de Ángeles

Formación de lutitas y limolitas.

- a. Son muy erosionables.
- b. Son compresibles.
- c. Son impermeables pero su estructura laminar da lugar a la absorción de agua por lo que son saturables y expandibles.
- d. Tienen un alto índice de plasticidad por su contenido arcillo-limoso.

Rocas Volcánicas

Ignimbritas

- a. Trituradas pueden servir para material de base y como agregados para el concreto, teniendo cuidado con las ignimbritas riolíticas muy potásicas por sus reacciones químicas con los componentes químicos del cemento.
- b. Como rocas duras pueden utilizarse en la construcción de muros de mampostería.
- c. Tienen excelente capacidad de soporte.

Tobas

Las tobas de dureza media a suave son los materiales de roca más conocidos por su gran abundancia en toda la superficie de Honduras, y dadas sus excelentes condiciones y propiedades geomecánicas son las de mayor uso como material selecto para diferentes tipos de rellenos y su facilidad de explotación.

Rocas Ígneas Extrusivas (Lavas)

Basaltos

Son las rocas con mejores propiedades geotécnicas.

- a. Alto peso específico.
- b. No presenta ninguna reacción con ningún componente químico principalmente con los del cemento con los cuales tiene que asociarse, por lo que es uno de los mejores materiales para ser usados como agregados para el concreto.

Andesitas

Son rocas con propiedades similares a los Basaltos pero con mayor facilidad de intemperización química y originalmente fracturada.

Rocas Ígneas Intrusivas

Afloran en su mayoría rocas graníticas de alta dureza, granodioritas, entre otros; las cuales generalmente por su exposición en la superficie son de difícil explotación tanto por su dureza como por los accesos, siempre con alguna excepción que de ser posible serán buenos materiales de base y agregados.

Aluviones

Son los materiales de mayor uso en los proyectos como agregados para el concreto, ya sean solo tamizados o triturados por su facilidad de explotación en las zonas de depósito de los ríos, descritas anteriormente.

Criterios Geotécnicos para la Estabilización de Suelos

1. Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso de ser menor o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el ingeniero responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, estabilización con aditivos (cal o cemento) que mejoran las propiedades del suelo, estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros) o cambiar el trazo vial si las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.
2. Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el ingeniero responsable.
3. La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la capa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena, a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular, a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada.
4. Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas. (MTC, 2013)

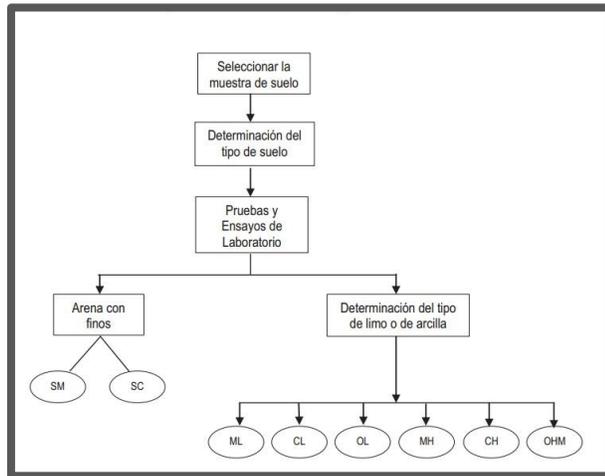


Diagrama 3, Proceso para identificación del tipo de suelo. Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Perú (Pág. 109)

Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

1. Tipo de suelo a estabilizar.
2. Uso propuesto del suelo estabilizado.
3. Tipo de aditivo estabilizador de suelos.
4. Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará.
5. Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador.
6. Disponibilidad del equipo adecuado.
7. Costos comparativos.

El siguiente diagrama sintetiza un procedimiento para determinar el método apropiado de estabilización:

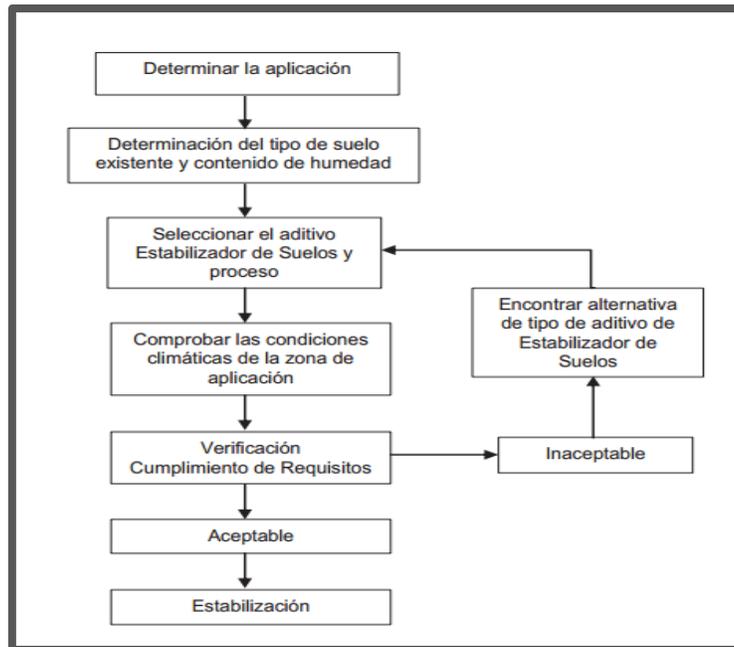


Diagrama 4, Proceso de Selección del tipo de Estabilización. Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Perú. (Pág. 110)

A continuación se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo.

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO		RESTRICCIÓN EN LL Y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
1 A	SW ó SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Pórtland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM ó SP - SM ó SW - SC ó SP - PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Pórtland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 C	SM ó SC ó SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Pórtland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW ó GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM ó GP - GM ó GW - GC ó GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Pórtland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 C	GM ó GC ó GM - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado..
		(2)	Cemento Pórtland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N° 4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Ceniza	IP no excede de 25		
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1)	Cemento Pórtland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = Índice Plástico (b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa la Malla N}^\circ 200) / 4$				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador	Fuente: US Army Corps of Engineers	

Tabla 20, Guía Referencial para la selección del tipo de estabilización. Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Perú (Pág. 111)

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO ⁽¹⁾	DOSIFICACIÓN ⁽²⁾	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) ⁽³⁾	OBSERVACIONES
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL < 40% IP ≤ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 ó AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla Nº 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO (2) < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe contener Abrasión < 50% % < Nº 200: 10 - 35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Fuente: Estudios Especiales del MTC

(1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8"
Tamaño máximo: 2", debe carecer de restos vegetales
Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto

(2) CMO: Contenido de materia orgánica

(3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: formula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado

(4) Para altitudes mayores a 3000 msnm

(5) Después de finalizado el proceso de compactación

Tabla 21, Guía Referencial para la selección del tipo de estabilización (continuación)

Tipos De Estabilización

Los métodos para estabilizar un suelo es amplio pero nosotros solo hablaremos de los siguientes:

1. Estabilización mecánica de suelos.
2. Estabilización por combinación de suelos.
3. Estabilización por sustitución de los suelos.
4. Suelos estabilizados con cal.
5. Suelos estabilizados con cemento.

Estabilización mecánica de suelos

Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

Estabilización por combinación de suelos

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo. El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), si las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto.

Estabilización por sustitución de los suelos

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición.

En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.

En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

Suelos estabilizados con cal

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o

hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra (Ca O) o de cal hidratada (Ca (OH)₂) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

La Cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser Cal viva ó hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la Especificación AASHTO M-216 ó ASTM C-977.

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Por ejemplo suelos de plasticidad IP < 15, aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP en cambio, en los suelos de plasticidad con IP > 15) disminuye el IP.

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad.

En cortes e incluso en terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje de cal para proteger la explanación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura.

Al mezclar el suelo con cal éste se vuelve más friable y granular. Al aumentar su límite plástico y humedad óptima de compactación permite su puesta en obra con mayor facilidad.

Es frecuente que la mezcla se realice en dos fases, con un período intermedio de reacción de 1

- 2 días. La aplicación más usual de las estabilizaciones con cal es en subrasantes y como capa de rodadura, en zonas de suelos arcillosos.

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente:

1. Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
2. Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
3. Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
4. La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
5. Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.

6. Incremento de la resistencia a la comprensión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
7. Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
8. Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
9. Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

La experiencia americana ha demostrado que una estabilización con cal tiene excelentes resultados, en los siguientes casos:

Materiales compuestos por mezclas de grava y arcilla para su uso como capa granular superficial con una incorporación de 2 a 4% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso.

Suelos altamente arcillosos para usarlos como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso) o como capa inferior (1 a 3% de cal en peso).

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cal, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa.

Suelos estabilizados con cemento

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto. El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo próctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

1. Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
2. Ejecución.
3. Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento para Suelo Cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5
A-1-b	5 – 8
A-2	5 – 9
A-3	7 – 11
A-4	7 – 12
A-5	8 – 13
A-6	9 – 15
A-7	10 – 16

Tabla 22, Rango de Cemento requerido en Suelo-Cemento. Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Perú (Pág. 118)

Es conveniente que la compactación se inicie cuando la humedad in situ sea la prescrita y en todo caso, en menos de una hora a partir del mezclado, y se debe terminar entre 2 y 4 horas, según las condiciones atmosféricas. A nivel de subrasante, se exige un grado de compactación mínimo 95% según AASHTO T180 en la capa de afirmado el mínimo es de 100%.

Debe tenerse en cuenta, el problema del posible fisuramiento de estas estabilizaciones o de bases tratadas con cemento, debido a una falta o descuido en el curado que hace perder humedad a la capa estabilizada, en el periodo previo a la colocación de la siguiente capa. Este proceso se agrava cuando la carretera se ubica en zonas calurosas; razón por la cual es fundamental considerar el curado de estas capas estabilizadas o tratadas con cemento.

Proceso Constructivo y Control de Calidad de la Capa Suelo (Cal O Cemento)

Requerimiento de Construcción

El supervisor debe autorizar, por escrito, el inicio de los trabajos de construcción del suelo-cal o suelo-cemento, luego de constatar que han sido satisfechos los requisitos previos establecidos en las especificaciones, y lo establecido en el contrato de la obra.

Cuando se vaya a construir la capa de suelo – cal sobre la superficie de una vía que haya estado en servicio y que presente irregularidades en toda o en parte de su longitud, se debe proceder, previamente, al acondicionamiento de las zonas irregulares de dicha superficie.

Equipo

El equipo será el requerido para ejecutar las siguientes actividades:

1. Escarificación.
2. Disgregación.
3. Adición de Cal.
4. Adición del agua.

Mezclado

1. Extendido, compactado y acabado de la superficie de la capa.
2. Curado.
3. Control de calidad.

Cálculo de la cantidad de cal o cemento a utilizar en el tramo de prueba

Para determinar el número de bolsas de cal o cemento con las que contaría el tramo a estabilizar se realizaron los siguientes pasos:

1. Primero se determina el volumen del tramo a estabilizarse con cal o cemento. $Volumen\ total = m^3$
2. Luego este volumen es multiplicado por el Peso Volumétrico Seco Máximo obtenido en el próctor (AASHTO T 180) realizado al material (suelo natural), determinando así el peso del mismo.

Nota: el próctor a utilizar dependerá de las especificaciones y exigencia del proyecto en particular donde se realice la estabilización.

$$\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{Peso Volumétrico Seco Máximo}$$

3. Luego se multiplica por el porcentaje de cal o cemento óptimo, determinado previamente. $\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{Peso Volumétrico Seco Máximo} * \text{Porcentaje de cal óptimo} = \text{Kg}$
4. El número total de bolsas de cal o cemento que deberá contener el tramo, vendrá dado de dividir el peso determinado en el literal anterior y el peso por bolsa de cal o cemento.
 $\text{Peso por bolsa de cal o cemento} = 25 \text{ Kg}$
 $\text{Numero de bolsas de cal o cemento} = \text{Peso} / \text{Peso por bolsa} \approx \text{bolsas de cal o cemento}$

El número de bolsas de cal o cemento deberán ser distribuidas de la mejor manera posible por el ingeniero encargado de la estabilización, a fin de garantizar que la mezcla será homogénea a lo largo y ancho del tramo ejecutado.

Ejecución de la Estabilización

ETAPAS	OBJETIVO	EQUIPOS USUALES
Etapas previas a la ejecución		
1. Clasificación del suelo	Identificación de la naturaleza y características del suelo.	- Ensayos de laboratorio (granulometría, plasticidad, humedad, materia orgánica, etc).
2. Elección y estudio de dosificación del conglomerante	Definición del conglomerante y ensayos para definir la dosificación.	- Estudio de laboratorio (Proctor, CBR, resistencia).
Etapas durante la ejecución		
1. Preparación del suelo		
- Escarificado y disgregación	Disgregar el suelo	- Pala, bulldozer o motoniveladora con ripper
- Eliminación de gruesos	Suprimir elementos de tamaño superior a 80 mm	- Equipos mecánicos o agrícolas - Machacadora in situ
- Nivelación	Obtención de la rasante	- Motoniveladora
- Aireación o humectación	Conseguir la humedad óptima Proctor (incluyendo la de aportación en el caso de vía húmeda)	- Aireación: ripper o estabilizadora - Humectación: camión cisterna con barra regadora, distribuidor de lechada
2. Distribución del conglomerante - por vía seca - por vía húmeda	Aporte del conglomerante con la dotación requerida de acuerdo con la fórmula de trabajo y el espesor a tratar	- Manual (cuadrícula de sacos) (solamente en obras de reducido tamaño o importancia) - Distribuidor de conglomerante (en polvo o lechada)
3. Mezclado	Mezcla del suelo con el conglomerante y el agua, logrando una mezcla homogénea	- Pulvimixer o rotavator (solamente en obras de reducido tamaño o importancia) - Recicladora-estabilizadora
4. Compactación inicial	Obtención de la densidad en el fondo de la capa, precompactando el suelo	- Rodillo liso vibrante
5. Refino	Obtención de la rasante definitiva. Mejora de la regularidad superficial	- Motoniveladora
6. Compactación final	Obtención de la densidad requerida ($\geq 97-98\%$ de la máxima Proctor modificado)	- Rodillo liso vibrante + rodillo de neumáticos en ocasiones - Rodillo mixto
7. Riego de curado - Con agua - Con emulsión	Mantener la superficie húmeda Crear una película impermeable	- Cuba de agua con barra pulverizadora - Cuba de emulsión y lanza - Cuba de emulsión con barra regadora
8. Protección superficial en caso necesario	Proteger el riego de curado con emulsión si va a circular tráfico sobre el mismo	- Extendedora de gravilla y rodillo de neumáticos

Tabla 23, Etapas de la Estabilización

Preparación de los suelos y almacenamiento del aditivo (cal o cemento)

La preparación de los suelos consiste en una serie de operaciones previas cuya ejecución es necesaria, y muy importante, para mejorar los rendimientos del tratamiento propiamente dicho:

1. Escarificación y esponjamiento de los suelos para mejorar los rendimientos del mezclado. Se realiza con riper montado en motoniveladora o tractor de orugas, o bien mediante escarificadores de gradas o de discos. Este aspecto es determinante para lograr la profundidad y homogeneidad de mezclado requerida.
2. Aireación de los suelos, en el caso de que sea necesario; es decir una vez escarificado el material dejarlo en reposo a fin de perder humedad mediante la exposición al sol del mismo.
3. Humectación (colocación de agua) de los suelos en el caso de suelos demasiado secos mediante los sistemas de riego tradicionales. Este aspecto es muy importante ya que sobre un suelo esponjado y humedecido, la cal, según cae, se quedará adherida, evitando el riesgo de dispersión a causa del viento, y comenzará a actuar inmediatamente sobre el suelo, incluso, antes de empezar la mezcla. En el caso de utilizar equipos pulvi-mezcladores, puede inyectarse el agua directamente en el proceso de mezclado, dentro de la cámara.
4. Eliminación de grandes terrones, frecuentes en algunos suelos arcillosos, mediante riper o rastrillos. De esta forma se favorece la homogeneidad del mezclado y se evitan numerosas averías y desgaste de piezas en los mezcladores.

Extendido del aditivo (cal o cemento)

Cuando la superficie a tratar es reducida, es posible recibir suministros del aditivo (cal o cemento) en sacos, tal es el caso de nuestro tramo de prueba analizado. El extendido se realiza manualmente en dos etapas:

1ª Etapa: Colocación de las bolsas del aditivo (cal o cemento) en el terreno según una distribución adecuada en filas y columnas de las bolsas efectuada con anterioridad con el objeto de cumplir la dosificación establecida.

Es de suma importancia tomar en cuenta en esta etapa del proceso, que la distribución de las bolsas del aditivo (cal o cemento) se realizara a criterio del ingeniero encargado del proceso constructivo de la capa suelo– del aditivo (cal o cemento), y para lo cual deberá considerar parámetros importantes como:

Ancho y longitud del tramo de vía que será estabilizado.

2ª Etapa: Apertura de las bolsas y extendido del aditivo (cal o cemento) con palas o auxiliándose de equipo como motoniveladora.

Luego de la distribución más adecuada de las bolsas del aditivo (cal o cemento) sobre el suelo que será estabilizado, se procede al rompimiento de las mismas, tomado en cuenta las medidas de seguridad respectiva para evitar la inhalación del producto por el personal ocupadas en esta parte del proceso.

Con el aditivo (cal o cemento) expuesta completamente sobre el suelo, se procede al extendido de esta, sobre la totalidad del tramo que será estabilizado, Este proceso se realizó ocupando como equipo una motoniveladora, la cual extendería el aditivo (cal

o cemento) en un capa de espesor constante a lo largo y ancho del tramo a estabilizar, es importante siempre en esta etapa del proceso constructivo de la capa suelo- aditivo (cal o cemento) , verificar que el extendido del aditivo (cal o cemento) cubra hasta los laterales de la vía, a fin de generar la mezcla lo más homogénea posible de suelo- aditivo (cal o cemento) en el tramo.

Mezclado

Esta fase consiste en mezclar el aditivo (cal o cemento) con el material a estabilizar, para lo cual en caminos de baja intensidad vehicular una motoniveladora es suficiente, para lo cual con la cal expuesta al suelo, el procedimiento consiste en voltear el material escarificado con la hoja de la motoniveladora, al cual se ha cubierto con la cal de un lado a otro hasta notar una mezcla homogénea; se puede considerar una mezcla homogénea cuando el suelo ya no presenta grumos visibles del aditivo (cal o cemento) ó hasta que el suelo tenga el mismo color, evidenciando un color gris en todo el tramo de estabilización.

1. La hoja de la motoniveladora, se introduciría hasta una profundidad de 0.3 mts (espesor de capa suelo-aditivo (cal o cemento), a fin de cumplir con los parámetros de diseño previamente establecidos de la misma.
2. El número de pasadas de mezclado con la motoniveladora, dependerá del criterio del ingeniero a cargo de la obra, garantizando que estas finalizaran cuando se tenga una mezcla homogénea de suelo-aditivo (cal o cemento) en todo el tramo estabilizado.

Nota: Se recomienda realizar como mínimo tres pasadas de mezclado cuando el equipo utilizado sea una “motoniveladora”.

Es importante tomar en cuenta el espesor de la capa suelo-aditivo (cal o cemento) en esta etapa del proceso constructivo, principalmente por los siguientes aspectos:

3. El espesor máximo de la capa suelo-aditivo (cal o cemento) vendrá dado, principalmente por la capacidad y rendimiento del equipo utilizado en los procesos de mezclado y compactación.
4. La calidad de la capa suelo-aditivo (cal o cemento), no solo dependerá de trabajar con un espesor de capa en base al rendimiento del equipo implementado en los procesos antes mencionados; pues en el caso de trabajar con suelos plásticos, excesivamente húmedos, el hecho de tener que mezclar una cantidad excesiva de material dificulta enormemente el mezclado y avance de la máquina; para tales casos se recomienda reconsiderar el espesor de la mezcla suelo- aditivo (cal o cemento) o realizar la estabilización mediante la construcción de dos capas sucesivas a fin de cumplir con el espesor de la capa suelo- aditivo (cal o cemento) contemplada en el diseño.

En el caso de que el extendido de cal se realice por vía seca, en zonas con vientos moderados, deberán coordinarse adecuadamente los procesos de extendido y mezclado del aditivo (cal o cemento), de tal forma que ambos actúen uno inmediatamente a continuación del otro, para evitar el levantamiento de la cal en polvo

extendida sobre el suelo a causa del viento.

Requisitos de campo de la mezcla de suelo-aditivo (cal o cemento).

1. La humedad de la mezcla debe ser la humedad óptima de compactación previamente determina nada mediante el próctor especificado.
2. El contenido de cal de la mezcla no debe variar en más de 5% por exceso o por defecto, de la cantidad del aditivo (cal o cemento) por metro cúbico de mezcla, establecida en la fórmula de trabajo.
3. En el caso de que la mezcla sin compactar sea afectada por la lluvia, ésta se deberá desechar, si al verificar su humedad se encuentra demasiado alta en comparación con la humedad óptima determinada en el próctor para la mezcla.
4. Se deberán ejecutar a modo de verificar la calidad de la mezcla, ensayos de resistencia a la compresión de especímenes de la mezcla suelo- aditivo (cal o cemento) realizada en cada tramo.

Compactación y terminación

La compactación de las capas tratadas se realiza tras su nivelación con motoniveladora hasta la altura requerida de la capa suelo-aditivo (cal o cemento), mediante las técnicas convencionales en el movimiento de tierras.

Es importante que el espesor de las capas sea compatible con el rendimiento de los compactadores a utilizar; es decir no exceder los espesores de las capas de compactación si no se cuenta con un equipo adecuado para realizar dicho proceso.

El proceso de compactación se dará como terminado cuando se alcance el grado de densidad igual o mayor al 95% en la capa suelo- aditivo (cal o cemento) construida.

Una vez terminada la compactación, la superficie deberá mantenerse húmeda hasta que se aplique el riego de curado.

La capa suelo-aditivo (cal o cemento) compactada deberá recibir una protección superficial dependiendo de su naturaleza y de la climatología para permitir su endurecimiento antes de colocar la siguiente capa.

La capa suelo-aditivo (cal o cemento) compactada, deberá ser curada durante un período de 3 a 7 días para permitir su endurecimiento antes de colocar la correspondiente capa de sub-base o base.

El curado puede ser efectuado mediante una de las dos formas siguientes:

1. Manteniendo la superficie en condiciones húmedas mediante un regado ligero y compactando cuando sea necesario.
2. Mediante una membrana de curado formada por un sellado de la superficie de la capa suelo- aditivo (cal o cemento) con un riego asfáltico.

Seguridad Constructiva

Precauciones a tomar en el manejo del aditivo (cal o cemento)

El empleo del aditivo (cal o cemento), al igual que la mayoría de los materiales o productos químicos normales, no tiene peligro a condición de que se observen algunas precauciones simples:

Piel: El riesgo de graves quemaduras es mínimo, aunque en contacto prolongado con la piel, cuando existe sudoración, puede causar irritaciones en las zonas donde la ropa está demasiado ajustada. En personas con pieles especialmente sensibles, se han producido dermatosis después de un contacto prolongado. Es conveniente lavar cuanto antes las zonas afectadas con abundante agua.

Las personas que poseen más riesgos de accidentes, son las encargadas de manipular los sacos de aditivo (cal o cemento) en la obra y/o de manejar los equipos de transporte, almacenamiento y extendido, por los que serán las que mayor atención deberán prestar al cumplimiento de las medidas de seguridad.

Los siguientes consejos tienen como objetivo evitar que puedan producirse irritaciones y pequeñas quemaduras.

Ropa de trabajo: Deberán tomarse las siguientes precauciones:

1. Llevar camisa de manga larga (no tolerar mangas recogidas ni cortas).
2. Llevar botas o zapatos que cubran el tobillo.
3. Llevar guantes.

No vestirse con ropa excesivamente ajustada en cuello y puños, porque el roce con la piel favorece la irritación de la misma. Una pequeña protección de tejido suave (algodón) puede ponerse alrededor del cuello para evitarla penetración de partículas de cal.

Protección de los ojos: Durante la manipulación del aditivo (cal o cemento), se deben utilizar gafas de seguridad cerradas por los lados.

Protección de las vías respiratorias: Aunque la inhalación del polvo del aditivo (cal o cemento), no es tóxica, si la atmósfera de trabajo está cargada de polvo de cal, se deben llevar mascarillas filtrantes. Las mascarillas que recubren el rostro son muy incómodas de llevar y no convienen en éstos casos. En la medida de lo posible, los vehículos destinados a trabajar en atmósferas cargadas con polvo del aditivo (cal o cemento), deberán llevar cabinas estancas ligeramente presurizadas.

Primeros auxilios

Quemaduras e irritaciones de la piel: Lavar completamente con agua templada y jabón para eliminar cualquier rastro de aditivo (cal o cemento), y aplicar una pomada contra las quemaduras recubriendo con gasa esterilizada la zona afectada.

Caída de cal en los ojos:

1. Mantener el ojo abierto y aclarar inmediatamente con agua abundante.
2. Informar lo antes posible de toda quemadura o proyección de la cal a los ojos, para recibir atención médica.

Ensayo De Capacidad De Soporte California (Cbr)

En el diseño de pavimentos o sistemas viales, es importante hacer uso de los materiales más adecuados tanto para la base, sub-base o subrasante, esto con el objetivo de garantizar una vida útil larga y que la carretera soporte cualquier inclemencia además del tránsito. Una de las pruebas más comunes para evaluar los materiales, es el ensayo CBR, que permite caracterizar un tipo de suelo en relación a su capacidad de soporte.

El CBR es un ensayo que se encarga de caracterizar la capacidad soportante del suelo, es decir, mide la resistencia de suelos, al evaluar los potenciales esfuerzos a los que será sometido el suelo en estudio. Este índice se define como la relación (porcentaje), entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm de la muestra y la presión necesaria para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón. (Chávez, 2012)

El material en estudio se debe someter a las condiciones más críticas posibles que puedan existir en el campo, por lo que después de realizar la compactación, la muestra se satura durante cuatro días antes de fallarla con el pistón; así se conoce la expansión o contracción del material, ya que esto puede afectar seriamente la estructura por hundimiento o abombamientos.

La relación explicada anteriormente, se puede describir matemáticamente:

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100$$

En la siguiente tabla se muestran algunas penetraciones y presiones utilizadas como patrón:

Penetración		Presión en el vástago	
cm	pulg	kg/cm ²	lb/pulg ²
0.25	0.1	70	1,000
0.50	0.2	105	1,500
0.75	0.3	133	1,900
1.00	0.4	161	2,300
1.25	0.5	182	2,600

Tabla 24, Penetraciones y Presiones Estándar. Fuente: Índice de Soporte California, Daniel Chávez (Pág. 3)

Existen tablas que establecen la “clasificación de los suelos” en relación con su “capacidad de soporte CBR”; a continuación la describimos:

CBR (%)	Evaluación	Uso	Sistema Unificado	Sistema AASHTO
0-3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM,	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base-Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Tabla 25, Clasificación de los suelos según su CBR

Análisis Técnico Económico

Costos Unitarios

Para este análisis se harán algunas especulaciones en relación a sistemas de estabilización que se adecuen a determinados tipos de suelos. Esto con el fin de ilustrar los probables costos necesarios para estabilizar la red vial terciaria en los cuatro municipios analizados en este informe.

Para empezar, utilizaremos valores del porcentaje CBR de suelos que van de regulares-pobres y suelos que van de buenos-excelente, es decir:

CBR = 10% Suelo Regular (A2, A4, A6, A7)

CBR = 30% Suelo Bueno (A1b, A2-5, A3, A2-6)

Ahora se considerarán valores para el espesor de la capa estabilizadora, según la calidad del suelo, por ejemplo:

CBR = 10% e = 15 cm

CBR = 30% e = 10 cm

También tomaremos valores promedios para el porcentaje de cal y cemento, en el caso que utilicemos un suelo-aditivo. Los valores son tomados en base a tablas descritas en los capítulos anteriores:

Suelo-Cemento = 4.00 %

Suelo-Cal = 6.00 %

Además supondremos un valor para el **Peso Volumétrico Seco Máximo** según la calidad del suelo:

Suelo Regular => $\gamma_{dm} = 2,000 \text{ kg/m}^3$

Suelo Bueno => $\gamma_{dm} = 1,500 \text{ kg/m}^3$

Con los datos anteriores logramos calcular una ficha de costo unitario que describa los gastos que supone estabilizar 1.00 km de red vial terciaria. Para lo anterior plantearemos los tres escenarios siguientes:

1. Costos por estabilizar con Suelo-Cal un terreno con “Suelo Regular”
2. Costos por estabilizar con Suelo-Cemento un terreno con “Suelo Regular”
3. Costos por estabilizar con Material Selecto un terreno con “Suelo Bueno”

Se entiende que un suelo que va de bueno-excelente puede servir como base o subbase, por lo que estabilizar con un suelo-aditivo estaría de sobra. Por ello proponemos una estabilización solo con material selecto.

Ficha De Costo Para Un Km De Estabilización Con Suelo-Cal

Actividad		Und	Cantidad de obra	Observaciones					
ESTABILIZACIÓN CON SUELO-		KM	1.00	El ancho de calzada propuesto = 6.00 m					
No.	Descripción	und	rend.	% desp.	Precio Unitario	Precio Total	Cantidad de material en actividad	Costo total en actividad	%
1	Transporte de material Selecto	M3	900.00	3%	185.00	171,495.00	900.00	171,495.00	23%
2	Alquiler de Motoconformadora	hr	96.00	0%	1,400.00	134,400.00	96.00	134,400.00	18%
3	Alquiler de Vibrocompactador	hr	76.80	0%	1,400.00	107,520.00	76.80	107,520.00	14%
4	Alquiler de retroexcavadora	hr	96.00	0%	600.00	57,600.00	96.00	57,600.00	8%

Actividad		Und	Cantidad de obra	Observaciones					
ESTABILIZACIÓN CON SUELO-		KM	1.00	El ancho de calzada propuesto = 6.00 m					
No.	Descripción	und	rend.	% desp.	Precio Unitario	Precio Total	Cantidad de material en actividad	Costo total en actividad	%
5	Agua (tanque de 2500 gl)	Cist	6.00	5%	800.00	5,040.00	6.00	5,040	1%
7	Cal	Bolsa	3400.00	0%	80.00	272,000.00	3,400.00	272,000	36%
Sub-total					748,055.00	748,055.00		100%	
1	% Imprevistos	%	3%		748,055.00	22,441.65	0.03	22,441.65	
Total					770,496.65		L. 770,496.65		

Tabla 26. Importe Unitario para 1.0 km de red vial estabilizada con Suelo-Cal

Ficha de Costo para Un Km de Estabilización con Suelo-Cemento

Actividad		Und	Cantidad de obra	Observaciones					
ESTABILIZACIÓN CON SUELO-CEMENTO, espesor de capa = 15cm		KM	1.00	El ancho de calzada propuesto = 6.00 m					
No.	Descripción	und	rend.	% desp.	Precio Unitario	Precio Total	Cantidad de material en actividad	Costo total en actividad	%
1	Transporte de material Selecto	M3	900.00	3%	185.00	171,495.00	900.00	171,495.00	23%
2	Alquiler de Motoconformadora	hr	96.00	0%	1,400.00	134,400.00	96.00	134,400.00	18%
3	Alquiler de Vibrocompactador	hr	76.80	0%	1,400.00	107,520.00	76.80	107,520.00	14%
4	Alquiler de retroexcavadora	hr	96.00	0%	600.00	57,600.00	96.00	57,600.00	8%
5	Agua (tanque de 2500 gl)	Cist	6.00	5%	800.00	5,040.00	6.00	5,040.00	1%
7	Cemento	Bolsa	1700.00	0%	168.00	285,600.00	1,700.00	285,600.00	37%
Sub-total					761,655.00	761,655.00		100%	
1	% Imprevistos	%	3%		761,655.00	22,849.65	0.03	22,849.65	
Total					784,504.65		L. 784,504.65		

Tabla 27. Importe Unitario para 1.0 km de red vial estabilizada con Suelo-Cemento

Ficha de Costo para un Km de Estabilización con Material Selecto

Actividad		Und	Cantidad de obra	Observaciones					
ESTABILIZACIÓN CON SUELO-CEMENTO, espesor de capa = 15cm		KM	1.00	El ancho de calzada propuesto = 6.00 m					
No.	Descripción	und	rend.	% desp.	Precio Unitario	Precio Total	Cantidad de material en actividad	Costo total en actividad	%
1	Transporte de material Selecto	M3	900.00	3%	185.00	171,495.00	900.00	171,495.00	36%
2	Alquiler de Motoconformadora	hr	96.00	0%	1,400.00	134,400.00	96.00	134,400.00	28%
3	Alquiler de Vibrocompactador	hr	76.80	0%	1,400.00	107,520.00	76.80	107,520.00	23%
4	Alquiler de retroexcavadora	hr	96.00	0%	600.00	57,600.00	96.00	57,600.00	12%
5	Agua (tanque de 2500 gl)	Cist	6.00	5%	800.00	5,040.00	6.00	5,040.00	1%
Sub-total					476,055.00	476,055.00		100%	
1	% Imprevistos	%	3%		476,055.00	14,281.65	0.03	14,281.65	
Total					490,336.65		L. 490,336.65		

te Unitario para 1.0 km de red vial con Material Selecto

Importes por Municipio

A continuación analizaremos los importes totales de inversión para los cuatro municipios estudiados, es decir, los costes totales para cada municipio según la cantidad de red vial terciaria que se generó en el inventario de todo el departamento.

Municipio De Marale

Los datos obtenidos en el Municipio de Marale de la red vial fueron los siguientes:

Marale	
Tipo	Longitud (Km)
Red Vial Terciaria	19.09
Sendero o vereda	439.89

Tabla 29. Cantidad de Red Vial, Municipio de Marale

Entonces, tomando en consideración la tabla anterior, el municipio de Marale posee 458.98 km lineales de vías terciarias o senderos que podrían ser restituidos con una de las estabilizaciones anteriores. Si observamos el mapa geológico nos daremos que la mayor parte del territorio del municipio está compuesto por el tipo de grupo **Kva - Valle de Ángeles** lo que significa que la mayor parte del territorio posee suelos saturables, expandibles, con altos contenidos de plasticidad, entre otros. Si consideramos una estabilización con “Suelo-Cal”:

Importes Estabilización Suelo-Cal para el Municipio de Marale

$$\text{Cant.de Km x Costo Unitario de 1 Km} = \text{Importe Total}$$

$$458.98 \text{ km} \times L.770,496.65 = L.353,642,552.40$$

Lo anterior sería el monto total de estabilizar con Suelo-Cal la red vial terciaria y senderos en el municipio de Marale. Sin embargo esto no tiene ninguna connotación lógica ya que, según nuestro análisis anteriores, el municipio presenta un nivel de aptitud bajo para fines agrícolas.

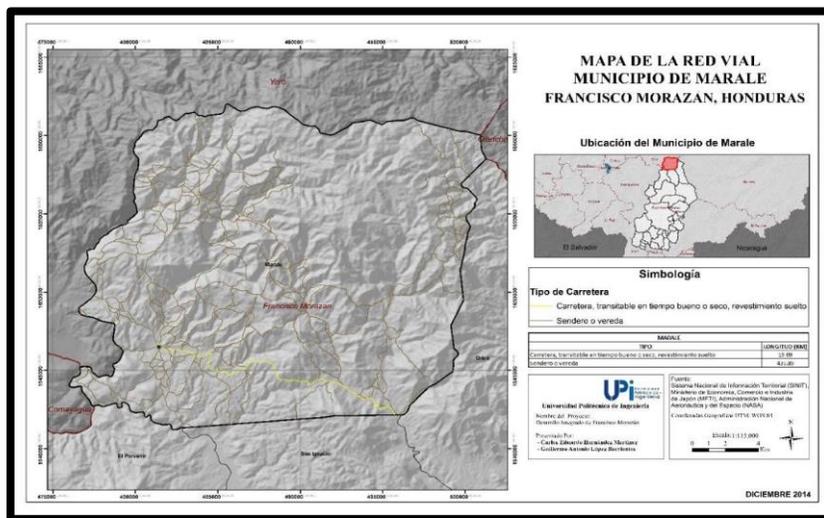


Figura 36. Red Vial, Municipio de Marale

Municipio de la Venta

Los datos obtenidos en el Municipio de La Venta de la red vial fueron los siguientes:

La Venta	
Tipo	Longitud
Red Vial Terciaria	28.72

Carretera Principal Pavimentada	15.80
Carretera Secundaria No Pavimentada	8.38
Sendero o vereda	157.58
Vereda de rodada	11.17

Tabla 30. Cantidad de Red Vial, Municipio de La Venta

Los kilómetros totales de red terciaria y senderos en el municipio de La Venta es de 197.47 km que se podrían estabilizar simplemente con material selecto, ya que en el territorio predominan los suelos **Tm - Formación Matagalpa** y **Tpm - Grupo Padre Miguel**, suelos donde predominan basaltos, andesitas y rocas volcánicas. Según el apartado 5.3, estos tipos de suelos tienen una excelente capacidad de soporte, es de los mejores materiales para agregados de concreto; por lo que estaría de sobra utilizar un suelo-aditivo:

Importes Estabilización Material Selecto para el Municipio de La Venta
Cant.de Km x Costo Unitario de 1 Km =Importe Total
886.41 km x L.490,336.65=L.434,639,309.90

Es importante resaltar que el Municipio de La Venta posee el nivel más alto de aptitud según los análisis anteriores.

Recordemos que este municipio es el pulmón de la producción agrícola en el departamento, a pesar de que todavía existen gran cantidad de kilómetros de carreteras intransitables y una correcta estabilización ampliaría el mercado y facilitaría la comunicación entre regiones.

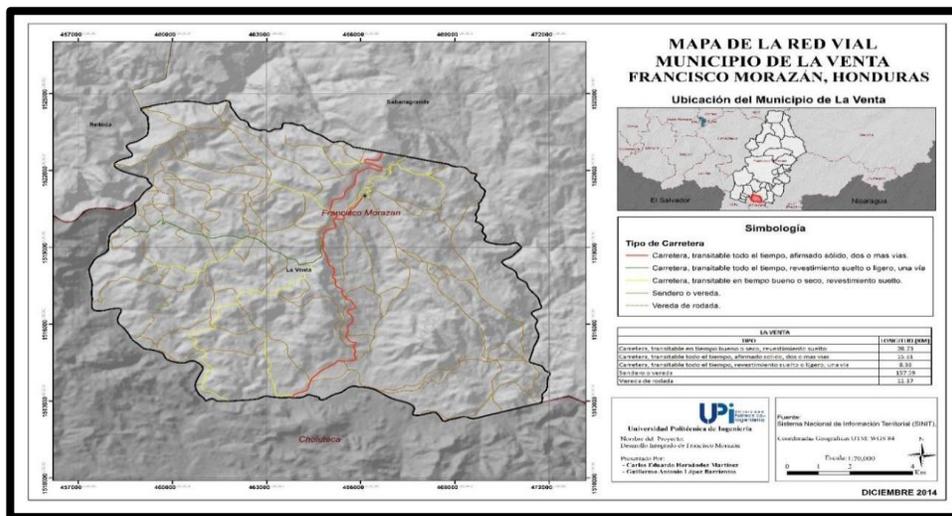


Figura 37. Red Vial, Municipio de La Venta

Municipio de Lepaterique

Los datos obtenidos en el Municipio de Lepaterique de la red vial fueron los siguientes:

Lepaterique	
Tipo	Longitud
Red Vial Terciaria	41.36

Carretera Primaria No Pavimentada	14.85
Carretera Secundaria No Pavimentada	4.66
Sendero o vereda	816.06
Vereda de rodada	28.99

Tabla 31. Cantidad de Red Vial, Municipio de Lepaterique

En Lepaterique existen 886.41 km de carretera terciaria y senderos. Al igual que La Venta, el municipio está formado por el suelo **Tpm - Grupo Padre Miguel**, que presenta excelentes condiciones a nivel de subrasante por lo que una estabilización con material selecto es viable.

Importes Estabilización Material Selecto para el Municipio de Lepaterique

Cant.de Km x Costo Unitario de 1 Km =Importe Total

886.41 km x L.490,336.65=L.434,639,309.90

Recordemos que este municipio es el pulmón de la producción agrícola en el departamento, a pesar de que todavía existen gran cantidad de kilómetros de carreteras intransitables y una correcta estabilización ampliaría el mercado y facilitaría la comunicación entre regiones.

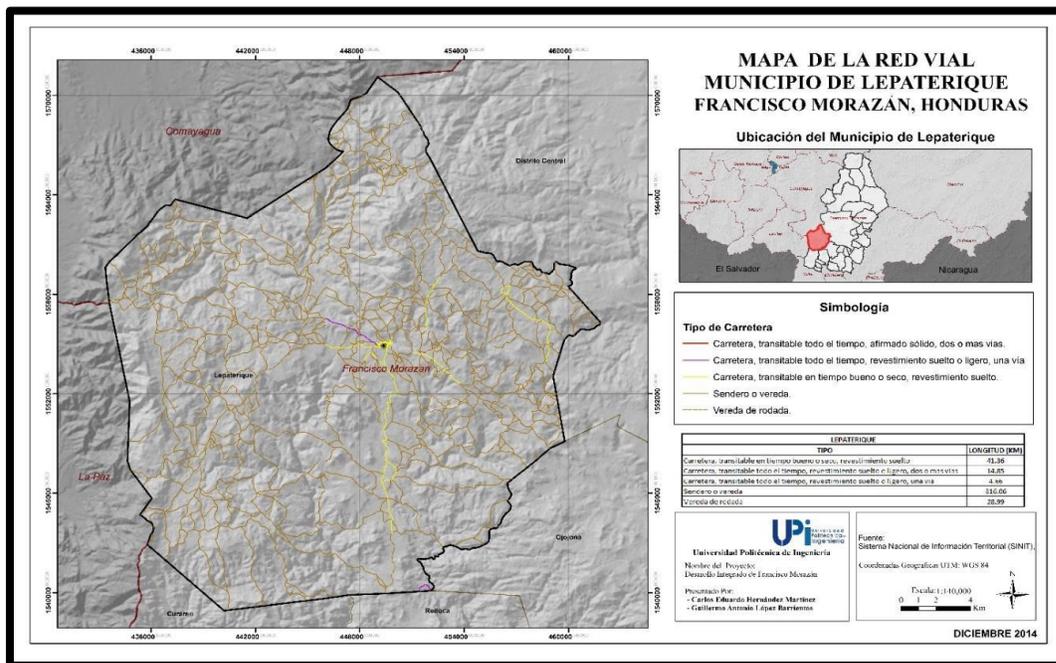


Figura 38. Red Vial, Municipio de Lepaterique

Municipio De Villa De San Francisco

Los datos obtenidos en el Municipio de Villa de San Francisco de la red vial fueron los siguientes:

Villa de San Francisco	
Tipo	Longitud (Km)
Red Vial Terciaria	8.81
Carretera Primaria No Pavimentada	8.66
Carretera Secundaria No Pavimentada	0.78

Sendero o vereda	67.23
Vereda de rodada	31.26

Tabla 32. Cantidad de Red Vial, Municipio de Villa de San Francisco

Para este pequeño municipio, son 107.30 km de red vial terciaria o senderos que no son transitables en ninguna época del años. La región presenta tres tipos de suelo: **Qal – Depósitos Aluvión, Tpm - Grupo Padre Miguel y Ky – Grupo Yojoa**. Los tres son excelente suelos a excepción del Grupo Yojoa, con el cual se debe tener cuidado ya que estos suelos pueden estar contaminados con arcilla. Una estabilización con suelo-cemento tendría un importe de:

Importes Estabilización Suelo-Cemento para el Municipio de Villa de San Francisco

Cant.de Km x Costo Unitario de 1 Km =Importe Total

$$107.30 \text{ km} \times L.784,504.65 = L.58,255,394.33$$

Para las zonas con suelos buenos será suficiente una estabilización con material selecto. En este caso, el suelo-cemento es cuando se presente suelos del Grupo Yojoa.

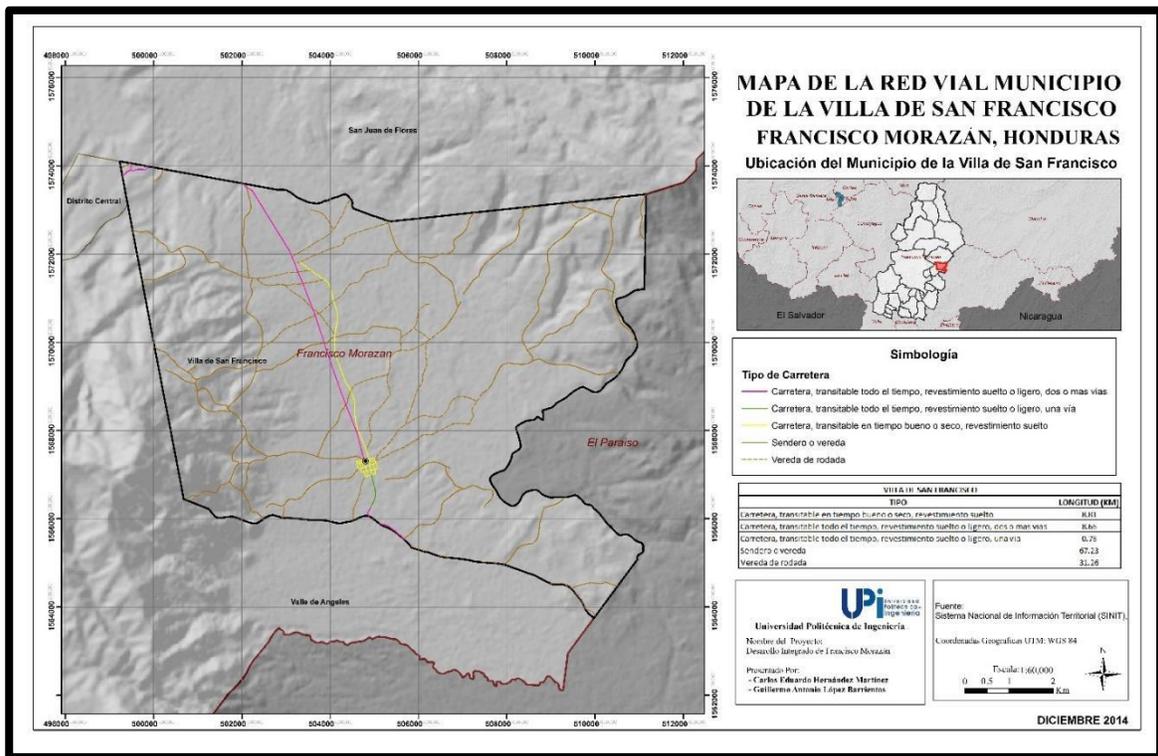


Figura 39. Red Vial, Municipio de Villa de San Francisco

La estabilización vial ha demostrado ser una alternativa viable, que permite la utilización de mano de obra y materiales locales, se puede ejecutar en forma rápida y no requiere la utilización de materia prima importada.

A continuación se listan las diferentes partidas que componen el costo unitario de una unidad de estabilización, teniendo en cuenta que el precio incluye:

- Transporte del material selecto para conformación de la base granular

- Corte, cargado y desalojo de Material deleznable del sitio
- Transporte del material selecto al sitio
- Extensión y nivelación de la capa granular.
- Transporte del aditivo (cemento o cal) desde la fábrica hasta la obra.
- Vibro-compactación del capa granular.

Aclaremos que proporcionar un presupuesto certero para las estabilizaciones propuestas es difícil, sin embargo nos basaremos en investigaciones realizadas anteriormente en otros países.

Especulaciones Financieras

Un dato interesante para esta sección, es que la institución encargada del mantenimiento vial de Honduras (Fondo Vial), en su primer informe Físico-Financiero de 2014, expone que en marzo de este año 268.36 km de carretera no pavimentada fueron conservados con actividades de mantenimiento periódico y rutinario. El monto de ejecución de estas obras de mantenimiento fue de L. 36, 459, 446.33

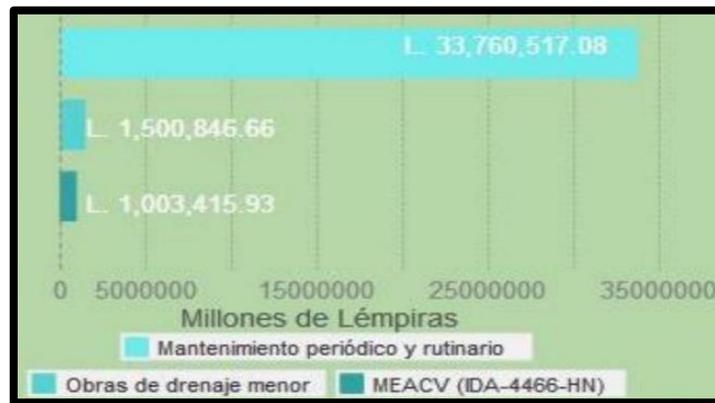


Figura 40. Monto de ejecución de obras 2014. Fuente: Resumen Financiero Fondo Vial

Según datos del informe de Avance Físico-Financiero 2014 del Fondo Vial, la institución tiene un presupuesto asignado de L. 690, 653,442.00 para este año. Con la información financiera anterior podríamos especular que:

- Con el Presupuesto asignado para fondo vial anualmente podríamos estabilizar tres de los cuatro municipios analizados anteriormente (Marale, La Venta y La Villa de San Francisco), y aun así tendríamos un excedente de más de 150 millones de lempiras.

$$L.690,653,442.00 - L.,534,646,679.70 = L.156,006,762.30$$

- Si los suelos del **Grupo Padre Miguel** representan un 70% del territorio nacional (Pág. 73), podríamos decir que un 70% de la red vial terciaria y senderos en honduras presenta un suelo de buena calidad, esto significaría que: si tenemos 11,223.44 km de carretera terciaria y senderos (Pág. 63), un 70% supondrían 7,856.41 km de carretera terciaria y senderos que se podrían estabilizar anualmente únicamente con **Material Selecto**. Y si una estabilización con material selecto tiene costos de L. 178,712.73 (según lo visto con Lepaterique y La Venta en el capitulo anterior), esto expresa que para estabilizar el 70% de la red vial terciaria y senderos en el departamento de Francisco Morazán se necesitarían L. 1, 404, 040,479.09, es decir, un

poco más de la suma de dos presupuestos anuales del Fondo Vial. En otras palabras en menos de 2 años se podrían estabilizar el 70% de la red vial terciaria y senderos en Francisco Morazán.

RESULTADOS

Análisis de Seis “Interpretación de Resultados”

Compilar la información de los capítulos anteriores, con el criterio particular de este documento, nos permite admitir la problemática evidente que existe en el departamento de Francisco Morazán por la falta de un desarrollo integrado en el cual participen todas las variables discutidas anteriormente, y reconocer la innegable participación de éstas como un todo para lograr desarrollo social digno dentro de la región.

Interpretación de Resultados

A continuación se describirán cada uno de los resultados reunidos y establecidos a raíz de la metodología de análisis.

Inventario de la Red Vial

Uno de los objetivos concretos del informe era realizar un registro actualizado al 2014 de la red vial en el departamento de Francisco Morazán. En un inicio se pretendía actualizar la base de datos del SINIT del 2005, pero al observar meticulosamente este registro de datos nos encontramos con una red vial que presentaba demasiadas inconsistencias, por lo que se decidió comenzar a digitalizar las vías terrestres desde cero, por cuenta propia. Es importante mencionar que el trabajo llevado a cabo para digitalizar todo el sistema vial del departamento fue sumamente laborioso, es decir, que la información generada únicamente contempla: Los kilómetros totales del departamento y los tipos de carreteras existentes (Primaria, Secundaria, Terciaria).

Mapa de Aptitud Agrícola

En el apartado cuarto se analizaron tres variables: Uso de Suelo, Recurso Agua, Pendiente; necesarias para determinar la calidad de una producción agrícola. De la recopilación y la evaluación de estos factores se generó un mapa que describe la capacidad y disposición que posee cada municipio para desempeñarse como un foco de producción agrícola dentro del territorio.

Un resumen de los resultados obtenidos nos dice que de los 28 municipios del departamento, únicamente 5 presentaron la calificación más alta, estos son: Cedros, Distrito Central, La Venta, Santa Ana y Talanga. Asimismo, solo dos municipios resultaron con una calificación deficiente: Santa Lucía y Valle de Ángeles.

Mapa de Aptitud en Infraestructura Productiva

La esencia del documento siempre fue estudiar y observar la correlación que existe entre el humano, los recursos físicos y la economía. También reafirmar la importancia de la infraestructura productiva para favorecer el desarrollo social.

El inventario vial, el mapa de aptitud agrícola y una base de datos de los asentamientos humanos del departamento pueden generar un mapa donde se observen los municipios con aptitud agrícola, la cantidad de carreteras que necesitan de una reparación y mantenimiento, los asentamientos humanos más poblados. De esta manera definir la planificación de las actividades a medio o largo plazo para la infraestructura productiva en Honduras.

Análisis Técnico Económico

En este análisis se pretendió dar a conocer al lector que las inversiones trimestrales del Fondo Vial podrían ser utilizadas para pavimentar con adoquín las carreteras terciarias de Francisco Morazán y Honduras.

Verificación de Hipótesis

La elaboración de un modelo de estudio, de la relación de los recursos físicos (uso de suelo, topografía, clima, entre otros) humano y Económico, dará resultados para desarrollar planes de Infraestructura Productiva para el departamento de Francisco Morazán.

CONCLUSIONES

- La información existente en Honduras sobre infraestructura productiva es realmente limitada, la mayoría no son más que desafíos de gobierno para futuros cercanos, sin embargo, estamos seguros que investigaciones de esta índole podrían sentar las bases para generar análisis de factibilidad detallados sobre infraestructura productiva y que los mismos se lleven a la praxis para garantizar un desarrollo productivo de la región y el país.
- Es fundamental aclarar que la información utilizada para algunos atributos (Por ejemplo: Red Hídrica) se encuentran obsoletas y probablemente erróneas, pues algunas de estas bases de datos fueron generadas en décadas pasadas y aún no han sido actualizadas. Por lo anterior, aseguramos que este documento no es más que una investigación piloto o guía para seguir desarrollando los análisis aquí descritos.
- El proceso lógico para llevar a cabo la evaluación de aptitud en infraestructura productiva, pertenece a un análisis particular de los autores, por lo cual manifestamos que el documento está abierto a cualquier tipo de proceso lógico y no descartamos las ideas de terceros para poder mejorar esta investigación.
- Un factor muy importante a tomar en cuenta siempre es la parte geológica, si bien existe un mapa geológico de Francisco Morazán no podemos validar la exactitud del mismo, ya que la escala del mapa se encuentra por encima de un panorama detallado. Certificamos que las tablas y cualquier información geológica del país no son suficiente mientras éstas no se actualicen.
- Formular proyectos viables en materia de infraestructura productiva, estarán al alcance mientras se recopile información actualizada y se incorporen más variables dentro de la investigación y el análisis (Por ejemplo: Clima, Temperatura, Altitud).

RECOMENDACIONES

- La Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) debe continuar con análisis de este tipo, para enriquecer más la información existente en Honduras sobre infraestructura productiva.
- La Facultad de Tecnologías de la Información y Comunicación tiene el compromiso

inherente a la Institución, de crear un programa donde se pueda almacenar toda la información única de este documento, las posteriores de futuras investigaciones.

- Para los análisis de cualquier atributo o factor, ya sea geológico, uso de suelo, red vial, entre otros; aconsejamos escalas menores o iguales a 1:25,000, ya que la información será más detallada y verídica.
- Sugerimos a los futuros alumnos que continúen ésta u otras investigaciones, no limitarse a un solo programa computacional, pues existen una infinidad de plataformas de información geográfica que podrían facilitar más este tipo de análisis.

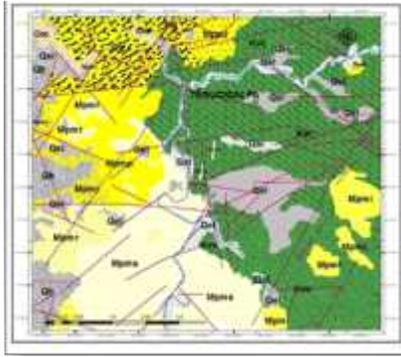
BIBLIOGRAFÍA

- ANCADE, A. N., & IECA, I. E. (2002). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid, España: IECA.
- Chávez, D. R. (2012). *Índice de Soporte California*. San Jose, Costa Rica.
- Congreso Nacional de la República, H. (2010). *Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022*. Tegucigalpa, Honduras.
- EL HERALDO, H. (Mayo de 2013). Lepaterique mayor abastecedor de mayoreos y supermercados. *EL HERALDO*.
- FONDO VIAL, H. (2014). *Avance Físico-Financiero, Trimestre I 2014*. Tegucigalpa, Honduras.
- Gobierno de la Republica, H. (2010). *Plan de Gobierno 2010-2014*. Tegucigalpa, Honduras.
- ICF, I. N. (2014). *Anuario Estadístico Forestal 2013*. Tegucigalpa.
- INE, I. N. (2013). *Instituto Nacional de Estadística, INE*. Obtenido de www.ine.gob.hn: <http://www.ine.gob.hn/index.php/censos-y-encuestas/encuestas-todos-las-encuestas-de-honduras/encuesta-permanente-de-hogares>
- Iturbide, I. J., SIECA, S. d., & USAID, A. d. (Noviembre de 2002). *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*. Guatemala.
- MTC, M. d. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos*. Perú.
- SOPTRAVI, S. d. (1996). *Manual de Carreteras de Honduras, Tomo II : Reconocimiento y Trazado de Camino*. Tegucigalpa, Honduras.
- Thompson & Troeh, L. M. (2002). *Los Suelos y Su Fertilidad*. España: REVERTÉ.
- Universidad de EL Salvador, E. S. (2009). *Guía Básica para Estabilización de Suelos con Cal en Caminos de Baja Intensidad Vehicular en El Salvador*. San Salvador.
- WORLD ECONOMIC FORUM, K. S. (2014-2015). *The Global Competitiveness Report, 2014-2015*.
- Zeas, I. L., & Talavera, I. D. (2003). *Análisis y Evaluación de la Características Geométricas de los Pavimentos de Adoquín en las Vías Rurales*. Managua, Nicaragua.



2

CONTENIDO



Introducción a la Geología del Cuadrángulo de Tegucigalpa, Honduras



ESTUDIO DE INTRODUCCION A LA GEOLOGIA DEL CUADRANGULO DE TEGUCIGALPA, HONDURAS.

Sonia Lucinda Soriano Garay^a

RESUMEN

El presente documento es una introducción a la información disponible con relación a la geología de Tegucigalpa, Honduras. Tiene como propósito el de servir como material de apoyo debido a la problemática existente sobre la adquisición y/o existencia de información con relación al tema. Mediante la compilación bibliográfica existente, se tuvo como objetivo el de caracterizar la geología del territorio de Tegucigalpa. Para cumplir con lo antes propuesto se tomaron en cuenta 4 variables: geomorfología, estratigrafía, vulcanismo y tectónismo y por ultimo recursos minerales. Así mismo e realizo un modelo digital a partir de un mapa geológico análogo de la zona de estudio, estandarizado de acuerdo a las normativas internacionales según la adopción cubana a las cual se agrega una columna conceptual estratigráfica.

Palabras Claves: *geología, geomorfología, estratigrafía y vulcanismo, tectónica y yacimientos minerales con el propósito.*

ABSTRACT

The following document introduces available geologic information of Tegucigalpa, Honduras. Due to the actual problematic with the acquisition and existence of information regarding the subject, this document has the purpose to serve as backup material for students as well as professionals. The characterization of Tegucigalpa was aimed through bibliographical compilation. To comply with the proposed above four variables were taken into consideration: geomorphology, stratigraphy, tectonics and vulcanism and mineral resources. Finally a digital model parting from an existing map of Tegucigalpa was made and a conceptual stratigraphic column was added.

Keywords: *geology, geomorphology, stratigraphy and vulcanism, tectonics and mineral deposits for the purpose.*

INTRODUCCION

Tegucigalpa, Honduras situada en el departamento de Francisco Morazán yace sobre un suelo con geología variada. Esta cualidad representa una desventaja para aquellos que carezcan de conocimiento sobre la información referente al tema. A la problemática se suma aún más al hecho de tener una base de datos dispersa, desorganizada o como en algunos casos imposible de obtener.

El documento está compuesto por una sección llamada Marco Conceptual que abarca información bibliográfica la cual tiene relación al tema y se centra en Tegucigalpa y sus alrededores. Al ir avanzando en la lectura la geología se verá desglosada en geomorfología, estratigrafía y vulcanismo, tectónica y yacimientos minerales con el propósito de llevar al lector a conocer información reciente y también información que ha estado presente durante los años pero no ha sido citada con tanta frecuencia.

La información descrita en el documento debe de ser acompañada por un mapa y una columna estratigráfica para dar al lector una mejor Figura de la situación. Se elaboró el mapa geológico de la zona basándose en la información del Mapa Geológico del Distrito

^a Tegucigalpa, Honduras. Departamento De Geología Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: sonia.soriano@upi.edu.hn.

Central por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:25 000 y de esa digitalización se obtuvo la columna estratigráfica. Dicha columna al igual que el mapa digitalizado, se realizaron con la normativa cartográfica adecuada (Normativa Cubana NC 622 2012).

El documento tal como lo describe su título “INTRODUCCION A LA GEOLOGIA DEL CUADRANGULO DE TEGUCIGALPA” es un texto en el cual se desea centrar en cubrir el problema, concentrando la información existente en un solo documento que de accesibilidad a la información para todo aquel que lo requiera.

MARCO CONCEPTUAL

Honduras es un país que hasta hace poco incursiono en las investigaciones geológicas, siendo una nación joven en esta área, la información con relación al tema que se encuentra disponible es reducida. A continuación se presenta información bibliográfica acompañada por sus respectivas síntesis. Existen entidades extranjeras y locales que han realizado estudios en suelo Hondureño

***Landslide science for a safer Geo-Environment Vol.3: Targeted Landslides, Volume 3* (World Landslide Forum 3). (La Ciencia del Deslizamiento para un Geo-Ambiente más seguro Vol.3: Deslizamientos Localizados)**

Este libro recopila información de investigaciones realizadas en países del tercer mundo. Dentro de este texto se puede encontrar una sección que trata el tema de deslizamientos en Tegucigalpa. La investigación fue realizada por los geólogos Hirota y Shizuka. El tema describe una re-evaluación de los deslizamientos ocurridos en Tegucigalpa por causa del fenómeno natural Huracán Mitch durante el año de 1998.

Se estudiaron 17 zonas de interés para estos geólogos, siendo el Berrinche, el Reparto y el Bambú los más estudiados. Para resolver los problemas de deslizamiento que existen en estas localidades se realizó la instalación de drenajes.

El libro presenta información gráfica, seguida de su explicación correspondiente. Gracias a la representación por imágenes, mapas y gráficos la información descrita está muy bien respaldada. El único inconveniente observado es que el tamaño de las imágenes puede complicar al lector al querer interpretar la información en ellas. Otro problema es el idioma en el cual es presentando que puede causar inconveniente a aquellos que no comprendan el idioma inglés.

Los acuíferos Volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central.

El texto presenta información que se centra en el tema “agua en América Central”, y se orienta a aguas subterráneas. El libro contiene información catalogada por país, los temas se enfocan en el uso de las aguas subterráneas y las características hidrogeológicas de las regiones de estudio. En lo que concierne a la zona de Tegucigalpa, se encuentra información sobre la geología general, vulcanismo, hidrogeología e información de pozos. Debido a que el libro se enfoca en la información por país los datos relacionados a Tegucigalpa se limitan a uno o dos párrafos por tema. La información que se presenta es muy limitada para poder realizar investigaciones si solo se desea enfocar en información de Tegucigalpa. (Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central, 2001)

The Jurassic of the Circum-Pacific (Jurásico del Anillo de Fuego)

Libro que toca el tema del surgimiento de rocas del Jurásico en la zona del pacífico. El ambiente tectónico, secuencias estratigráficas e información fósil encontrada y catalogada son los temas tratados en dicho documento. Este es uno de los documentos que ha servido como base bibliográfica para investigaciones en la actualidad siendo en la página 108 donde se encuentra un tema llamado “Evolución de la Nomenclatura estratigráfica” tema que contiene información sobre el grupo geológico “Grupo Honduras” partiendo de investigaciones realizadas en la mina de San Juancito.

La información que se puede obtener es reducida y se encuentra en idioma inglés. No incluye imágenes o información gráfica, únicamente incluye un mapa de Honduras que muestra donde se encontraron cuerpos del “Grupo Honduras” a lo largo del país y se debe de mencionar que no presenta las ubicaciones precisas del grupo.

(Westermann, 2005)

Investigaciones realizadas por la California State University.

La universidad estatal de California ha realizado durante años viajes a Honduras con el propósito de investigar la geología del país. La información que se obtiene a partir de estos viajes se puede encontrar en el sitio web de la universidad.

La investigación que se encuentra de la zona de Tegucigalpa en dicha página se puede encontrar de igual manera en la hoja geológica de Tegucigalpa (segunda edición). El sitio contiene la descripción de los grupos geológicos que se encuentran en Tegucigalpa.

Mapa Hidrogeólogo de Honduras

La información de este mapa se realizó por las entidades Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), La Coordinación de Hidrogeología (CHI) de esa dependencia, El Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la Secretaria de Comunicaciones Obras Públicas y Transporte (SECOPT ahora llamado INSEP), El Servicio Geológico Británico y la Organización para el Desarrollo de Ultramar-Inglaterra (BGS/ODA), las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Dirección General de Recursos Hídricos de la Secretaria de Recursos Naturales.

El documento engloba información acerca de la geología, estructura geológica e hidrogeología de Honduras. En cuanto a la zona de Tegucigalpa la información que tiene es poca pero tiene un importante contenido hidrogeológico representado en tablas, texto y un mapa. Un inconveniente de dicho mapa es la pobre presentación que tiene, es decir la calidad de las imágenes que se encuentra dentro de ella presenta dificultades al momento de la interpretación. (varios)

Investigaciones realizadas por la KTH Royal Institute of Technology

El Real Instituto de Tecnología o Kungliga Tekniska Högskolan es una Universidad situada en Estocolmo, Suecia. Dicha institución ha realizado estudios durante varios años en el país orientados a la hidrogeología. La información se puede encontrar en la página web de la misma. Las investigaciones se pueden encontrar en la página solo con el buscador. La información así como la página se encuentran en idioma inglés.

Fifty –Year Flood-Inundation Maps For Tegucigalpa, Honduras (Mapa de Inundaciones de Tegucigalpa proyectado a 50 años)

Reporte desarrollado por el Servicio de Levantamientos Geológicos de los Estados Unidos (*U.S Geological Survey USGS*) que contiene información de investigaciones

hidrológicas. El documento contiene información de estudios realizados con relación a elevación de agua y proyección de inundación para 50 años de los ríos Choluteca, Guacerique y Chiquito. La información del informe está compuesta por tablas, textos y mapas. Los datos en el documento se presentan de manera ordenada y es una lectura fácil de analizar, este documento no está traducido por lo que solo se encuentra en formato inglés (Olsen, 2002) .

Mapa de Deslizamiento de Tegucigalpa

Se elaboró un mapa de deslizamientos de tierra para Tegucigalpa durante el presente año. El mapa se desarrolló con información obtenida de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, muestra la ubicación y tamaño de los cuerpos en deslizamiento así como la deformación en las rocas y grietas. El mapa fue desarrollado por estudiantes universitarios de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) y Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) bajo la supervisión de profesionales en el área de deslizamiento de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) , Godoy y Moncada (2014).

El mapa como resultado final es una imagen satelital de la ciudad de Tegucigalpa en la cual se ubicaron los deslizamientos. Este está presentado en formato de imagen física así como digital, y debido a la calidad de a imagen la interpretación resulta ser cómoda.

Columna Estratigráfica de Honduras

Columna del bloque oeste y central de Honduras creado por GEOMINH en el año de 1998 y en el que se ubica las capas con su descripción respectiva. Presenta una sección de la estratigrafía de honduras seguido de una breve descripción de los datos presentados y mostrando a que grupo geológico pertenece. Anexado a esta hoja se muestra una columna describiendo los eventos que llevaron a la formación y disposición de las capas. La columna estratigráfica no exhibe código de color alguno y no presenta los espesores de capa.

PROBLEMA CIENTIFICO

El principal problema que existe en el país y principalmente en el centro de Tegucigalpa y sus alrededores con relación al tema de la geología es que al momento de ser utilizada estos datos se encuentran fragmentados o bien la información que existe no es suficiente información para los fines deseados. Esto, unido al alto costo de los trabajos geológicos de gran precisión, la falta de recursos humanos y financieros lleva a las personas a acudir a información que se encuentra dispersa en trabajos realizados a lo largo de los años. Debido a esta problemática se cree conveniente hacer un trabajo de recopilación de la bibliografía existente.

Hipotesis

La identificación de las principales variables de la constitución geológica del territorio de estudio, determinado por la geomorfología, estratigrafía, vulcanismo tectónica y recursos minerales servirán para caracterizar la geología del territorio mediante la compilación, generalización e interpretación de toda la información existente. Es decir; con el grado de conocimiento de las diferentes variables geológicas se puede realizar una caracterización de la geología de Tegucigalpa sobre la base de información ya existente.

OBJETIVOS

Objetivo General

Mediante la compilación bibliográfica existente, caracterizar la geología del territorio de Tegucigalpa.

Objetivos Específicos

- Obtener la columna estratigráfica del territorio de Tegucigalpa.
- Realizar la digitalización del mapa geológico de Tegucigalpa a escala 1:50,000 partiendo de información del mapa geológico del Distrito Central 1:25 000.
- Describir las diferentes variables de la constitución geológica del territorio de Tegucigalpa.

Novedad Científica

La novedad científica del trabajo se puede valorar desde el punto de vista estudiantil y profesional.

Al existir un documento que contenga información de un tema en específico sobre la geología de la zona de estudio, los datos ayudaran en la obtención de información que pueda ser utilizada para justificar trabajos y que pueda ser consultado sin problema alguno.

Por otra parte la digitalización de un mapa geológico para el cuadrángulo de Tegucigalpa servirá como material de trabajo ya que un mapa geológico digitalizado no se encuentra disponible.

Actualidad del Tema

Su actualidad consiste en que permitirá cubrir la necesidad que tengan los estudiantes y/o profesionales en búsqueda de material didáctico relacionado los temas:

- Compilación de información disponible relaciona a la geología de la zona de Tegucigalpa.
- Digitalización de un mapa existente con sus respectivas correcciones.
- Obtención de una columna estratigráfica partiendo del mapa digitalizado.

METODOLOGIA DEL TRABAJO

El siguiente documento se realizó a partir de la recolección bibliográfica de textos, libros e informes de empresas e instituciones públicas o privadas, nacionales o extranjeras. Los datos se encontraban en formato digital o bien en físico. La información fue revisada cuidadosamente y solo se escogió información que enfocara estudios en áreas de la geología realizadas en el cuadrángulo de Tegucigalpa.

Sumando la recopilación de información bibliográfica se digitalizo un mapa utilizando el software GVSig. El mapa digitalizado sirvió como base para la elaboración de una columna esquemática de la estratigrafía del cuadrángulo de Tegucigalpa. Tanto el mapa como la columna se realizaron utilizando la NORMA CUBANA NC 622 año 2012, texto que regula la elaboración de una hoja geológica de manera correcta. De dicho texto se utilizó la tabla del tiempo geológico, para la distribución de los colores correctos tanto en el mapa como en la columna estratigráfica.

JUSTIFICACIÓN

Tegucigalpa, en el pasado fue reconocida por la extracción del mineral de plata y fue nombrado por su significado literal "cerro de plata". Anteriormente era común creer que la demanda de trabajo sería elevada, llamando la atención de personas de todo Honduras a la ahora capital lo que ocasiono una sobre población muy desorganizada. Este factor se convierte en un problema reinante para las construcciones de obras civiles en la actualidad.

Al ejecutar la construcción de obras civiles la geología es una ciencia que debe de estar siempre presente, la importancia del conocimiento de la geología de una zona no es algo que deba de ser tomada a la ligera.

Un pobre conocimiento sobre el tema, complicaciones que surgen durante la adquisición de información y en algunos casos la inexistencia de la misma, llevan a los profesionales a situaciones que los colocan en desventaja al momento de llevar a cabo la ejecución de una obra de infraestructura. Así mismo esta problemática limita el aprendizaje de temas con relación al argumento que afectara el desenvolvimiento de los futuros profesionales.

En Tegucigalpa no existe un ente que regule la recolección de documentos e investigaciones respecto al tema. Esto es un problema cual conlleva a una base de datos desorganizada y dispersa. La información existente que corresponde a temas de enfoque geológico y que enfoca estudios realizados en Tegucigalpa se encuentra en manos de empresas privadas, instituciones privadas y públicas, entes gubernamentales ya sean de origen extranjero o nacional.

La información en este documento se ve sujeta a los datos obtenidos del "Mapa

Geológico del Distrito Central" de escala 1:25 000. El mapa se digitalizo y se realizaron correcciones siguiendo las normativas de la "Norma Cubana NC 622 AÑO 2008" para la elaboración de Cartografía Geológica así como documentos existentes con relación al tema de investigación.

Con esta investigación se pretende crear un archivo que sirva como apoyo para proporcionar información geológica de Tegucigalpa, orientada en caracterizar la geología de la zona. Esto se pretende dejando en evidencia una fuente de datos geológicos que vienen a cubrir una carencia de información de la zona y que está orientada a impulsar la recolección de más investigación relacionada al tema por parte de particulares o bien entes de cualquier índole.

Limitaciones

El contenido de la investigación se vio afectado por la cantidad de información obtenida. No se pudo obtener cierta información lo cual no permite saber los espesores de las capas para la columna estratigráfica llevando a la creación de una columna esquemática de la estratigrafía de la zona.

La digitalización del mapa se vio demorada debido a la calidad del material base que se encuentra en una calidad insatisfactoria ya que la obtención del mapa geológico del Distrito Central en físico no tuvo resultado alguno.

La información disponible esta tan dispersa que la búsqueda resulta en muchos casos tediosa cuando el resultado de la recopilación de información se ve reducido en uno o dos párrafos.

Generalidades

Ubicación geográfica

Tegucigalpa se encuentra localizada en Honduras, en el departamento de Francisco Morazán, situada dentro del municipio del Distrito Central.

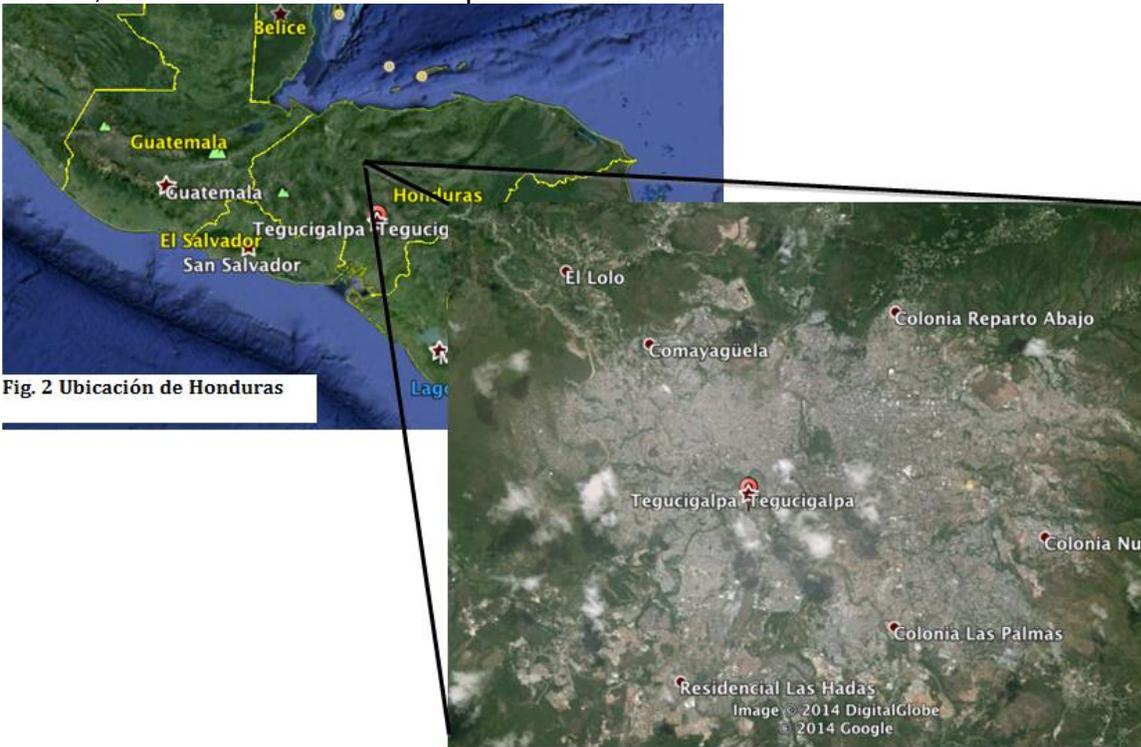


Fig. 2 Ubicación de Honduras

Fig. 1 Ubicación de Tegucigalpa

La zona de exposición se encuentra limitando al norte con los municipios de Cedros y Talanga, al sur con los municipios de Maraita, San Buenaventura, Santa Ana y Lepaterique, al oeste con los municipios de Santa Lucia, San Antonio de Oriente, Valle de Ángeles y San Juan de Flores y al oeste con los municipios de Ojojona, Lepaterique, Lamani y San Antonio de Flores. (Tegucigalpa)

Clima

Al igual que gran parte del centro de Honduras, la ciudad tiene un clima tropical, aunque templado por la altitud, lo que significa menos húmedo que los valles más bajos y las regiones costeras. Cuenta con dos temporadas, la temporada seca y fría que comienza en noviembre y finaliza en marzo y la temporada lluviosa y cálida que inicia en abril y finaliza en octubre.

El promedio de horas de sol por mes durante el año es 211,2 y el promedio de días lluviosos por mes es de 8,9. El promedio de horas de sol durante la estación seca es de 228 por mes, mientras que 182,5 milímetros (7,19 pulgadas) es el promedio de precipitación mensual durante la estación húmeda. Los meses más lluviosos de la temporada de lluvias es de mayo-junio y septiembre-octubre, con un promedio 16.2 días de lluvia durante esos períodos. (Tegucigalpa)

Geomorfología

Los relieves muy erosionados se presentan en conjuntos de lomas o cerros aislados, lagunas de aspecto cónico recubiertos de gravas del material disperso, fuertemente empinados, con el Cerro el Volcancito a unos kilómetros al oeste de Tegucigalpa. Dichas formaciones están recubiertas de entisoles muy inestables. La alteración mecánica por disolución del cemento de óxido de hierro sirve de soporte al bosque de pinos de escasa cobertura.

Las lavas se presentan como coladas desmanteladas o núcleos de antiguos aparatos volcánicos en torno a los cuales se depositan por gravedad las acumulaciones de gravas y bloques de la ablación de esas estructuras volcánicas.

El rasgo más peculiar son los grandes depósitos estratificados, oscilados ocasionalmente, e intensamente fracturados de las tobas e ignimbritas, que se presentan como mesetas degradadas por erosión diferencial o bien como cerros residuales que van quedando aislados de su contacto inicial. El caso de cerros aislados es muy frecuente y se puede citar por ejemplo los siguientes: Mina Grande, Uyuca, El Picacho, El Molino etc.

Finalmente, sobre las ignimbritas de la Formación Jutiapa se localizan en algunas áreas y sin que eso sea lo normal el producto del vulcanismo más reciente en forma de mesetas volcánicas, y conos volcánicos con depresiones que forman cráteres, que por descansar concordantemente sobre las ignimbritas pasan a veces desapercibidos en el paisaje.

Ejemplos de ese vulcanismo se pueden observar en el Cerro del Pedregal al oeste de Tegucigalpa. Cerro de andesitas y basaltos cuaternarios, y que ofrece a la vista tres depresiones cratéricas en buen estado de conservación ocupadas por las tierras de cultivo de la comunidad de Santa Ana. También se observa el vulcanismo en los cerros y mesetas que constituyen el área de alimentación de la cuenca superior del río Carraneres, afluente del Tatumbula. Por la presencia de cráteres aun visibles y el poco grado de alteración de las lavas se cree que ese vulcanismo ha estado activo hasta el Oligoceno. Por lo que aquellos focos de emisión deberían denominarse volcanes y no cerros como aparecen oficialmente. (IICA/CATIE, 1986)

Estratigrafía y Vulcanismo

Como propósito de la investigación se desarrollaría una columna estratigráfica con sus respectivas eras geológica. Debido a la falta de información en cuanto a los espesores se desarrolló una columna esquemática de la estratigrafía de Tegucigalpa, obtenida del análisis de la hoja geológica de Tegucigalpa digitalizada.

EL texto que se leerá a continuación debe de ser complementado con la columna estratigráfica. (Anexos)

Por encima de las capas silicilásticas de Valle de Ángeles se disponen los materiales del grupo Terciario Grupo Padre Miguel. El contacto entre ambas unidades es una disconformidad que representa un paleo relieve con grandes superficies de erosión.

Durante el Terciario se inició el depósito local de los materiales máficos de la Formación Matagalpa de edad Oligocena (Rogers y O'Conner, 1993) sobre la que se depositaron las ignimbritas del Grupo Padre Miguel de edad Oligoceno-Mioceno en dos ambientes de

depósito bien diferenciados que darían lugar al Miembro Cerro Grande y a la Secuencia Principal de Ignimbritas. La Secuencia Principal de Ignimbritas presenta un contacto inferior concordante con el Miembro Cerro Grande.

Tras el depósito de la secuencia Principal de Ignimbritas hubo un episodio de erosión que permitió el afloramiento local de los materiales del Miembro Cerro Grande, seguido de un periodo de depósito de sedimentos aluviales de vulcanoclásticos sobre un paleorrelieve existente. Esta secuencia de sedimentos aluviales representa un periodo sin depósito de tobas dentro del Grupo Padre Miguel que O'Conner (1986) denominó Miembro el Periodista. Las características sedimentarias indican la existencia de un depósito aluvial con cauces trenzados y terrazas (Rogers y O'Conner, 1993). Los materiales supra yacentes tienen contacto discordante con el Miembro El Periodista y corresponden a coladas basálticas atribuidas al cuaternario.

Grupo Honduras (Jkhg)

Este grupo fue llamado "Formación el Plan" (Carpenter) nombre que proviene de un pueblo cerca de la zona de San Juancito. Carpenter junto a otros notaron que la Formación El Plan estaba altamente deformada y que su grosor no se podría medir en la zona de San Juancito debido a su complejidad estructural. A pesar del problema con la región de San Juancito, Mills (1967), Gallo y Van Wagoner (1978) descubrieron que la formación llegaba más allá de la zona de estudio.

Después de un arduo trabajo de campo en el este y sur de Honduras, Ritchie y Finch (1985) introdujeron el nombre "Formación Agua Fría" por estratos expuestos en la mina de oro Agua Fría cerca de Danlí, Honduras. Kosuch (1989) reemplaza el nombre Formación el Plan por Formación Agua fría porque los estratos en Agua Fría son más gruesos y más correlacionados con otras localidades en Honduras. Como resultado la Formación el Plan es pobremente definido por los actuales trabajadores en Honduras, Formación Agua Fría para camas encontradas en otras partes de Honduras.

Finch (1985) y Ritchie introdujeron el nombre de Grupo Honduras para incluir todas las unidades clásticas que se encuentran debajo de la capa base inferior de calizas Atima. Así, estratos formalmente referidos como Formación El Plan ahora son referidos como formación Agua Fría del Grupo Honduras. El Grupo Honduras también incluye unidades de piedras de arenisca y conglomerado que es comúnmente encontrada debajo de la caliza Atima y esta aparentemente encima de la formación Agua fría (Formación el Plan). Los geólogos hondureños de la Dirección General de Minas e Hidrocarburos llaman a esta unidad "el miembro de silicilásticos innominado del Grupo Honduras.

En Tegucigalpa aflora la unidad estratigráfica del Jurásico superior Grupo Honduras. Se realizaron estudios de las rocas Jurásicas los cuales indicaban que la Formación, el Plan forma parte de la Formación Agua Fría del Grupo Honduras (Kozuch, 1989; Gordon, 1990; Finch y Richie, 1985; 1990). La litología presente en esta formación consiste en lutitas y areniscas verdes oscuras y moradas verduscas bien calcáreas, coladas de andesitas y depósitos piroclásticos. Los contactos dentro del grupo Honduras no se han encontrado en el campo y se presentan fallados.

Valle de Ángeles

Definido por Carpenter 1954, Mills et al., 1967. Corresponde a una espesa secuencia de rocas clásticas rojas delimitadas en los alrededores de la comunidad Valle de Ángeles. Actualmente se asigna este término a todas las formaciones sedimentarias ubicadas estratigráficamente por encima de las formaciones del Grupo Yojoa y por debajo de las formaciones volcánicas Terciarias.

Sus componentes principales son: Capas Rojas: compuestas por conglomerados y areniscas del nivel inferior; Secuencia de niveles carbonatados del Cenomaniano-Turonio llamada Formación Jaitique en la parte occidental de Honduras y Formación Esquías en la parte central; Capas Rojas: Secuencia superior constituida por lutitas y areniscas finas y se caracteriza por la presencia frecuente de yeso. El grupo está dividido en formaciones las cuales son:

- Formación Villanueva
- Formación Matagalpa
- Formación Rio Chiquito
- Descripción de las características de cada formación.

Formación Villanueva (Kvv)

Una gran parte de la zona está asentada sobre las capas rojas de la formación villa Nueva que consisten en estratos siliclásticos de grano grueso con una mayor parte de sedimentos finos.

Estas se encuentran en el sur y el noreste de Tegucigalpa. Estos depósitos sedimentarios incluyen lutitas, areniscas, conglomerados de cuarzo y clastos de rocas metamórficas, volcánicas y caliza. Los depósitos varían de color rojo claro o marrón hasta el café claro. Los conglomerados tienen guijarros sub angulares a sub redondeados en una matriz de arena de grano grueso medio. Asimismo existe cierta cantidad de tobas riolíticas a lo largo de los ríos La Soledad y Tatumbala.

Comúnmente, las estructuras sedimentarias son capas planas con zonas menores de estratificaciones cruzadas y capas graduadas con espesores que varían entre 0,1 a 2,0 m. El ambiente de depositación se interpretó como abanicos aluviales (Schumm et al., 1987), con depósitos de agua y flujos de alta viscosidad. La edad de esta formación está entre la edad de la Formación Atima, que se encuentra debajo del Grupo Valle de Ángeles en la zona central de Honduras y la edad de las calizas (Cenomanio de la Formación Jaitique y el miembro Guare por Finch, 1981) que separan el grupo en la zona central de Honduras. El espesor de estas capas puede llegar a hasta 1000 m respecto, pero el contacto inferior no se ha encontrado.

Formación Matagalpa (Tm)

La formación Matagalpa de Oligocena fue definida como "coladas de andesita y basalto con algunas coladas de dacitas y depósitos piroclásticos depositados localmente antes de la erupción principalmente de ignimbritas, pero las rocas volcánicas máficas predominaban"^a. Usando esta definición, se han mapeado los flujos máficos como Matagalpa.

^{aaa}Williams y Mc Birney (1969)

Las coladas máficas de basaltos y andesitas de la Formación Matagalpa se encuentran a lo largo de la Carretera del Norte y al norte cerca del pueblo El Piligüin. Habitualmente, las coladas máficas son de grano grueso, textura granular a fenocristales de anfíbolos y feldespato cálcico o plagioclasas de color gris o castaño pálido. La formación ha sido intensamente alterada a clorita, sericita y epidota. Un dictamen de esta formación son los suelos arenosos de color castaño a beige.

Existen afloramientos pequeños de lutitas calcáreas de color gris dentro de las coladas de andesitas bien alteradas en El Chimbo. También se encuentran afloramientos pequeños de arenisca en el contacto entre la Matagalpa y el miembro Cerro Grande del Grupo Padre Miguel cerca del cerro El Berrinche. Hacia abajo se desconoce el contacto inferior con el Grupo Valle de Ángeles.

Formación Río Chiquito (Kvc)

La formación se encuentra en la zona central de Tegucigalpa, la Formación Río Chiquito que consiste por lo general en capas rojas que se distinguen de la Formación Villa Nueva por su textura fina. Así como la Formación Villa Nueva, estos estratos contienen lutitas, limonitas, areniscas y algunas capas de conglomerado de cuarzo pero los clastos son de grano fino y el color es morado rosado obscuro.

También existen algunos estratos delgados de andesita como la que se encuentra en el corte por la carretera entre Santa Lucía y El Edén. Cerca del Chimbo existe un delgado afloramiento de caliza gris dentro de la Formación Río Chiquito. Estructuras sedimentarias incluyen principalmente estratificaciones planas con pocas estratificaciones cruzadas y capas graduadas.

El contacto entre la Formación Villa Nueva y la Formación Río Chiquito es concordante y hay un cambio gradual a una textura fina de la Formación Villa Nueva hasta la Formación Río Chiquito. Venas de yeso se localizan en el Barrio La Bolsa (mineral que fue reportado en las capas del Grupo Valle de Ángeles por Finch; 1972,1981 en la zona central de Honduras).

Las capas de lutitas y limolitas varían de espesor entre 5 y 25 cm. pero pueden aumentar hasta un rango de 30 a 50 cm. El espesor de esta formación es aproximadamente de 400 a 800 m pero las fallas y la erosión pueden aumentar o reducir la exposición de esta unidad. Los mayores afloramientos de la Formación Río Chiquito se lucen en los cortes a lo largo de la Carretera a Valle de Ángeles.

Esta unidad de rocas fue depositada por ríos y flujos de alta viscosidad en la parte más lejana de un abanico aluvial. La parte con caliza representaba una menor inundación del mar. El yeso no sugiere un clima seco para esta unidad, sino que habría un breve tiempo cuando la evaporación fue mayor que la precipitación o que habría un tiempo de circulación de agua limitada en la cuenca. Basados en identificación de polen, Gose y Finch (1987) asigna una edad de Cretácico superior para un afloramiento de la Formación Río Chiquito inmediatamente abajo de las rocas volcánicas Terciarias.

Grupo Padre Miguel

Definido por Williams y MC Birney (1969) en Guatemala y extendido al conjunto de los depósitos volcánicos ácidos de Centro América de edad Miocénica, con datación de edad

absoluta 19-14 millones de años. El grupo consta, principalmente de capas de ignimbritas, riolitas, tobas, lahares, piroclastos y conglomerados volcánicos con capas de andesitas o basaltos en la parte superior (Donelly et al, 1990). Su espesor total puede superar los 1500 m en la parte occidental de Honduras (Montaña de Celaque).

Esta es una secuencia gruesa de ignimbritas que cubre la mayoría del occidente de Honduras y descansan en una relación disconforme sobre la Formación Matagalpa (Williams y Mc Birney, 1969; Anderson, 1985). Williams y Mc Birney (1969) calcularon que puede haber 5000 km³ de material volcánico cubriendo el país, correlacionando estas ignimbritas con el Grupo Padre Miguel de Guatemala. (EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED -EPR)

El grupo se encuentra dividido:

- Miembro Cerro Grande
- Ignimbritas Principales
- Lahares
- Miembro el Periodista

Miembro Cerro Grande (Tpg)

Se utiliza la enunciación de Williams y Mc Birney (1969) como secuencia gruesa de ignimbritas, tobas y sedimentos volcánicos sobre los sedimentos Cretácicos y las coladas máficas. Se mapeo los volcánicos entre el Grupo Valle de Ángeles y las coladas basálticas nuevas como el Grupo Padre Miguel. En el noreste de Tegucigalpa se encuentra una secuencia gruesa de ignimbritas endurecidas y principalmente ácidas. Estas rocas fueron mapeadas por O'Conner (1986) como la Formación Cerro Grande. Las ignimbritas son mayormente de color violeta y contienen cristales de cuarzo y sanidina dentro de una matriz vitrificada criptocristalina con fracturación intensa y vertical.

El miembro está bien expuesto en los costados de la Carretera a Cerro Grande y la Carretera a Olancho. En el Cerro El Berrinche, el miembro presenta flujos individuales de ignimbritas de color negro con cristales líticos y matriz obsidiana. Este miembro está muy endurecido y hay lugares donde no se puede diferenciar entre las ignimbritas y las coladas de Matagalpa en el campo. Datos radiométricos obtenidos por Fred McDowell (UTA) en Emmet (1983) revelan una edad de 14 millones de años en una muestra del miembro Cerro Grande. Lo que diferencia a las ignimbritas del miembro Cerro Grande de otras unidades se distinguen otras unidades es la cualidad de estar muy endurecida y bien fracturada.

Ignimbritas Principales (Tpm)

Las secuencias principales de tobas ignimbriticas del Grupo Padre Miguel se encuentran en cualquier lugar de Tegucigalpa. Las rocas de esta unidad consisten en tobas riolíticas, dacíticas y andesíticas de color blanco, rojo, rosado o verde con cristales de cuarzo, feldespatos, sanidina, biotita, líticos de pómez y clastos del Grupo Valle de Ángeles y Formación Matagalpa.

A esta formación también se incluyen algunas rocas sedimentarias de clastos volcánicos y tobas de tipo "sillars" bien estratificadas. Pasado el tiempo sin el depósito de sedimentos llevo a una época de desgaste y desarrollo de suelos. Por esta razón el contacto entre el Grupo Valle de Ángeles y los volcánicos Terciarios es muy inestable y exhibe derrumbes.

Las tobas localizadas cerca del Cerro de Uyuca tienen un espesor de 400 a 500 m, pero fallas normales probablemente aumenten el espesor de esta unidad. El espesor más común es de 250 metros y se observa en El Picacho al norte de la ciudad de Tegucigalpa.

Lahares (Tpl)

Los afloramientos de materiales de conglomerado laháricos se encuentran en el Cerro El Volcancito que consiste en clastos altamente angulares de grava gruesa de coladas, de tobas y clastos del Grupo Valle de Ángeles. El depósito no se encuentra de manera uniforme y aparece situado caóticamente en un paleovalle en el Grupo Valle de Ángeles.

Miembro El Periodista (Tpp)

Una secuencia de sedimentos vulcano clásticos se encuentra en el suroeste de Tegucigalpa en la zona del aeropuerto Toncontín y por la Colonia El Periodista (O'Conner, 1986). Consiste en una serie de arenisca, grava y limonita con cantos de tobas. Los espesores varían de entre 8 y 60 cms. y muestran ejemplos de canalizaciones y rellenos con grava. Dentro de las capas también se observa fragmentos de tobas de tamaños con 12 x 11 cms., 13 x 6 cms. y 20 x 8 cm (Rogers y O'Conner). El espesor es de unos 100 metros aproximadamente. Este miembro representa un período sin sedimentación de tobas dentro el período de actividad volcánica que representa el Grupo Padre Miguel. Las características sedimentarias indican sedimentación en ríos trenzados y en terrazas. Los contactos arriba y abajo con la secuencia principal de tobas del Grupo Padre Miguel son zonas de desgaste y desarrollo de suelos.

Basaltos Cuaternario (Qb)

Coladas de basalto oscuro que presentan pequeños cristales de olivino y plagioclasas^a y pocas escorias piroclásticas con aspecto vesicular y vítreo. Se encuentran al oeste de Comayagüela y en ciertas mesetas al sur de Tegucigalpa. Estas coladas son los mismos basaltos encontrados en Lepaterique (Anderson, 1987). El contacto entre los basaltos y las tobas del Padre Miguel se puede distinguir por el cambio brusco a color café y por los numerosos bloques de basalto. No existen datos radiométricos para los basaltos. En el cuadrángulo de Tegucigalpa es probable que el espesor de los basaltos sea menos de 100 m.

Aluvi3n Cuaternario (Qa y Qe)

Los dep3sitos aluviales recientes en el cuadrángulo son relativamente limitados y por lo general descansan a lo largo de los drenajes y r3os. Se encuentran sedimentos de terrazas m3s antiguas en la Colonia Miraflores y a lo largo del Bulevar Moraz3n donde se encuentran depositadas en el Grupo Valle de 3ngeles. Dep3sitos de abanico aluvial se observan en Valle de 3ngeles y El Zamorano. Estos sedimentos consisten en arena, grava y guijarros de fragmentos de lutita, arenisca, tobas y otros materiales volc3nicos.

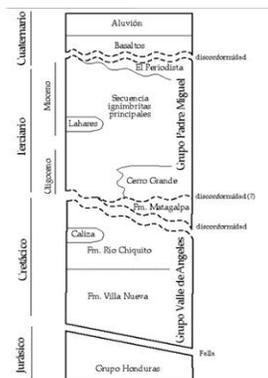


Figura 4 columna esquemática (Roberts y O'Conner 1993)



Figura 3 Tegucigalpa, zona de estudio para la obtenci3n de la columna esquemática (Roberts y O'Conner 1993)

^a Mineral industrial utilizado en la fabricaci3n de porcelanas.

Intrusión (Ti)

Únicamente en la zona del Chimbo y a lo largo de la Carretera a Valle de Ángeles y la Carretera del Zamorano se han encontrado rocas y diques intrusivos. En estos casos, las rocas son de grano grueso y fino de composición intermedia. Su edad es desconocida aunque parece cortar rocas Cretácicas y probablemente rocas del Terciario, por lo que se le asigna una edad Terciaria.

Años atrás se realizó la exploración del área cercana al Aeropuerto Internacional de Tocotín donde existían unos fósiles de nido de avispas minadoras. La zona fue objeto de estudio geológico lo que llevo a la indagación de información estratigráfica dando como resultado un esquema de la serie estratigráfica del área de Tegucigalpa.

En la figura se puede observar a la izquierda la serie estratificada del área de Tegucigalpa, Modificado de Rogers y O`Conner 1993. Se indica la posición estratigráfica de los afloramientos estudiados. A la derecha se observa la situación de los afloramientos del sur oeste de Tegucigalpa. Los números dentro de la imagen representan la litología de la zona, siendo 1. Grupo Valle de Ángeles, 2. Formación Matagalpa, 3. Secuencia Principal de Ignimbritas, 4. Miembro El Periodista, 5. Basaltos y 6. Aluvión.

Tectónica

La compresión del norte hacia el sur resultando en pliegues y fallas de la Formación Villa Nueva tienen un rumbo principalmente oeste y noroeste con una amplitud que varía desde 250 hasta 1000 m donde se expone a lo largo cortes de las carreteras. Los pliegues dentro de la Formación Río Chiquito son más frecuentes y de poca extensión. Esta resulta en fallas, fracturas y pliegues más densas en la Formación Río Chiquito.

Se encuentran fallas inversas en todas las rocas del Grupo Valle de Ángeles. Los pliegues grandes tienen de 5 hasta 10 km. de amplitud y tienen una inclinación y rumbo al oeste. Se cree que existen más fallas inversas y pliegues pero no se localizan en el campo (O`Conner, 1997). Fallas normales con rumbo principalmente noroeste y noreste afectan los depósitos sedimentarios Cretácicos y volcánicos del Terciario. No se observan fracturas en los basaltos del Cuaternario. En las fallas normales cerca del pueblo Valle de Ángeles se calcula una separación de 100 hasta 500 m entre ellas. Alineamientos topográficos en el Cerro de Uyuca sugieren una separación de casi 500 m entre fallas.

Los riesgos geológicos principales en el cuadrángulo de Tegucigalpa son los derrumbes y erosión de los suelos. Este contacto es estratigráficamente disconforme siendo una paleo superficie de erosión antes de depositar del Grupo Padre Miguel. La superficie de desgaste es inestable. Desastrosamente, las zonas de derrumbes son planas y usadas como lugares de construcción de carreteras, edificios y hogares.

La Formación Río Chiquito es muy erosionable y los suelos que se encuentran en esta unidad pueden desgastarse con mucha facilidad. La urbanización, la deforestación y la cultivación dentro de esta formación contribuyen enormemente a los problemas de sedimentación y erosión en las cuencas del Río Chiquito y del Río Choluteca. (O`Conner, 1997)

Para poder dar una mejor idea de la condición de Tegucigalpa con relación al tema se elaboró un mapa de deslizamientos después del paso del Huracán Mitch. El USGS fue

quien elaboro el mapa. Dicho elemento no será anexado a este documento puesto que existe uno creado durante el presente año elaborado por JICA y estudiantes de la UNAH y UPI. Así mismo puede hacer uso del mapa geológico puesto que muestra las fallas en la zona de estudio en conjunto con el mapa descrito anteriormente (anexos). Si se desea consultar el mapa este se encuentra en las instalaciones de la Universidad Politécnica de Ingeniería.

Recursos Minerales

Tegucigalpa se fundó a causa de la migración de mineros que construyeron sus hogares al escuchar que existían vetas de plata que le dieron el nombre a lo que ahora es la ciudad de Tegucigalpa. La mina san miguel de Heredia se fundó en 1578 por el español Juan de La Cueva. (USA International Business Publication, lbp.us.com, 2007)

CONCLUSIONES

El mapa geológico del Distrito Central a escala 1:25 000 presenta inconsistencias en cuanto al uso de colores para determinar los cuerpos geológicos, los errores se corrigieron al digitalizar la imagen.

La elaboración del mapa digitalizado Geología de Tegucigalpa se vio afectada en cuanto a los alcances de los cuerpos geológicos debido a calidad de la imagen, el mapa puede tener un error mínimo en el área total que abarcan los cuerpos, este mapa no puede ser utilizado para trabajos que requieran precisión .

No se pudo realizar una columna estratigráfica debido a la falta de información sobre los espesores de cada cuerpo, el problema se resolvió realizando una columna conceptual.

RECOMENDACIONES

Se recomienda profundizar en las investigaciones de campo para la recopilación de información relacionada con el espesor de los estratos.

Comenzar a formar tomos que incluyan por categoría la información geológica disponible fuera y dentro del país no solo de Tegucigalpa pero de Honduras , catalogada por departamento y o municipio.

Tener un control riguroso en los trabajos geológicos verificando que estén desarrollados y presentados de acuerdo a la normativa internacional.

GLOSARIO

Abanico Aluvial: Se denomina abanico aluvial a la formación de terreno que presenta una moderada inclinación en forma de abanico que se origina mediante el paso de miles y millones de años mediante el depósito de materiales sedimentarios que son el producto de la erosión originada en las zonas de la base de cordilleras montañosas.

Acida: Se considera a una roca ácida si tiene un alto porcentaje de Cuarzo

Andesita: La andesita es una roca ígnea volcánica.

Basalto: El basalto es una roca ígnea expresiva, sólida y negra. Es el tipo de roca más común en la corteza terrestre, y cubre la mayoría del fondo oceánico.

Calcarea: Rocas sedimentarias de origen químico que están formadas fundamentalmente por caliza acompañada a veces de dolomía.

Clastos: Se llama clasto al fragmento de roca que aparece en sedimentos de menor antigüedad. También es un fragmento de roca de cualquier tamaño, composición y procedencia.

Coladas: La colada es un fenómeno geológico que se produce cuando el agua presenta un flujo laminar sobre una determinada superficie, lo cual facilita la pérdida de dióxido de carbono.

Columna Estratigráfica: Una columna estratigráfica es una representación utilizada en geología y sus sub campos de estratigrafía para describir la ubicación vertical de unidades de roca en un área específica.

Conglomerado: roca sedimentaria de tipo detrítico formada mayoritariamente por clastos redondeados tamaño grava o mayor

Deslizamiento: Un deslizamiento es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud.

Disconformidad: Es la discontinuidad estratigráfica en la que los materiales inferiores y superiores mantienen un paralelismo, pero la superficie de interrupción es una superficie alabeada de erosión.

Entisoles: Entisol se define como los suelos que no muestran ningún desarrollo definido de perfiles.

Epidota: a epidota es un mineral de calcio, aluminio y hierro.

Falla Geológica: una falla es una fractura en el terreno a lo largo de la cual hubo movimiento de uno de los lados respecto del otro.

Formación Atima: Formación encontrada en la región de Santa Bárbara consiste en caliza gris oscuro de estratificación gruesa además de lutita verde con intercalaciones de lutita y arenisca roja.

Formación Geológica: Una formación o formación geológica es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Geomorfología: ciencia que estudia las formas de la corteza terrestre.

Grupo Geológico: unidad litoestratigráfica compuesta por dos o más formaciones geológicas relacionadas entre sí.

Ignimbrita: La ignimbrita es una roca ígnea y depósito volcánico que consiste en toba dura compuesta de fragmentos de roca y fenocristales en una matriz de fragmentos vítreos.

Intrusión: cuerpo de roca ígnea que ha cristalizado desde el magma fundido bajo la superficie terrestre.

Limolita: roca sedimentaria que tiene un tamaño de grano en el rango de limo más fino que la arenisca y más grueso que arcillas.

Líticos: Lítico, es decir de fragmentos de rocas poligranulares

Litología: parte de la geología que estudia a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas.

Lutita: roca sedimentaria detrítica o clástica de textura pelítica, variopinta; es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo.

Máfico: adjetivo que se aplica a un silicato o roca que es rico en magnesio y hierro.

Mapa Geológico: representación en un plano geo referenciado de la geología
Expuesta en la superficie terrestre.

Matriz: En la geología la matriz es el material intersticial o que rodea a otras partículas.

Paleovalle: Valle de una época geológica pasada que ha cesado de estar recorrido por el río que lo formó.

Sericita: término que hace referencia a un agregado de grano fino de micas blancas del tipo moscovita-paragonita u otros minerales con una estructura similar a estos, como son los del grupo de la illita (minerales del grupo de la arcilla).

Siliciclastico: Sedimentos no carbonáceos a base de sílice, que son fragmentados a partir de rocas preexistentes, transportados a otro lugar y re-depositados antes de formar otra roca.

Sillar: material que tiene el aspecto de una roca porosa que es producto de una masa de material ígneo cargado de gas que fue expulsado al exterior por grandísimas fuerzas de un volcán.

Tectónica: especialidad de la geología que estudia las estructuras geológicas producidas por deformación de la corteza terrestre, las que las rocas adquieren después de haberse formado, así como los procesos que las originan.

Toba: La toba volcánica o tufo volcánico es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

ANEXOS



Columna Esquemática de la Estratigrafía de Tegucigalpa							
Era	Periodo	Epoca	LITOLOGIA	Unidades Geocronologicas		GRUPO GEOLOGICO	
C e n o z o i c o	Cuaternario	Cuaternario indefinido		Qal	Aluviones	} Padre Miguel	
				Qel	Depositos de coluviones		
				Qb	Coladas de basaltos		
	Neogeno	Neogeno indefinido		Tpp	Mpms		Tobas y sedimentos clasticos
				Tpp	Mmpm		Capas delgadas de lutitas y tobas ignimbriticas
				Tpl	Mpmi		Lahares
				Tpm	Mpmr		Rocas volcano sedimentarias
				Tpm	Mpmn		Capas piroclasticas bien estratificadas
				Tpm	Mpmi		Principal secuencia de tobas ignimbritas
			Tpg	Og	Ignimbritas vitrofricas		
Paleogeno	Oligoceno		Om	Flujos maficos hipogranulares porfiricas y andesitas arriba			
Mesozoico	Cretacico	Cretacico indefinido		Kvc	Limolitas	} Valle de Angeles	
				Kv v	Conglomerado y arenisca		

Bibliografía

- World Landslide Forum 3. *Landslide science for a safer Geo-Environment Vol. 3: Targeted landslides*, Volume 3 (Vol. 3). (K. Sassa, Ed.) Springer ,2014.
- Los acuíferos volcanicos y el desarrollo sostenible en America Central.* (2001). Editorial Universidad de Costa Rica.
- Westermann, G. E. (Ed.). (2005). *The Jurassic of the Circum-Pacific* (ilustrada , reimpressa , revisada ed., Vol. 3). Cambridge University Press.
- varios. *Mapa Hidrogeologico de la Republica de Honduras.* PDF, varios .
- Olsen, M. C. (2002). *Fifty- Year Flood-Inundation Maps for Tegucigalpa,Honduras* . U.S GEOLOGICAL SURVEY.
- Monografias.* (s.f.). Obtenido de www.monografias.com
- Abia, P. D. (1998). *Digger wasps nest from the Miocene of Tegucigalpa (Honduras ,Central America)*. Coloquios de Paleontologia.
- O`Conner, D. R. (1997). *Honduras Geology.* Obtenido de <http://geology.csustan.edu/rrogers/honduras/teguc.htm>
- Westernman, G. E. *The Jurassic of the Circum-Pacific* (Vol. 3). (2. Cambridge University Press, Ed.)

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED -EPR. ESTUDIO GEOTECNICO Y CLASIFICACION DE SUELO EN LA LINEA DE TRANSMISION SIEPAC.

IICA/CATIE, B. (1986). *La problemática demográfica-ambiental de tegucigalpa y su relación con el abastecimiento y costos de agua potable*. Tegucigalpa.

USA International Business Publication, Ibpus.com. (2007). *Honduras Mineral & Mining Sector Investment and Business Guide*. (I. B. Publications, Ed.)

Ubicación de Tegucigalpa. noviembre 2014 , ©2014 Google · CNES / Astrium, Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, U.S. Geological Survey · Imágenes adquiridas el 18 de mar. de 2013. 1:25,000.00, Sonia Soriano, <https://maps.google.com/maps?ll=14.07554,-87.21517&spn=0.236773,0.317917&t=h&z=12>, 12 de diciembre de 2014.

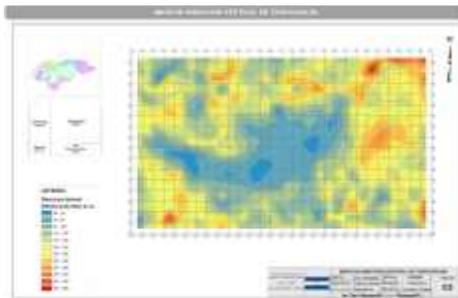
Ubicación de Honduras. noviembre 2014 , ©2014 Google · CNES / Astrium, Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, U.S. Geological Survey · Imágenes adquiridas el 18 de mar. de 2013. 1:500,000.00, Sonia Soriano, <https://maps.google.com/maps?ll=14.07554,-87.21517&spn=0.236773,0.317917&t=h&z=12>, 12 de diciembre de 2014.

Autor. “Mapa de Geológico de Tegucigalpa” [Shapefile/ gvp]. Escala.1:50,000.00 Primera Edición. Lugar de producción Tegucigalpa, M.D.C.: Productor Universidad Politécnica de Ingeniería UPI/ Sonia Soriano, fecha de derechos de autor noviembre de 2014. Software nombre del software utilizado: Versión. [gvSIG 1.12 Desktop] Lugar de producción: Tegucigalpa, Diciembre de 2014.



3

CONTENIDO



Correlación entre las Anomalías Morfométricas y los Deslizamientos en la Ciudad de Tegucigalpa, Honduras



CORRELACIÓN ENTRE LAS ANOMALÍAS MORFOMÉTRICAS Y LOS DESLIZAMIENTOS EN LA CIUDAD DE TEGUCIGALPA

Abner Isáí Carias Mendoza^a
Deisy Ondina García Morales^b
Laureano Orbera Hernández^c
Miguel Cabrera Castellanos^d

RESUMEN

Este Estudio fue realizado en la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), en la Ciudad de Tegucigalpa con el objetivo de identificar la correlación entre las anomalías morfométricas y los deslizamientos en la ciudad, logrando identificar que existe una mayor ocurrencia de deslizamientos en zonas donde los valores de la disección vertical del relieve y la disección horizontal coinciden, la implementación de metodologías de bajo coste y confiables que nos permiten identificar áreas con probabilidad de deslizamiento incluso antes de que estos ocurran.

Palabras Claves: *Métodos Morfométricos, Método de la disección vertical del relieve, Método de las morfoisohipsas, Método de la disección horizontal del relieve.*

ABSTRACT

This study was conducted at the Polytechnic University of Engineering (UPI) in the city of Tegucigalpa with the objective of identifying the correlation between morphometric abnormalities and landslides in the city, and succeeded in identifying that there is an increased occurrence of landslides in areas where reliable values of vertical relief dissection and horizontal match, the implementation of low-cost methodologies allow us to identify areas likely to slip even before they occur.

Keywords: *Morphometric Methods, Method of vertical dissection of relief, the morfoisohipsas method, Method of horizontal dissection of relief.*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio está ubicada en la hoja cartográfica 2758 II de Tegucigalpa a escala 1:50000 y comprende el sector entre las coordenadas 87°15'W y 87°00'W y los 14°00'N y los 14°10'N.

La ciudad de Tegucigalpa se encuentra en la zona central de Honduras en el departamento de Francisco Morazán, es considerada como una altiplanicie con alturas circundantes de más de 1800m sobre el nivel del mar y con pendientes de más de 30° como promedio.

La geología está constituida por rocas del grupo Padre Miguel de origen volcánico compuestas por tobas, areniscas, gravas y lavas así como por intrusivos e ignibritas. También están presentes las rocas del grupo Valle de Ángeles compuestas por lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados de cuarzo. En la parte superior de los cortes afloran depósitos recientes del cuaternario formados por aluvión, arenas y guijarros. El vulcanismo cuaternario muestra coladas de lava de basalto oscuro de olivino, plagioclasas y escoria.

^a Tegucigalpa, Honduras. Departamento de Geología Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: Deisy.garcia@upi.edu.hn.

^b Tegucigalpa, Honduras. Departamento de Geología Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: abner.Carias@upi.edu.hn.

^c Tegucigalpa, Ministerio de educación Superior de Cuba Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: lauriano.hernandez@upi.edu.hn.

^d Tegucigalpa, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: miguel.castellanos@upi.edu.hn.

La estructura geológica muestra dos etapas indiferenciadas, una antigua formada por monoclinales, anticlinal y sinclinales y sistemas de fallas de diferentes direcciones con ángulos suaves de buzamientos y otra más reciente del cuaternario tardío formada por sistemas de fallas de dirección su latitudinal que delimitan estructuras de horst y graben.

En las pendientes de los bloques se observan potentes espesores de cortezas de intemperismo, la mayoría formados in situ o con desplazamientos gravitacionales.

Desde el punto de vista geomorfológico los procesos que más influyen en la formación del relieve son los tectónicos, los litológicos y los gravitacionales. Estos últimos están condicionados por la litología y por el clima en la mayoría de los casos.

La sismicidad histórica en esta región está catalogada como de intensidad de mediana a fuerte. Teniendo en cuenta las características geológicas, geomorfológicas y climáticas del estudio el objetivo principal de este trabajo es la demostración de la relación que existe entre los parámetros morfométricos y los deslizamientos en la región de Tegucigalpa.

OBJETIVOS:

Identificar si existe una correlación entre los mapas de ocurrencia de deslizamientos y los morfométricos en Tegucigalpa.

Elaborar mapas morfométricos que permitan seleccionar zonas con probabilidad de deslizamiento.

Métodos Morfométricos

Los mismos consisten en transformaciones cartométricas para obtener índices cuantitativos del relieve para destacar las morfoestructuras y sus características. También permiten resaltar rasgos morfológicos cuantitativos. Entre estos métodos se encuentran los siguientes:

a) Disección vertical del relieve b) morfo isohipsas, y c) disección horizontal del relieve y del relieve. Los mismos se realizan sobre la base topográfica, que será empleada en el levantamiento geológico en el campo, la cual debe tener el doble de la escala que se ha proyectado para salida de los resultados del proyecto. Por ejemplo, si el levantamiento es a 1: 100 000, la escala de los mapas topográficos debe ser 1: 50 000. También se requiere que los mismos se extiendan más allá de los límites del territorio en cuestión para facilitar la orientación en el terreno y el levantamiento geológico en general extremos limítrofes.

Método de la disección vertical del relieve

Método de la disección vertical del relieve. Los índices de la disección o desmembramiento vertical para la confección del mapa homónimo se obtienen calculando la diferencia entre los valores extremos de altitud en cada cuadrícula del mapa topográfico. Los valores obtenidos se plotan en el centro de cada una de ellas y se interpolan mediante isolíneas, quedando conformado así el mapa de la disección vertical. Los mayores valores del desmembramiento del relieve en esta dirección, al igual que los de la disección horizontal, apuntan a la mayor intensidad de los movimientos neotectónicos verticales

MAPA DE DISECCION VERTICAL DE TEGUCIGALPA

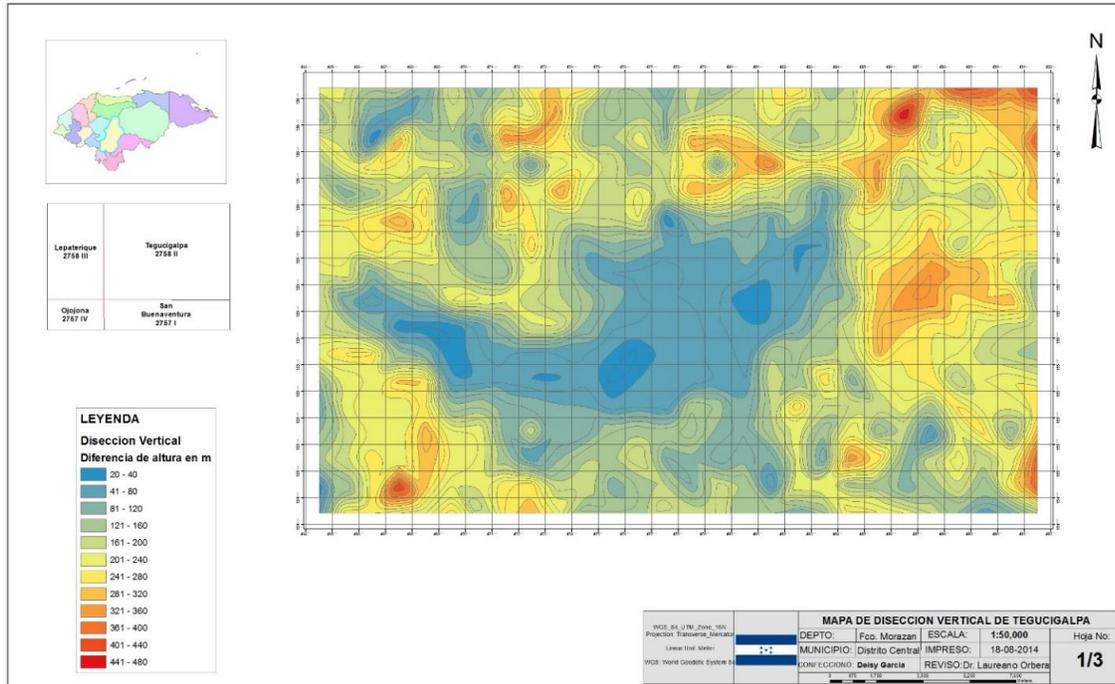


Figura 1 Mapa de Disección Vertical de Tegucigalpa

Método de las morfoisohipsas. La aplicación de este método permite restablecer los límites reales de las morfoestructuras, ya que el mismo consiste en generalizar las curvas de nivel, uniendo con trazos sus salientes más pronunciados. De esta forma se desecha el área que ha sido erosionada de la superficie de las morfoestructuras.

MAPA DE MORFOISOHIPSAS DE TEGUCIGALPA

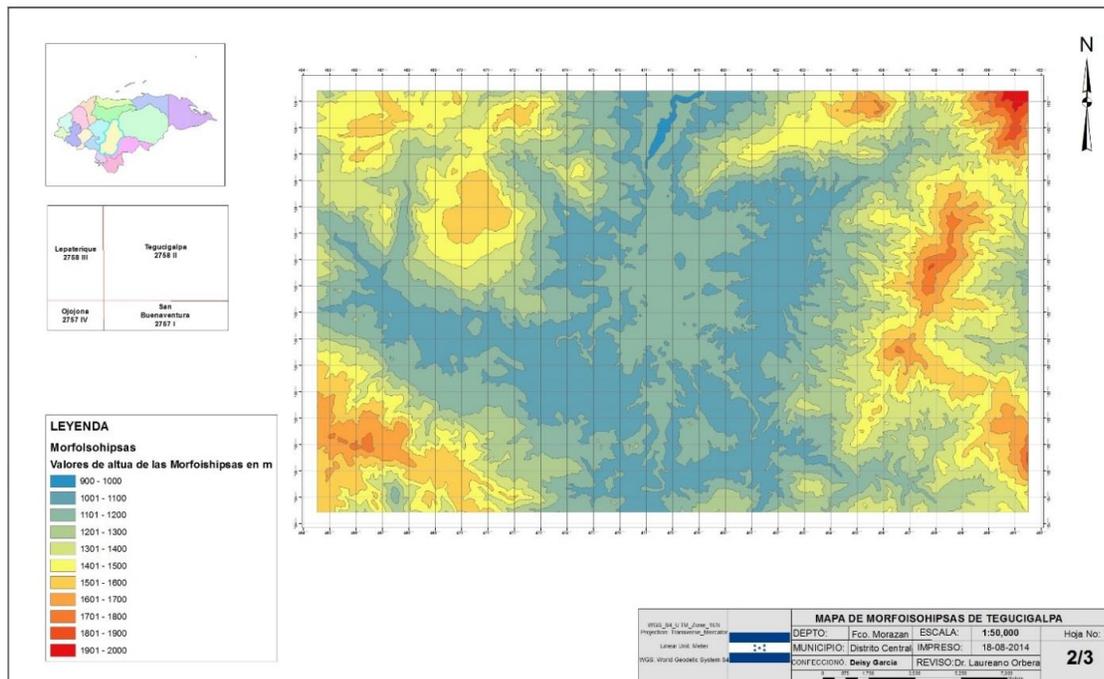


Figura 2 Mapa de Morfoisohipsas de Tegucigalpa

Método de la disección horizontal del relieve: Este mapa es la expresión del desmembramiento del relieve en esa dirección, representada con isolíneas. El mismo se obtiene determinando la densidad de la red fluvial en cada una de las cuadrículas del mapa topográfico, midiendo la longitud total de los mismos en cada cuadrícula (índice de disección horizontal) y ploteando los valores de forma convencional en el centro de la misma. La interpolación mediante isolíneas de los valores de todo el mapa topográfico revela el mapa de la disección horizontal. Los mayores valores del desmembramiento del relieve en esta dirección apuntan a la mayor intensidad de los movimientos neotectónicos verticales.

Los mapas de morfometría fueron correlacionados con el mapa de deslizamientos ubicados por métodos foto geológicos.

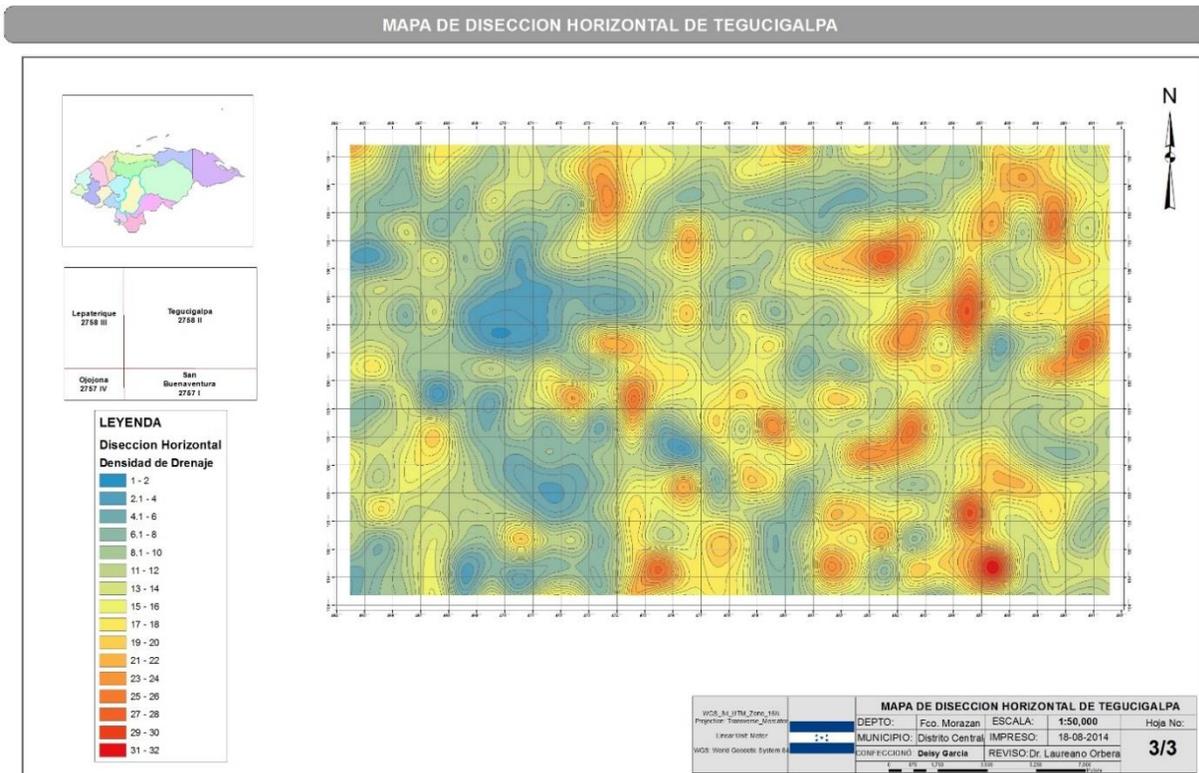


Figura 3 Mapa de Disección Horizontal de Tegucigalpa

RESULTADOS.

El análisis comparativo de los mapas morfométricos y los sitios de deslizamiento mostro que los lugares con fuertes gradientes de los valores de la disección vertical del relieve y la disección horizontal coinciden con los sitios de mayor ocurrencia de deslizamiento del terreno. La mayor concentración de trmáximos de disección vertical, también se observan concentraciones de deslizamientos en los flancos de las inflexiones de los mínimos donde se observan fuertes gradientes.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos de la correlación entre los mapas de ocurrencia de deslizamientos y los morfométricos en la zona de Tegucigalpa, se demostró que existe una relación directa entre ambos.
- La confección de mapas morfométricos es una forma práctica de seleccionar las áreas con probabilidad de deslizamientos.
- Desde el punto de vista de la economía estos métodos ahorran recursos y tiempo en el conocimiento de las áreas con peligro de deslizamientos.
- Utilizando esta metodología es posible ubicar las áreas de posibles deslizamientos aunque no hayan ocurrido.
- Se recomienda la aplicación de estos métodos en todos los lugares donde se pretenda construir cualquier obra de ingeniería o estudio geólogo-minero.

BIBLIOGRAFÍA

UNAH, atlas climático y de gestión de riesgos de Honduras, 2012.

UPI, Mapa de inventario de deslizamiento, 2013.

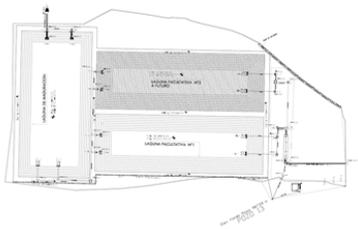
Autor. “Mapa de morfoisohipsas de Tegucigalpa” [Shapefile/ gvp]. Escala.1:50,000.00 Primera Edición. Lugar de producción Tegucigalpa, M.D.C.: Productor Universidad Politécnica de Ingeniería UPI/ Abner Isaí Carias Mendoza/ Deisy Ondina García Morales/ Laureano Orbera Hernández/ Miguel Cabrera Castellanos, fecha de derechos de autor noviembre de 2014. Software nombre del software utilizado: Versión. [gvSIG 1.12 Desktop] Lugar de producción: Tegucigalpa, Noviembre de 2014.

Autor. “Mapa de Disección Horizontal de Tegucigalpa” [Shapefile/ gvp]. Escala.1:50,000.00 Primera Edición. Lugar de producción Tegucigalpa, M.D.C.: Productor Universidad Politécnica de Ingeniería UPI/ Abner Isaí Carias Mendoza/ Deisy Ondina García Morales/ Laureano Orbera Hernández/ Miguel Cabrera Castellanos, fecha de derechos de autor noviembre de 2014. Software nombre del software utilizado: Versión. [gvSIG 1.12 Desktop] Lugar de producción: Tegucigalpa, Noviembre de 2014.



CONTENIDO

4



Estudio de Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Diseño de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de la Unión, Lempira, Honduras.



ESTUDIO DE AMPLIACIÓN DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN, LEMPIRA

Alvin Jonathan Cruz Velásquez^a

Leonel David Raudales Osorio^b

RESUMEN

Este estudio fue realizado por estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), en el municipio de La Unión, departamento de Lempira con el objetivo de elaborar una propuesta de proyecto para la Ampliación del Sistema de Alcantarillado y dar así funcionamiento al ya existente, y el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la comunidad, en el mismo, se incluye el diseño, presupuesto y planos finales.

Palabras Claves: *Alcantarillado, Colección, tratamiento y disposición final de Aguas Residuales.*

ABSTRACT

This study was conducted at the Technical University of Engineering (UPI) in the Municipality of the Union, department of Lempira with the objective of developing a project proposal for the expansion of the sewage system and thus give performance to existing, and plant design of wastewater treatment for the community, including design, budget and final plans.

Keywords: *Sewage Collection, Treatment and Disposal of Wastewater.*

INTRODUCCION

Uno de los factores de mayor influencia sobre la producción y la economía de un país, es la salud de su población. Los elementos fundamentales para promover y mantener la salud pública, son la vivienda, una alimentación adecuada y un ambiente higiénico y saludable. Para lograr tal medio ambiente y mantenerlo es indispensable contar con servicios apropiados para la comunidad.

A causa del rápido crecimiento de las concentraciones urbanas en Honduras, la instalación de servicios públicos adecuados se ha convertido en un problema de carácter nacional. Si bien en las áreas rurales el aprovisionamiento de agua potable y la eliminación de excretas constituyen principalmente una preocupación individual, se deben ir convirtiendo en un problema de interés público como es el caso de aldeas, ciudades o municipios. Para el año 2009 la cobertura de Abastecimiento de agua para Honduras en el sector urbano fue de 95.62% y para el sector rural fue de 77.45%; mientras que para la disposición de excretas fue de 77.09% para el sector urbano y de 79.05% en el sector rural. (LATINOSAN 2010, Estado de la Situación del Agua y Saneamiento de Honduras)

Para el Municipio de La Unión, Departamento de Lempira, el 75.69% de la

^a Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: alvin.cruz@upi.edu.hn.

^b Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfonos: 2225 74 55. Correo electrónico: leonel.raudales@upi.edu.hn.

población recibe el servicio de agua, del cual el 65.98% es a través de acueducto, un 4.30% mediante agua domiciliar de pozo y un 5.41% acarrea agua de la quebrada. La cobertura en disposición de excretas es del 63.03%, distribuido en servicio de alcantarillado con 30.44% de la población, 32.59% con letrinas. (Estudio Socioeconómico e Indicadores de Línea Base del Municipio de La Unión, Lempira 2012)

En todo lugar o población dotados de agua potable, existen residuos que aparecen después de ser utilizada ésta, por lo que se requiere de un sistema de evacuación de aguas residuales que logre que el suelo, las aguas y el ambiente en general no estén expuestos a la contaminación, lo cual podría acarrear una serie de enfermedades parasitarias. En el Municipio de La Unión, Departamento de Lempira, la tasa de mortalidad materna durante el parto y el posparto para el 2011 fue de 3.69% por cada mil partos; sin embargo, la mortalidad infantil fue de 4.43% por cada mil niños menores de 5 años. (Estudio Socioeconómico e Indicadores de Línea Base del Municipio de La Unión, Lempira 2012)

El sistema de alcantarillado, se define como el conjunto de conductos y estructuras destinadas a recibir, evacuar, conducir y disponer las aguas servidas o aquellas que por una u otra razón representan un peligro para la localidad.

El Ingeniero es responsable del diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado, por lo que debe estar consciente de su papel en este campo.

La tarea del estado es crear condiciones higiénicas favorables y evitar o atenuar las que no lo son. El saneamiento tiene por objeto permitirle al hombre desenvolverse y desarrollar sus capacidades libre de peligros y contaminaciones que pudieran afectarle en su desempeño diario.

El costo de proyectos de este tipo, alcanza valores considerables y generalmente no son rentables. Sin embargo, estas obras representan una inversión difícilmente cuantificable, en beneficio de la salud de los pobladores. Por ello es necesario llevarlos a cabo, pero buscando el mínimo costo y el máximo beneficio.

En estos momentos la comunidad de La Unión, Departamento de Lempira, no cuenta con el servicio de alcantarillado sanitario lo que repercute en enfermedades de origen hídrico, existe alcantarillado no concluido en una zona de la comunidad, el cual no está en funcionamiento. Lo anterior no permite que mejoren las condiciones de vida de la comunidad. Para que el sistema actual se ponga en funcionamiento, se necesitan 510 metros lineales de alcantarillado sanitario, el cual se conecta con la planta de tratamiento a diseñar en el presente trabajo.

El presente trabajo, contiene el desarrollo de proyecto de ampliación del sistema de alcantarillado para dar así funcionamiento al ya existente, y el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad del municipio de La Unión, en el mismo, se incluye el diseño, presupuesto y planos finales.

ANTECEDENTES

Origen del estudio: La comunidad de La Unión, Lempira, carece de un sistema de alcantarillado terminado, el sistema existente solo está en una zona urbana de la comunidad pero no está finalizado ni en funcionamiento, es por ello que es de suma

importancia la terminación de este sistema de alcantarillado y hacer su correcto tratamiento de aguas residuales y mejorar las condiciones de salubridad de la comunidad.

La descarga de aguas residuales no tratadas que son depositadas en las escorrentías y efluentes de la zona, es un peligro a la salud pública especialmente cuando se utilizan los cuerpos receptores contaminados como fuente de agua potable, para aseo personal, lavado de ropa, riego, etc. Las excretas humanas consideradas como desechos, pueden al ser depositadas en el suelo en condiciones de humedad, temperatura e iluminación apropiadas, contaminar el suelo con parásitos, que evolucionan hasta la forma apropiada para la infección, y penetrar activamente atravesando la piel humana para desarrollar un nuevo caso de padecimiento.

Colección, tratamiento y disposición final de Aguas Residuales				
AMBITO	Cobertura Disposición de Excretas %		Tratamiento de Aguas Residuales %	
	2006	2009	2006	2009
AÑO	2006	2009	2006	2009
URBANO	73.6	77.09	22.1	50
RURAL	76.4	79.55	no aplica	no aplica
TOTAL	75.1	78.34	22.1	50

Cuadro No1: Cobertura de saneamiento en el país (Fuente: Estado de la Situación del Agua y Saneamiento en Honduras, LATINOSAN 2010)

En otros casos, la transmisión de bacterias puede efectuarse por medio del escurrimiento de aguas superficiales contaminadas con excretas humanas y de animales, las cuales al hombre generan nuevos casos de enfermedades.

En relación al Municipio de la Unión, el crecimiento poblacional ha ocasionado que la quebrada llamada “*Quebrada del Pueblo*” recepte toda la descarga depositadas al sistema existente sin tratamiento alguno, las que interfieren con los usos a los que se destina el agua, agotando el oxígeno disuelto y produciendo olores desagradables.

Como puede observarse en el siguiente cuadro, las enfermedades que muestran un nivel preocupante de incidencia en el Municipio de La Unión, son las enfermedades respiratorias y las diarreas, esto se debe a los cambios climáticos y la contaminación de las aguas y el medio ambiente a las cuales muy poca atención les brinda salud pública.

ENFERMEDADES	Nº DE VIVIENDAS DONDE SE MANIFESTO	% TOTAL DE VIVIENDAS
IRAS	75	28.25%
Diarreas	71	26.51%
Dengue Clásico	40	15.08%
Paludismo	20	7.62%
De la piel	19	7.21%
Otras	19	7.13%
Dengue Hemorrágico	7	2.65%
Discapacidad en niños (1-8 años)	6	2.15%

ENFERMEDADES	N° DE VIVIENDAS DONDE SE MANIFESTO	% TOTAL DE VIVIENDAS
Alcoholismo	6	2.07%
Chagas	2	0.66%
Cáncer	2	0.58%
Tuberculosis	0	0.08%
Total	266	100.00%

Cuadro No.2: Incidencia de enfermedades en viviendas

(Fuente: Estudio Socioeconómico e Indicadores de Línea Base del Municipio de La Unión Lempira)

Los problemas de la comunidad los ha estimulado a organizarse con el propósito de superar las condiciones actuales de vida. Al no disponer de un adecuado sistema de Alcantarillado, la población ha tenido que:

- Realizar sus necesidades fisiológicas en los solares de sus casas.
- Hacer nuevas fosas sépticas cuando las que están en uso ya no tienen capacidad.
- Sistemas privados cuyos desechos son lanzados a las zanjas y quebradas aledañas.

El proyecto propuesto consiste en la ampliación de un sistema de alcantarillado sanitario; El sistema estará formado por los siguientes componentes: conexiones domiciliarias, colector, así como de una planta de tratamiento consistente en: un desarenador, una laguna facultativa y una laguna de maduración.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Mejorar las condiciones de salud de los habitantes de la zona urbana del municipio de La Unión.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Ingeniería, en beneficio de esta población.

Objetivos Específicos

- Evaluar el sistema de alcantarillado sanitario existente, su debido funcionamiento para ponerlo en uso adecuado.
- Desarrollar el proyecto de la ampliación del Alcantarillado Sanitario del municipio de la Unión, departamento de Lempira y el diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Diseñar un sistema de Alcantarillado Sanitario para esta comunidad que no cuenta con el servicio.
- Educar a la comunidad sobre los beneficios que se obtienen a poseer el sistema de drenaje y planta de tratamiento.

JUSTIFICACIÓN

La Unión, cabecera del Municipio La Unión, departamento de Lempira, carece actualmente de un sistema de evacuación de aguas servidas, por lo que las condiciones del lugar, son de insalubridad. Las personas de la comunidad tratan en lo

posible de evacuar sus aguas hacia lugares, en donde no corran riesgos de salud, pero es casi imposible, debido al número de personas asentadas y la topografía en cada uno de esos lugares.

Con el diseño y posterior construcción del sistema de alcantarillado sanitario para esta comunidad, se elevará el nivel de vida, lo que significa un desarrollo para cada una de las personas.

Para desarrollar el diseño, se inició con una investigación sanitaria del lugar, lo cual reflejó las condiciones actuales de la comunidad. Lo siguiente, fue realizar el levantamiento topográfico y localización de puntos de descarga. En gabinete se determinaron las variables que determinan el caudal de diseño, tipo de sistema a utilizar, y en el diseño final se elaboraron planos y presupuesto del proyecto. Al final del trabajo se realizó un análisis de sistemas de aguas residuales, tipos de tratamiento y sistemas para elegir el más factible para esta población.

METODOLOGÍA

En este proyecto, específicamente, el trabajo se dividió en dos grandes actividades; Actividades de Campo y Actividades de Gabinete.

Especialmente en el caso del municipio de la Unión, existe la necesidad prioritaria de la construcción y ampliación de un adecuado sistema de alcantarillado sanitario con su respectiva planta de tratamiento.

Al existir la promoción social para este proyecto, facilitó la apertura para realizar inspecciones de campo y proponer el diseño para dicha comunidad.

Realizamos una visita preliminar a fin de reconocer los diferentes lugares para determinadas obras, observar las diferencias de elevación en el terreno y fijar los puntos para realizar la topografía.

Después de realizar las mediciones topográficas se procedió con las actividades de cálculos de gabinete, para obtener alternativas de diseño para el proyecto. Al analizar la factibilidad de las alternativas se propone un sistema sanitario que consiste en la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario y el diseño de una planta de tratamiento, la cual constará de un pretratamiento por medio de un desarenador con canal Parshall, tratamiento secundario con lagunas facultativas y tratamiento terciario con laguna de maduración.

El primer paso del diseño es la del alcantarillado sanitario, el cual consta de un conjunto de elementos importantes a diseñar, tales como:

- Instalaciones domiciliarias.
- Acometida o conexión al sistema.
- Laterales.
- Sub principales.
- Principal.
- Interceptor.
- Pozos de visita o de inspección.
- Colector de descarga.

Después de tener definido el diseño del alcantarillado sanitario, se continúa con el sistema de planta de tratamiento, el cual se divide en tres importantes partes. El tratamiento primario o pre tratamiento consta de un desarenador, el cual está destinado a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasa.

El tratamiento secundario constara de dos lagunas facultativas, este tipo de laguna combina los dos tipos de sistemas utilizados en las lagunas, la parte superior aeróbica o con presencia de oxígeno, y la parte inferior anaeróbica o sin presencia de oxígeno. Se recomienda este tipo de diseños para comunidades de 5,000 hasta 100,000 habitantes.

Finalmente se diseña una laguna de maduración como tratamiento terciario, el propósito del uso de lagunas de maduración es tener tiempo de retención adicional para la remoción de patógenos, mejorar la calidad del efluente final, servir como un factor de seguridad si las lagunas facultativas tuvieran problemas en su funcionamiento.

Características Generales

Ubicación geográfica y política

La comunidad de La Unión, pertenece al Municipio de La Unión (de la cual es cabecera municipal), Departamento de Lempira, sus coordenadas UTM son: X= 348,553.31, Y =1,638,283.69 (Datum WGS-84). Tiene una elevación promedio de 1,022 metros sobre el nivel del mar.

Límites y colindancias

Norte: con el departamento de Santa Bárbara. Sur: con los municipios de San Rafael y La Iguala. Este: con el departamento de Santa Bárbara. Oeste: con el municipio de La Iguala.

Accesos y comunicaciones existentes

La comunidad se encuentra ubicada a 33.0 km de Gracias en el departamento de Lempira, pasando por Lepaera recorriendo 20.0 Km de carretera pavimentada en buen estado, luego se recorren 13.0 Km por carretera de tierra en regular estado hasta llegar a la comunidad de La Unión.

Características topográficas y urbanísticas

La Unión en su mayoría posee una superficie inclinada con pendientes entre el 10% y el 15%, la mayoría de calles son de piedra las demás son de tierra, las viviendas están construidas en su mayoría de bloques y adobes.

Servicios existentes

Los servicios públicos existentes en la comunidad son agua potable, telefonía fija y celular, energía eléctrica, además cuentan con el servicio de transporte (que es más común para el departamento de Santa Bárbara que para la ciudad de Gracias) así como centros de salud pública, estaciones de policía municipal, centros educativos, iglesias y ONG´s que intervienen en el municipio.

El sistema de alcantarillado actualmente no está en funcionamiento, las casas de habitación de la comunidad no están conectadas al sistema.

Recursos

Es una comunidad muy próspera debido al cultivo de café y a que es centro de acopio del mismo, donde funcionan varios beneficios para tratar el grano. En sus alrededores es donde se cultivan las fincas. La siembra de maíz y frijoles es indispensable, así como en los demás municipios de Lempira. El ganado y productos lácteos son en su mayoría para consumo local.

Población

La población de Diseño o futura, es la cantidad de personas que se espera que habiten la comunidad al final del periodo de diseño.

La población de Diseño juega un papel muy importante en el estudio de un sistema de alcantarillado y planta de tratamiento, ya que es el punto de partida para calcular la capacidad de cada una de las estructuras y equipos del sistema.

Las causas y motivos que generan un ritmo acelerado de crecimiento en una población son muchos, por lo que se hace muy difícil predecir con exactitud la población futura y su comportamiento. Una de las practicas mas aceptables para determinar la población futura es recopilar toda la información posible de la población de los diferentes censos que se hubiesen realizado, hacer un análisis histórico para determinar las causas de crecimientos mayores o menores de una época determinada; analizar los movimientos migratorios; estudiar la posibilidad de ampliación del comercio y la industria en los años futuros; analizar la situación política y económica de la zona de influencia.

A los resultados de todos estos análisis e investigaciones se les aplica un modelo matemático acorde a su desarrollo y se obtiene una población futura muy aproximada.

Consideraciones para el análisis

Las comunidades crecen en función de su población, justificándose dicho crecimiento por diversos factores como ser:

- Tasa de defunción.
- Tasa de nacimientos.
- Servicios públicos existentes.
- Inmigraciones y emigraciones.
- Vías de comunicación.
- Nivel económico y educativo.

Métodos de proyección

Los métodos de estimación futura usualmente en Ingeniería Sanitaria pueden clasificarse en analíticos y gráficos, entre los métodos analíticos tenemos:

- Método de crecimiento Aritmético.
- Método de crecimiento Geométrico.
- Método de crecimiento Logarítmico.
- Método comparativo.

La descripción de cada uno de ellos es la siguiente:

a. Método De Crecimiento Aritmético

En este método el incremento anual es el número de habitantes de una determinada población es constante e independiente del tamaño de la población, es un método simple usado para comunidades rurales o urbanas tradicionales.

Para calcular la población futura por medio de este método, se deberán usar datos estadísticos cuyos intervalos de tiempo entre cada uno de ellos no sean muy grandes. El cálculo por medio de este método se representa gráficamente por una recta y se hace conociendo la población actual y la del penúltimo censo de la manera siguiente:

$$P_f = P_o + (P_o - P_1)^n$$

n Dónde:

Pf: población futura

Po: población actual o del último censo P1: población del penúltimo censo

n: intervalo de años entre penúltimo y último censo

La desventaja de este método es que necesita mucha información.

b. Método de Crecimiento Geométrico

En este método el crecimiento anual de una comunidad es proporcional al tamaño de la misma, el cálculo se hace mediante la fórmula de interés compuesto.

Cuando solo se conoce la población actual o del último censo, la población futura se determina con la formula siguiente:

$$P_f = P_a \left(1 + \frac{k}{100} \right)^n$$

Dónde:

Pf: población futura

Pa: población actual n: periodo de diseño

k: tasa de crecimiento en porcentaje

Con este método se obtiene un incremento que se comporta más aproximado al crecimiento real de una población. Gráficamente su comportamiento es una curva, la ventaja que tiene es que no se necesitan muchos datos.

c. Método de Crecimiento Logarítmico

Este método utiliza un procedimiento de cálculo similar al método geométrico, su aplicación se hace mediante las formulas siguientes:

$$k = \frac{\log(P_i) - \log(P_o)}{n}$$

$$\log(P_f) = \log(P_i + Kn) \text{ Dónde:}$$

K: factor proporcional de crecimiento
Pi: población del último censo
Po: población del penúltimo censo
n: periodo de diseño en años
Pf: población Futura

d. Método Comparativo

Este método consiste en analizar el movimiento demográfico histórico de ciertas comunidades, las que tienen un nivel de desarrollo semejante al de la comunidad que se pretende proyectar; y posteriormente por comparación poder determinar el crecimiento alcanzado.

e. Método seleccionado

Para la estimación de la población futura del presente proyecto de diseño de sistema de alcantarillado y planta de tratamiento de la comunidad de La Unión utilizaremos el método geométrico para un periodo de 20 años. Con este método se obtiene un incremento que se comporta más acorde al crecimiento real de una población. Gráficamente su comportamiento es una curva, la ventaja que tiene es que no se necesitan muchos datos.

La población actual de la comunidad de La Unión es de 2,546 habitantes.

Se utilizara una tasa de crecimiento poblacional del 3%, que es la del municipio de La Unión, dato obtenido en el Instituto nacional de Estadística (INE).

$$Pf = Pa \left(1 + \frac{k}{100} \right)^n$$

$$Pf = 2546 \left(1 + \frac{3}{100} \right)^{20}$$

$$Pf = 4,598 \text{ habitantes}$$

Consideraciones Topográficas

Levantamiento

Al hacer el levantamiento topográfico del área a drenar, no solo hay que tomar en cuenta el área edificada en la actualidad, sino que también las que en un futuro puedan contribuir al sistema, incluyendo la localización exacta de todas las calles y zonas con o sin edificación; edificios, alineación municipal, ubicación de estos; carreteras, cementerios, todos los pavimentos, anotando su clase y estado; parques públicos, campos de deporte y todas aquellas estructuras naturales y artificiales que guarden relación con el problema a resolver e influyan en los diseños. También debe ser incluida la posible localización de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como la del cuerpo receptor del desfogue del drenaje.

Planimetría

Los levantamientos planimétricos se hacen por el método de conservación de azimut,

por deflexiones, por rumbo y distancia u otro de los usados generalmente. Este levantamiento debe incluir todas las calles de la comunidad, parques, áreas deportivas, escuelas y todos aquellos monumentos que nos puedan servir de referencia.

El levantamiento de planimetría se realizó por el método de conservación de azimut, con vuelta de campana. Los datos del levantamiento están consignados en la libreta de campo, acompañado del croquis correspondiente, el cual se hizo tal como se desarrolló el levantamiento, indicando, además, todos los datos característicos referenciales, como: calles, áreas deportivas, iglesia, quebradas, bocatomas de riego, puentes, viviendas, entre otros. Las estaciones se indicaron con números, con sus respectivos azimuts, lecturas de hilos y distancias.

Altimetría

La nivelación debe desarrollarse con un nivel de precisión, hecha sobre el eje de las calles, y se tomaran elevaciones:

- a. En todos los cruces de calles,
- b. A distancias no mayores de 20 metros,
- c. De todos los puntos en que haya cambio de pendiente del terreno,
- d. De todos los lechos de quebradas, puntos salientes del terreno y Depresiones.
- e. De las alturas máximas y mínimas del agua en el caudal o cuerpo de agua en el que se proyecta efectuar la descarga.

Los datos del levantamiento están consignados en la libreta de campo, acompañado del croquis correspondiente.

Criterios De Diseño

En toda población dotada de servicio intradomiciliario de agua, el mejor método para la recolección y alejamiento de las aguas residuales es un Sistema de Alcantarillado.

El diseño del sistema de alcantarillado sanitario se hace importante por la necesidad que representa evacuar las aguas residuales de una comunidad.

Estas aguas pueden estar constituidas por aguas residuales de cocinas, baños, sanitarios y lavaderos, aguas que llevan cúmulos de materiales fecales, papel, restos de alimentos, etc.

Al momento que se piensa proyectar un sistema de alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales se deben tomar en cuenta ciertos factores como ser:

- a. El número de años para el cual deben ser adecuado el sistema propuesto, sus estructuras, componentes y equipos.
- b. El número de personas que va utilizarlo.
- c. El área que va beneficiarse y los márgenes de tolerancia calculados para cambios de densidad en la población, consumo de agua y desprendimientos de aguas residuales.

El alcantarillado sanitario tiene el propósito de transportar las aguas residuales generadas por las actividades humanas, mayoritariamente domésticas. No obstante, a este sistema pueden entrar aguas residuales provenientes de otras actividades como

las comerciales, industriales y algunas no controladas como las infiltraciones.

A todo lo expuesto anteriormente se le deben agregar otros factores como los de carácter económico, que van desde el punto de vista de mantenimiento, operación del sistema y el tratamiento requerido.

Tipo de sistema a usar

De acuerdo con su finalidad existen tres tipos de sistemas de alcantarillado; la selección o adopción de cada uno de estos sistemas dependerá de un estudio minucioso de factores, tanto topográficos como funcionales, pero quizás el más importante es el económico, entre ellos tenemos:

1. Sistemas de alcantarillado convencionales: Los alcantarillados convencionales son los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final, estos son:

a) Alcantarillado combinado: En el que las aguas residuales y pluviales son recolectadas y transportadas por el mismo sistema.

b) Alcantarillado separado: La recolección y transporte de las aguas residuales y pluviales se hace mediante sistemas independientes; es decir, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.

2. Sistemas no convencionales: Debido a que los alcantarillados convencionales usualmente son sistemas de saneamiento costosos, especialmente para localidades con baja capacidad económica, en las últimas décadas se han propuesto sistemas de menor costo, alternativos al alcantarillado convencional sanitario, basados en consideraciones de diseño adicionales y en una mejor tecnología disponible para su operación y mantenimiento. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas in situ, se incrementa la densidad de población.

3. Sistemas in situ: Existen sistemas basados en la disposición in situ de las aguas residuales como las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. En el tiempo, estos sistemas deben considerarse como sistemas transitorios a sistemas no convencionales o convencionales de recolección, transporte y disposición, en la medida en que el uso de la tierra tienda a ser urbano.

El diseño de un sistema de alcantarillado sanitario está en función de varios factores, los cuales se detallan continuación:

- Período de diseño.
- Cálculo de población de diseño.
- Caudal sanitario.
- Caudal hidráulico.
- Economía y funcionalidad.

La tubería empleada en los sistemas de alcantarillado debe ser resistente, durable, impermeable, paredes lisas y uniformes en forma y dimensiones.

En general las tuberías son prefabricadas mediante procesos industriales perfectamente establecidos. Éstas pueden ser de los siguientes materiales: arcilla vitrificada (gres), concreto simple, concreto reforzado, asbesto cemento, hierro fundido, hierro dúctil, PVC, polietileno, polietileno de alta densidad, plástico reforzado con fibra de vidrio, resina termoestable reforzada (fibra de vidrio), mortero plástico reforzado y acero. En ningún caso se permiten tuberías de arcilla cocida. Las tuberías y demás elementos fabricados con nuevos materiales deben cumplir con las normas de calidad correspondientes.

Periodo de diseño

Para que una obra de ingeniería funcione eficientemente, debe ser diseñada para satisfacer las necesidades de los usuarios que se esperan durante su vida útil.

El periodo de diseño debe ser un tiempo prudencial, que depende del tipo de obra. Un tiempo bastante largo no es recomendado porque aumenta el tamaño de las estructuras, por lo tanto eleva los costos y además es muy difícil predecir el comportamiento de las poblaciones con mucho tiempo de antelación.

Un tiempo corto tampoco es muy recomendable porque crea la necesidad de estar ampliando las obras con frecuencia, para poder actualizarlas a las exigencias de consumo causando gastos continuos.

Los factores que afectan el periodo de diseño de un sistema de alcantarillados son los siguientes:

- La vida útil del equipo y las estructuras.
- La facilidad o dificultad de ampliar la obra.
- El crecimiento poblacional y la actividad comercial e industrial.
- El cambio en el poder adquisitivo de la moneda, desde el punto de vista de devaluación e inflación.
- El interés del capital que se piensa invertir.
- El funcionamiento de las estructuras y del equipo durante los años de uso.

El período de diseño a utilizarse será de 20 años. Al final del periodo de diseño, las instituciones harán una revisión de los sistemas para verificar si se amplía o no las coberturas.

Población de diseño^a

La población de diseño será la estimada para el período de diseño incluyendo las áreas de influencia. Se considerará la población del total de las áreas según los planes

^a Nota:

Cuando la población Futura > Población Saturación; utilizar la población Futura.

Cuando la población Saturación > Población Futura; utilizar la población de Saturación.

reguladores vigentes; de no existir estos se considerará una población de saturación de 6 habitantes por unidad habitacional. Si hubiese tasa de crecimiento poblacional deberá calcularse la población en base a los métodos de proyección especificados en la Norma de Diseño de Agua Potable.

Se utiliza una tasa de crecimiento del 3.0%, que es la del municipio de La Unión, dato obtenido en el Instituto nacional de Estadística (INE).

Estimación de las áreas tributarias

1. Se considerará el perímetro y las áreas adyacentes que sean tributarias al sistema por razones topográficas, demográficas y urbanísticas.
2. Tomar en cuenta en el diseño, al fijar la profundidad y capacidad de los colectores, las áreas de futura expansión que puedan llegar a ser tributarios al sistema.

Se considera como área tributaria la longitud que se encuentra entre los pozos de visita, contribuyendo al caudal que pasa por ese sector, hasta unirse a otro tramo. El área acumulada comprenderá sumar cada tramo conforme se lleve el diseño de cada uno de estos, siguiendo la ruta elegida para cada sector determinado.

Puntos de descarga

No debe ocasionarse ningún problema de carácter sanitario a las localidades situadas aguas abajo, por lo que se tomara en cuenta medidas de protección del cuerpo receptor. Cada descarga a un cuerpo receptor deberá de cumplir con las características físicas, químicas y bacteriológicas generales dadas por la Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.

GRUPO A

Parámetro	Concentración Máxima Permisible
pH (Potencia Hidrogeno)	5.00 a 9.00
Temperatura	< 40.00 °C
GRUPO B	
Parámetro	Concentración Máxima Permisible
Mercurio	0.05 mg/l
Arsénico	0.10 mg/l
Cadmio	0.10 mg/l
Cromo Hexavalente	0.50 mg/l
Cromo Total	1.00 mg/l
Cianuro	0.50 mg/l
Cobre	1.00 mg/l
Plomo	0.50 mg/l
Níquel	2.00 mg/l
Zinc	2.00 mg/l
Plata	0.20 mg/l
Selenio	0.50 mg/l
Sulfato	400.00 mg/l
Fluoruros	10.00 mg/l
GRUPO C	

Parámetro	Concentración Máxima Permisible
Fenoles	5.00 mg/l
Detergentes	10.00 mg/l
Hidrocarburos	Ausente
Sustancias Biocidas	Ausente
Sustancias Radioactivas	Ausente
Pesticidas Organoclorados	Ausente
Pesticidas Organoclorados	Ausente

Cuadro No. 3, Normas de Calidad para Descargas de Aguas Residuales en el Alcantarillado Sanitario (Fuente: Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y alcantarillado Sanitario, Secretaria de Salud, Acuerdo 058 Capítulo V, especificaciones.).

Dotaciones

Las dotaciones domesticas utilizadas se adoptarán conforme la Clasificación residencial, que se muestra en la Tabla 5.7 de los Anexos. Generalmente se utiliza del 70% – 80% (como coeficiente de retorno) de la dotación por agua potable como aportación de aguas residuales por persona. Sin embargo este valor dependerá de factores tales como las costumbres de la comunidad, tipos de actividades que realizan, etc. (Ver tabla 5.7 de los Anexos)

a. Caudal De Diseño

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{doméstico}} + Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{ilícito}} + Q_{\text{industrial}} + Q_{\text{comercial}} + Q_{\text{inst. públicas}}$$

Caudal Doméstico (Q_d)

$$Q_d = (D \cdot K_1 \cdot H_1 \cdot P) / 86,400$$

Dónde:

Q_d = Caudal real en litros/segundo D = dotación (lppd)

K₁ = coeficiente de retorno (varía según las condiciones de la población entre 0.70 a 0.80)

P = población en habitantes.

H₁ = factor de Harmon menor o igual que 4 (relación del gasto máximo al gasto medio)

$$H_1 = 1 + (14 / (4 + P^{1/2})) \leq 4.0$$

P = población en miles de habitantes

Caudal por infiltración

El caudal de infiltración dependerá del tipo de tubería a utilizar, así tenemos que para tubería PVC, ADS RIBLOC, NOVAFORT utilizar un caudal de infiltración igual a 1.0 lt/seg/Km; en el caso que SANAA autorice utilizar tubería de concreto el caudal de infiltración para concreto nuevo será de 1.2 lt/seg/Km; para concreto viejo de 1.5 lt/seg/Km.

El caudal de infiltración en pozos será igual a 0.004 l/s/tapadera.

Caudal por conexiones ilícitas^a

El valor del caudal por conexiones ilícitas será el 30% de la dotación a usar.

Caudal comercial, caudal de instituciones públicas, caudal por infiltración para concreto y PVC

El valor del Caudal Comercial, Caudal de Instituciones Públicas, Caudal por Infiltración para Concreto y PVC se obtendrá de la tabla 5.10 de los Anexos.

Velocidades mínimas y máximas^b

La velocidad mínima será de:

- Para PVC ≥ 0.40 m/seg
- Para Concreto ≥ 0.60 m/seg La velocidad máxima será:
- Para PVC ≤ 5.0 m/seg
- Para Concreto ≤ 3.0 m/seg

Diámetros mínimos

Los conductos empleados tendrán en general una sección circular. Cualquier otra sección que se proponga por razones técnicas y económicas que justifiquen su empleo, será considerado como diseño especial.

El diámetro mínimo será de:

200 mm (8”), para Red Colectora (Colectores Secundarios)

150 mm (6”), para Laterales iniciales y que no esté en la influencia del área tributaria que conecta a él siempre que no drenen más de 30 lotes y las acometidas domiciliarias serán de 100 mm (4”) con sus respectivas cajas de registro individuales.

Continuidad De Tuberías

El diámetro de cualquier tramo de alcantarillado sanitario será igual o mayor que el diámetro del tramo anterior aguas arriba y por ningún motivo podrá ser menor.

Pendientes

1. La pendiente no será menor de 0.5%, ni mayor de 15% en las tuberías del sistema.
2. Para las acometidas domiciliarias la pendiente mínima será de 2%.
3. Cuando el terreno no permita pendientes menores de 15% se deberán usar anclajes cada 10 metros. Cuando la longitud de la tubería es menor de 20 m colocar el anclaje en el centro de la tubería. El tipo de anclajes a utilizar deberá ser aprobado por SANAA.

Pozos de inspección y Pozos de Caída

Se usarán pozos de inspección en las siguientes condiciones:

1. En distancias que no sean superiores de 80 metros.

^a Nota: Tanto el caudal por infiltración como el caudal de conexiones ilícitas deberá de tomarse en cuenta para el diseño de colectores.

^b Nota: Cuando la velocidad sobrepasa la velocidad máxima considerar construir pozos de caída.

2. En todo cambio de alineamiento horizontal.
3. En todo cambio de alineamiento vertical.
4. Donde converjan dos o más tuberías del sistema.
5. En los puntos donde exista cambio de diámetro o material de la tubería.

La altura del pozo no será mayor de 4.50 metros ni menor de 1.50 metros, para paredes normales. Cuando la altura del pozo este entre 4.50 y 6.00 metros colocar paredes dobles desde la base del pozo hasta una altura de $h/3$.

Se utilizarán pozos de caída en casos especiales como ser en barrios periféricos con pendientes altas. Tanto los pozos de inspección como los pozos de caída deberán construirse de acuerdo a los planos tipo del SANAA, los cuales se pueden obtener en la Oficina de Normas y Supervisión.

Intensidad de lluvia: Es la cantidad de lluvia que cae en un área por unidad de tiempo, se expresa en milímetros por hora (mm/h)

Porcentaje de escorrentía: Es la cantidad de agua que escurre, en función de la permeabilidad de la superficie del suelo.

Selección de ruta

Al realizar la selección de ruta que seguirá el agua se deben considerar:

- Iniciar el recorrido en los puntos que tengan las cotas más altas y dirigir el flujo hacia las cotas más bajas.
- Para el diseño, en lo posible, se deben seguir las pendiente del terreno, con esto se evitara una excavación profunda y disminuir así costos de excavación.
- Acumular los caudales en tramos en los cuales la pendiente del terreno es pequeña y evitar de esta manera que la tubería se le dé otra pendiente, ya que se tendrá que colocar la tubería más profunda.
- Evitar en lo posible, dirigir el agua en contra de la pendiente del terreno.

Velocidad de arrastre: La velocidad mínima con la que los sólidos no se sedimentan en la alcantarilla se llama velocidad de arrastre, la cual se obtiene haciendo que el tirante este dentro del rango de $0.10 < d < 0.75$ y pendiente adecuada.

Coeficiente de rugosidad: El coeficiente de rugosidad “n”, el cual es adimensional y empírico, representa las características internas de la tubería y sirve para calcular las pérdidas por fricción de la tubería. Este factor o coeficiente varía en función del material de la tubería.

Diseño de secciones: En general se usaran en el diseño, secciones circulares de pvc, funcionando como canales.

El cálculo de la capacidad, velocidad, diámetro y pendiente se hará aplicando la fórmula de Manning, transformada a dimensiones mixtas para secciones circulares así:

$$V = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = 0.03429/n * D^{2/3} * S^{1/2}$$

En la cual:

V = velocidad del flujo a sección llena (m/seg)

R = radio hidráulico igual a la sección del tubo ente el perímetro mojado

D = diámetro de la sección circular (plg)

S = pendiente de la gradiente hidráulica (m/m)

n = coeficiente de rugosidad Manning^a

= 0.01 para tubos de pvc

Calculo de cotas invertidas

Estas se calculan en base a la pendiente y la distancia del tramo respectivo. La cota invertida de salida de un pozo deberá ser 3 cm más baja que la cota invertida de entrada. Cuando a un pozo de visita llegan 2 ó 3 tubos, el que sale, deberá salir con una cota invertida 3 cm más baja del tubo que llegue más bajo.

Para pozos iniciales $CI_i = CT_i - H_{\text{pozo}}$

En el final del tramo $CI_f = CI_i - L \cdot S / 100$

A esta también se le llama, cota invert de entrada al pozo.

Para iniciar un nuevo tramo, la cota invertida de salida es igual a la cota invertida de entrada, menos 3 cm.

Dónde:

CI_i = Cota Invertida al inicio del tramo CI_f = Cota Invertida al final del tramo

CT_i = Cota de terreno al inicio del tramo S = Pendientes de la tubería

L = Longitud del tramo

Formulas recomendadas

a. Para sistemas por gravedad

1. Velocidad a tubo lleno

La velocidad a tubo lleno se calculará con la fórmula de Manning.

$$V_{II} = \frac{1}{n} \cdot (RH)^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Dónde:

V_{II} = velocidad a tubo lleno en m/s n = coeficiente de rugosidad

RH= Radio hidráulico=D/4 (cuando es circular)

S = pendiente del tramo

Nota: La utilización de concreto deberá ser en casos especiales, ya que la tubería falla por desgaste por abrasión, además que solo se construyen en longitudes de 1 m, por lo que el proceso es un poco lento. Para otros tipos de tubería se recomienda consultar las especificaciones del fabricante. En todo caso utilizar valores que nos ofrezcan un

^a Se debe recalcar que la fórmula de Manning, solo se puede usar cuando se desean tener datos de tuberías totalmente llenas.

margen de seguridad.

Caudal a tubo lleno

Caudal a tubo lleno se calculará con la ecuación de continuidad.

$$Q_{II} = A \cdot V_{II} \cdot 1,000$$

Dónde:

Q_{II} = caudal a tubo lleno en litros por segundo

A = área del tubo en metros cuadrados

V_{II} = velocidad del tubo lleno en metros por segundo

Relaciones de Caudal y Velocidad Relación de Caudal (Q_r/Q_{II})

Dónde:

Q_r = caudal real en el tramo

Q_{II} = caudal a tubo lleno del tramo Relación de Velocidad (V_r/V_{II})

Dónde:

V_r = velocidad real

V_{II} = velocidad a tubo lleno Relación de Diámetros Y/D

Cuando $Y/D \geq 0.75$ se cambia el diámetro al superior comercial.

La velocidad en los conductos debe verificarse para caudal mínimo y evitar sedimentación en las tuberías.

Profundidades

La Profundidad mínima será de:

1.50 m sobre la corona del tubo, en Calle Vehicular.

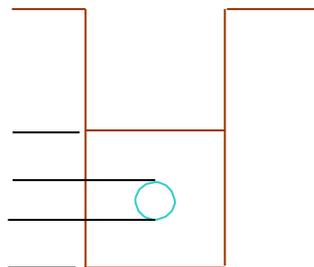
1.00 m sobre la corona del tubo, en Calle Peatonal.

La Profundidad Máxima será hasta de 4.50 m hasta la invertida del tubo; para profundidades de 4.50 a 6.0 m sobre, la invertida del tubo se deberá hacer una protección especial a 4.50 m para tubería de concreto y 3.60 m para tubería de PVC.

Material selecto: Se usará una cama por lo general de 10 cms de material selecto y sobre la corona superior del tubo una capa de 15 cms. En casos especiales como ser en suelos muy ácidos o fangosos, se utilizara lo recomendado por el fabricante.

15cms

10cms



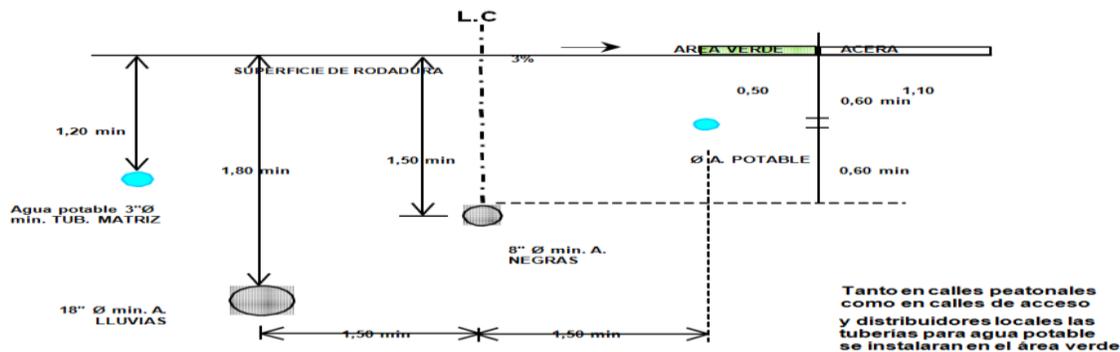
Tipo de tubería

Los tipos de tubería que pueden ser utilizados son:

1. Tubería de PVC SDR-41: NOVAFORT, ADS, RIBLOC (Cuando cumplan las Normas mínimas de resistencia)
2. Concreto reforzado en casos especiales.
3. Otro tipo de tubería previa aprobación de SANAA.

Se deberá usar junta rápida, para diámetros superiores a 200mm (8") no se usarán juntas cementadas.

Distancia mínima a la que debe estar la tubería de agua potable de la de alcantarillado sanitario: La distancia horizontal mínima a la que deberá estar la tubería de agua potable con respecto a la de alcantarillado sanitario es de 1.50 m, y la distancia vertical mínima a la que deberá estar la tubería de agua potable con respecto a la de alcantarillado sanitario es de 0.60 m.



Características de un sistema de alcantarillado sanitario: Las aguas residuales provienen del agua residual de la comunidad más una cierta cantidad de agua de lluvia, y está constituida por una porción variable de los siguientes tipos:

- Agua domiciliaria.
- Residuos comerciales.
- Residuos industriales.
- Infiltración, percolación y llluvias.

Alrededor del 60% al 70% del agua de consumo de una comunidad se convierte en aguas residuales. El remanente se emplea en riegos de prados y jardines, lavado de calles y autos, extinción de incendios y satisfacción de necesidades domésticas, comerciales e industriales. El volumen es muy variado y depende de las características de la región, hábitos de vida, costumbres de la población, cultura industrialización, clima etc.

Los constituyentes de las aguas residuales comprenden sólidos, líquidos y gases. Los gases que tienen especial interés en los problemas de las aguas negras son: el sulfuro de hidrogeno, el metano y el anhídrido carbónico.

Las trazas de sulfuro de hidrogeno o ácido sulfhídrico, se pueden apreciar por el simple olfato. La presencia de este olor indica aguas negras alteradas. Las altas concentraciones son toxicas, en presencia de la humedad ataca al cemento y a ciertos metales.

El metano es un gas explosivo cuya presencia en los conductos es peligrosa. Las aguas negras proceden de:

- a. Excretas: son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales, estos desechos son los más importantes, ya que pueden contener organismos patógenos perjudiciales a la salud del hombre por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema para su disposición.
- b. Desperdicios caseros: proceden del uso que se le da al agua en los quehaceres domésticos (lavado de ropa, baño, limpieza y preparación de alimentos, lavado de utensilios de cocina, etc.) y contienen los desperdicios de jabones sintéticos que contienen agentes espumantes, grasas, partículas de alimentos y basuras.
- c. Desechos industriales: son otro elemento de las aguas servidas, cuya descarga en los conductos crea problemas económicos; porque contiene sustancias químicas que atacan los elementos con que han sido fabricadas dichas tuberías; aumenta los costos de conservación, añade nuevos problemas al funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de las aguas negras y pueden aumentar la contaminación por polución de las corrientes. Por lo anterior expuesto, estas aguas deben ser tratadas antes de ser transportadas por el sistema de alcantarillado

Características biológicas de las aguas negras: Las aguas servidas contienen incontable cantidad de organismos vivos, que son de carácter microscópico, su presencia es de suma importancia para el tratamiento de las aguas negras, su éxito puede medirse por su conocimiento y atención a los gustos y aversiones de sus hábitos nutritivos y ambientales. Algunos de estos organismos, microscópicos y macroscópicos, son esenciales para la descomposición ordenada de la materia orgánica en la naturaleza, y por consiguiente son igualmente esenciales para el funcionamiento adecuado de los métodos usuales de tratamiento de aguas servidas.

De hecho, los organismos biológicos son los que en realidad llevan a cabo el proceso de tratamiento, y la única responsabilidad que debe tenerse en cuenta, es la de brindarles las condiciones ambientales adecuadas a que mejor se ajusten ellos.

Exfiltración e Infiltración

Exfiltración: es la filtración de agua, desde los conductos al terreno que las rodea. Esto trae como consecuencia la contaminación del terreno y de las aguas subterráneas, lo cual puede crear condiciones antihigiénicas.

Infiltración: es la filtración del agua, desde el terreno inmediato al interior de los conductos y es perjudicial porque reduce la capacidad de la conducción para su objetivo primordial.

En un sistema de alcantarillado sanitario siempre existirá alguna infiltración de aguas subterráneas en las alcantarillas, construcción de juntas así como en los repellos y afinados de los pozos y cajas, por lo que es un factor que se tiene que tomar en cuenta en el diseño de estos sistemas.

Sistemas de alcantarillado: Como mencionamos en el capítulo 5, existen varios sistemas de alcantarillados, siendo los convencionales los más tradicionales, siendo estos, sistema combinado y sistema separado.

Selección del sistema adecuado: El sistema combinado, se diseña tomando en consideración las descargas pluviales, resultando de esta manera en los cálculos, diámetros de tuberías mayores, lo que consecuentemente produce velocidades de flujo casi nulas en las estaciones críticas de verano, que trae como consecuencia la disminución de la velocidad, hasta llegar a ser menor que la permisible, produciéndose asentamientos de los materiales que son llevados en suspensión.

El costo de construcción y mantenimiento es elevado, como los diámetros de las tuberías son grandes, las excavaciones tienen que ser mayores, el tiempo de construcción es mayor y no es posible ejecutar el proyecto en etapas.

En los meses de estación seca, cuando el flujo se reduce a las aguas residuales domésticas, gases mal olientes provenientes de la descomposición química de las aguas residuales domésticas se escapan a través de los tragantes.

El sistema separado no presenta problemas económicos, ya que los diámetros de tubería obtenidos en el diseño, son menores, pudiéndose obtener en las alcantarillas, velocidades que la capaciten para lavarse por sí solas.

Los diámetros de los tubos, es menor que en el sistema combinado, lo que viene a reducir el volumen de excavación, el drenaje de aguas pluviales se hace por separado, pudiendo ejecutar el proyecto por etapas, lo que redundaría en una menor inversión inicial.

No existe tampoco el peligro de que las comunidades se vean inundadas de malos olores, ya que no existen tragantes.

Todo lo anterior no quiere decir que el sistema combinado este en desuso; ambos sistemas tienen sus ventajas y desventajas, según sea la situación en cada caso a tratar.

Lo que fundamentalmente nos obligó a hacer la relación de los dos sistemas es adoptar el sistema que a la vez cumpla con su cometido sanitario e implique la menor inversión inicial para que el proyecto no sufra ningún atraso en su ejecución por falta de financiamiento.

Por todo esto hemos adoptado para este proyecto “El Sistema Separado”, construyendo inicialmente la red para evacuar las aguas negras dejando para el futuro, la ejecución del sistema de alcantarillado pluvial.

Alcantarillado Sanitario Proyectado

Descripción del Sistema Proyectado: Como se ha expuesto en la introducción, la comunidad de La Unión, no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario para evacuar las aguas negras, por lo que se hace necesario la ejecución de dicho proyecto, lo más pronto posible.

La zona que cubrirá el sistema es el casco urbano de la comunidad, edificaciones

actuales, y las áreas de futuro desarrollo urbanístico, que están situadas alrededor del núcleo poblacional actual.

La longitud total del sistema es de 510.15 metros, incluyendo colectores principales, sub-principales, interceptores y laterales. El número necesario de pozos a construir para la operación y mantenimiento del sistema será de 12 pozos.

La tubería principal será de 10" de diámetro, y perfilados de 4" y 8" de diámetro.

Tratamiento de Aguas Residuales

Aguas Residuales: La diversidad de actividades humanas dan lugar a la producción de una amplia gama de productos residuales, de los cuales la mayoría pasa al agua, que actúa como medio de transporte. Las aguas residuales pueden contener desde materia fecal humana o animal, hasta residuos químicos, industriales, agrícolas, domésticos, etc., los cuales, en conjunto o individual, contaminan las aguas y el medio ambiente.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos, que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. La tesis fundamental para el control de la polución por aguas residuales ha sido tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción de los contaminantes y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Para ello el nivel de tratamiento requerido es función de la capacidad de auto purificación natural del cuerpo receptor. A la vez, la capacidad de auto purificación natural es función, principalmente, del caudal del cuerpo receptor, de su contenido de oxígeno, y de su habilidad para reoxigenarse.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas, o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías, y eventualmente bombas, a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales y federales. A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

Objetivos específicos del tratamiento de aguas residuales

- La protección de los recursos de agua y medio ambiente, entre estos ríos, manantiales; así como suelos.
- La reutilización de cantidades de agua considerables, para la aplicación en la agricultura y otras actividades, para evitar el agotamiento de fuentes de agua naturales.
- El bienestar humano para el desarrollo de una sana economía, como lo es el mantenimiento de la Salud Pública.

Procesos de tratamiento

Los fenómenos actuantes en la formación de las aguas residuales deberán actuar en forma inversa en los procesos de tratamiento. En función de estos fenómenos y de la misma forma de los contaminantes contenidos en las aguas residuales, que son de naturaleza física, química y/o biológica, los procesos de tratamiento pueden ser clasificados en:

- Operaciones físicas.
- Procesos químicos.
- Procesos biológicos.

Operaciones Físicas

Las operaciones físicas unitarias son así definidas debido a que predominan fenómenos físicos adoptados por un sistema o dispositivo de tratamiento de las aguas residuales. Se caracterizan estos fenómenos principalmente en los procesos de remoción de las sustancias físicamente separables de los líquidos o que no se encuentran disueltas.

Básicamente tienen por finalidad separar las sustancias en suspensión de las aguas residuales, para lo cual se incluyen:

- Remoción de sólidos groseros o de gran tamaño.
- Remoción de sólidos sedimentables.
- Remoción de sólidos flotantes.

Procesos Químicos

Son los procesos en que se utilizan productos químicos y son raramente adoptados aisladamente. La necesidad de utilización de productos químicos ha sido la principal causa de la menor aplicación de este proceso. Es utilizado cuando el empleo de procesos físicos y/o biológicos no atiende o no actúan efectivamente en las características que se desean reducir o remover. Algunos de los procesos químicos más utilizados son los siguientes:

- Precipitación química.
- Oxidación química
- Adsorción.
- Desinfección.
- Desinfección con cloro.
- Desinfección con dióxido de cloro.
- Desinfección con cloruro de bromo.
- Floculación
- Neutralización o corrección del pH

Entre las aplicaciones de los distintos procesos anteriormente descritos tenemos; eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión, eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales, destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades, eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración, y otros objetivos específicos en el tratamiento de las aguas residuales.

Procesos Biológicos

Son considerados como procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales los procesos que dependen de la acción de microorganismos presentes en ellas. Los fenómenos inherentes, la respiración y la alimentación son predominantes en la transformación de los componentes complejos a compuestos simples, tales como: sales minerales, gas carbónico y otros.

Los procesos biológicos de tratamiento procuran reproducir en dispositivos racionalmente proyectados, los fenómenos biológicos observados en la naturaleza condicionándolos en área y tiempo económicamente justificables. Los procesos biológicos se dividen en:

- Procesos biológicos aerobios (necesitan la presencia de oxígeno).
- Procesos biológicos anaerobios (se realizan en ausencia de oxígeno).
- Algunas consideraciones para tomar en cuenta la aplicación de los procesos biológicos son:
 - Si la relación DBO/DQO >0.60 ; residuo biológicamente tratable.
 - Si la relación DBO/DQO entre 0.20 y 0.60; residuo biológicamente parcialmente tratable.
 - Si la relación DBO/DQO <0.20 ; residuo biológicamente no tratable.

DBO: es la demanda biológica de oxígeno que tiene el agua. La cantidad de oxígeno que la biología presente en el agua echa en falta. Se mide en miligramos de oxígeno por litro de agua ($\text{mg O}_2/\text{l}$).

DQO: es la demanda química de oxígeno del agua. Se mide también en $\text{mg O}_2/\text{l}$. es la demanda de oxígeno que químicamente demanda el agua.

Tipos de Tratamientos

Existen cuatro tipos de tratamiento de aguas residuales, los cuales no siempre se aplican es su totalidad:

- Tratamiento preliminar o pre-tratamiento.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

Cada tipo de tratamiento tiene una función específica que contribuye en forma secuencial, al mejoramiento de la calidad del efluente respecto a su condición inicial al ingresar al ciclo de depuración, que va del proceso más simple, hasta el más complejo. Esto permite separar las etapas, por lo tanto el análisis de cada una es en forma individual, existiendo siempre una interrelación entre cada una. Asimismo el criterio a utilizar para la selección y diseño de las respectivas unidades que se proponen, dependen del tipo de tratamiento.

Tratamiento Preliminar o pretratamiento

Los dispositivos para el tratamiento preliminar o pretratamiento están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas.

Pueden ser unidades mecanizadas o de operación manual, los cuales se diseñan

para:

- Separar o disminuir el tamaño de los sólidos grandes que flotan o están suspendidos, generalmente son papeles, plásticos, basura, etc., junto con algo de materia fecal.
- El propósito de esto es evitar que se obstruyan o dañen los conductos subsiguientes del sistema.
- Separar los sólidos inorgánicos como la arena, la grava e incluso objetos metálicos y cualquier material inerte.
- Separar las cantidades excesivas de aceites y grasas.

Se utilizan los siguientes dispositivos en el tratamiento preliminar:

- a) Rejas o criba de barras.
- b) Desengrasador (Trampa de grasas).
- c) Desarenador.

Rejas o cribas

Tiene como objeto la remoción de los materiales gruesos o en suspensión, los cuales pueden ser retirados manual o mecánicamente.

Aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de inclinación de 45° a 60° respecto de la vertical. La limpieza se efectúa manualmente o por medio de rastrillos automáticos. Los sólidos separados por estos dispositivos, se eliminan enterrándolos o incinerándolos.

Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor por 30 a 75 mm de ancho. En general las cribas de rejas gruesas tienen una sección mínima de 6 x 40 mm y máxima de 13 x 60 mm. Las dimensiones a escogerse dependen de la longitud de las barras y del mecanismo de limpieza.

El espaciamiento entre barras varía entre 25 y 50 mm. Para ciudades con un sistema inadecuado de recolección de basura se recomienda un espaciamiento no mayor de 25 mm debido a que se arroja una gran cantidad de basura al sistema de alcantarillado.

Trampa de Grasas

Estos tanques se deben usar en los casos de presencia de desechos industriales con grandes cantidades de aceites y grasas. Para la remoción de aceites animales o minerales (hidrocarburos), con una densidad de alrededor de 0.80 kg/l, se debe proveer una permanencia de 3 minutos en las pequeñas unidades (de hasta 10 l/s), de 4 minutos en las unidades de tamaño mediano (de 10 a 20 l/s) y de 5 minutos en las unidades de mayor tamaño. La carga superficial recomendada es de 4 l/(s.m²) y el área se determina para el caudal máximo horario. Las trampas de grasas son generalmente de forma rectangular, con una relación largo / ancho de 1.8 a

En muchos casos se emplea el diseño con un ancho creciente hacia la salida y el fondo debe ser inclinado hacia la salida, para evitar la acumulación de la arena.

Se utiliza ya que perturban el proceso de digestión de lodos y la DQO se incrementa

en 20% a 30%. Es preferible ubicarlos en lugares sombreados para mantener bajas temperaturas en su interior. Para determinar su capacidad se considerará, en general, el doble de la cantidad de líquidos que entra durante la hora de máximo gasto del influente.

Desarenador

¹

Se proyectarán desarenadores con la finalidad de proteger a las unidades que están aguas abajo contra la acumulación de arena, detritos y otros materiales inertes y también a las bombas contra desgaste. La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional y podrán no ser empleados, dejando espacio adicional para la acumulación de arena en el fondo.

Se utilizan para:

- Remover partículas de diámetro mayor o igual a 0.20 mm y una densidad de 2.65 gr/cm³.
- Mantener la velocidad de flujo entre 0.24 – 0.36 m/s

La tasa de aplicación puede estar entre 25 y 50 m³/(m².h), con un promedio recomendado de 40, basado en el caudal máximo horario.

El canal se diseña para el caudal máximo horario La relación entre el largo (L) altura (lámina) del agua H mayor o igual a 25

La altura del agua y borde libre debe comprobarse para el caudal máximo horario

Se deben proveer dos unidades como mínimo. La velocidad debe comprobarse para el caudal medio y diseñarse varias unidades según sea necesario.

Tratamiento Primario

Su finalidad es la remoción de sólidos suspendidos y esto puede ser por medio de sedimentación, filtración, flotación, floculación, precipitación, etc. Entre las unidades más utilizadas tenemos:

- Fosa séptica.
- Tanque IMHOFF.
- Sedimentadores primarios.
- Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).
- Coagulación o Floculación.

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir lo suficiente la velocidad de las aguas (1 ó 2 cm/seg), para que puedan sedimentarse los sólidos que representan la materia tanto orgánica como inorgánica

¹ Nota: Después de las cribas y desarenadores se debe incluir de forma obligatoria, un medidor de caudal en canal abierto, pudiendo ser del tipo Parshall o Palmer Bowllus y vertederos ya sean rectangulares, triangulares y trapezoidales. El propósito de esta facilidad es proveer datos históricos sobre el caudal y sus variaciones, para desarrollar criterios de diseño para futuras ampliaciones y para evaluación del funcionamiento de los procesos de tratamiento.

susceptible a degradación. Pueden ser unidades que trabajen con carga hidráulica o bien con sistemas de alimentación mecánica, eléctrica o cualquier otro medio de generación motriz. Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, de diversos tipos, algunos de los cuales tienen también la función adicional de servir para la descomposición de la materia orgánica, lo cual se conoce como digestión de lodos.

Fosa Séptica

El objeto de este tipo de instalaciones es doble: retener las materias orgánicas fermentables hasta su nitrificación, y evacuar el líquido una vez alcanza la nitrificación. Este tipo de tanque se usa para dar soluciones individuales en donde el efluente de la fosa debe disponerse mediante la infiltración superficial o a través de pozos de absorción.

Son condiciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de las fosas sépticas:

- El contenido de nitrógeno amoniacal no debe sobrepasar los 200 mg/l
- El volumen de agua de dilución incorporado a la fosa por habitante deberá ser superior a los 40 l/día
- Es conveniente que las aguas procedentes de las cocinas sean conducidas de forma previa a la cámara de retención de grasas
- No deben incorporarse residuos sólidos al vertido sobre fosas sépticas. No deben verterse productos líquidos o alcalinos utilizados para limpieza de desinfectantes.
- No es aconsejable la incorporación de aguas de lavado que puedan contener fuertes concentraciones de detergentes o lejías.

Tanque Imhoff

Son tanques de sedimentación primaria en los cuales se incorpora la digestión de lodos en un compartimiento localizado en la parte inferior.

Para el diseño de la zona de sedimentación se considerará un volumen mínimo de 1500 litros, utilizando los siguientes criterios:

- Se determinará el área requerida para el proceso con una carga superficial de $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- El periodo de retención nominal será entre 1 a 1.5 horas. Del producto de la carga superficial y el periodo de retención se obtendrá la profundidad.
- Alternativamente se dimensionará la cámara de decantación con una tasa de 30 litros / habitante.
- El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados, hacia la arista central será del 67% al 80%.
- En la arista central se dejará una abertura para el paso de los sólidos de 0.15 m a 0.20 m.
- El borde libre será entre 0.30 m a 0.60 m.
- Las estructuras de entrada y salida, así como otros parámetros de diseño serán los mismos que para los sedimentadores rectangulares convencionales.

Sedimentadores Primarios: En estas unidades no se digieren los lodos, solo se retienen y por lo general se utilizan como una primera etapa de tratamiento. Se puede recomendar su construcción siempre y cuando se tengan proyecciones. para aumentar o completar el tratamiento en una segunda etapa a nivel secundario, a corto plazo. Estas unidades tienen como función la reducción de los sólidos suspendidos, grasas y aceites de las aguas residuales. Pueden ser tanques rectangulares o circulares, estos últimos son los más frecuentes, utilizados en plantas que soporten poblaciones hasta de 100,000 habitantes.

Tratamiento Secundario: Para la remoción de materia Coloidal y en suspensión al utilizar procesos biológicos se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, los mismos que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica convirtiéndola en materia celular, productos inorgánicos o material inerte.

Los tratamientos secundarios a diseñarse serán preferiblemente de tipo biológico. Entre ellos se pueden seleccionar aquellos que utilicen biomasa en suspensión y aquellos que utilicen biomasa adherida. La selección del tipo de tratamiento deberá estar debidamente justificada en el estudio de factibilidad.

Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa en suspensión se preferirán aquellos que sean de fácil operación y mantenimiento y que reduzcan al mínimo la utilización de equipos mecánicos complicados o que no puedan ser reparados localmente. Entre estos métodos están las lagunas y los sistemas de lagunas de estabilización y las zanjas de oxidación de operación intermitente y continua. El sistema de lodos activados convencional y las plantas paquete de este tipo podrán ser utilizados sólo en el caso en que se demuestre que las otras alternativas sean inconvenientes técnica y económicamente.

Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa adherida se preferirán aquellos que sean de fácil operación y que carezcan de equipos complicados o de difícil reparación. Entre ellos están los filtros percoladores y los reactores con módulos rotatorios.

Dependiendo de la forma que están soportados los microorganismos, las unidades que se pueden utilizar son:

Con microorganismos fijos:

- Filtro anaerobio.
- Filtros percoladores (rociadores).
- Módulos rotatorios de contacto.

Con microorganismos suspendidos:

- Lagunas aerobias. o Lagunas anaerobias. o Lagunas facultativas. o Lodos activados.
- Zanjas de oxidación.

Filtro anaerobio: Consisten en tanques generalmente de forma cilíndrica, que en su interior contiene un lecho filtrante apoyado en un falso fondo perforado, por donde el líquido proveniente del tratamiento primario fluye, acumulando en su superficie los microorganismos responsables por el proceso.

Filtros percoladores: Los filtros percoladores deberán diseñarse de modo que se reduzca al mínimo la utilización de equipos mecánicos. Para ello se preferirá las opciones de utilizar lechos de piedra, distribución del efluente primario (tratado de tanques Imhoff) por medio de boquillas, sedimentadores secundarios sin mecanismos de barrido (con tolvas de lodos) y retorno del lodo secundario al tratamiento primario. El tratamiento previo a los filtros percoladores será: Cribas, desarenadores y sedimentación primaria convencional o con tanques Imhoff).

Módulos rotatorios de contacto

Los módulos rotatorios pueden tener los siguientes medios de contacto:

- Discos de madera, material plástico o metal ubicados en forma paralela de modo que provean una alta superficie de contacto para el desarrollo de la biopelícula.
- Cestas de alambre de forma cilíndrica llenas de esferas de material liviano (bolas de poliuretano).

Lagunas de Estabilización: Se conoce con ese término a cualquier laguna o estanque de agua residual, o grupos de ellas que trabajen individuales, en paralelo o en serie, aplicables a todas las etapas del tratamiento, proyectadas para llevar a cabo la remoción de parámetros físico-químicos y microbiológicos, a través de procesos biológicos, en presencia o ausencia de oxígeno, en función de la carga superficial aplicada y del período de retención hidráulico: sin necesidad de la adición de agentes químicos externos o aplicación de fuerza mecánica para su funcionamiento. Este sistema requiere de un cribado previo, y obras de arte sencillas para su funcionamiento ya que trabajan bajo carga hidráulica y bajo la acción de elementos atmosféricos (radiación solar, oxígeno, etc.), lo que las hace muy sencillas de operar. Según sus características de funcionamiento se dividen en: aerobias, anaerobias y facultativas.

Lagunas Aerobias: Son lagunas que contienen oxígeno donde el agua residual se estabiliza parcialmente por actividad metabólica de bacterias y algas. Las lagunas pequeñas (menores de 0.2 ha y 0.9 m de profundidad) pueden mantener condiciones aerobias sin aireación mecánica. Las lagunas aerobias se basan en el aporte de oxígeno a partir del crecimiento de fotosintetizadores y permiten obtener efluentes de baja DBO soluble pero de alto contenido de algas, las que debieran ser cosechadas a fin de controlar los cuerpos receptores.

La profundidad debe ser tal que no se alcancen a producir regiones sin oxígeno, sobre todo teniendo presente que la turbiedad impide el paso de la luz solar. Se suelen encontrar profundidades de 30 a 45 cm y tiempos de retención hidráulicos teóricos (es decir, volumen de la laguna dividido por caudal medio tratado) de 10 a 40 días de modo que el terreno requerido para esta tecnología puede ser intolerantemente grande.

La tasa de carga de este tipo de laguna cae en el rango de 85 a 170 Kg de DBO5 por hectárea y por día.

Lagunas Anaeróbicas: La laguna anaeróbica es un bioreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante. Una laguna anaerobia puede considerarse un proceso anaerobio a tasa baja en el cual la materia orgánica es estabilizada mediante su transformación en dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) principalmente.

Las lagunas anaeróbicas son estanques de profundidad de 3.0 a 5.0 metros con un período de retención hidráulica de 1.0 a 5.0 días.

Lagunas Facultativas: Son grandes reservorios de agua residual, en los cuales se pretenden contener el mayor tiempo posible esta agua para que mediante la acción solar, la oxigenación ambiental, la transferencia de oxígeno a través de la acción fotosintética de las algas formadas y la acción aerobia anaerobia-facultativa de las bacterias, se produzca la degradación de la materia orgánica hasta su estabilización y la reducción de microorganismos presentes, sobre todo los de tipo patógeno. El diseño se basa fundamentalmente en la determinación de la carga superficial aplicada o carga por unidad de superficie, lo que implica que ha mayor carga superficial aplicada por las características del agua residual cruda, mayor área superficial será necesaria para obtener período de retención mayores, por consiguiente mayor eficiencia de remoción. Este tipo de laguna es el más utilizado por su flexibilidad, requiere menos tiempo que las aerobias y no producen los posibles olores de las anaerobias.

Como en todos los procesos biológicos, el factor principal que afecta su eficiencia es la temperatura, estando en función directa.

Sus características principales son el comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaeróbica de los sólidos sedimentados en el fondo. Por consiguiente, su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:

- Como laguna primaria única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y/o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración) y,
- Como una unidad secundaria después de lagunas anaeróbicas o aireadas, para cumplir el propósito de procesar sus efluentes a un mayor grado.

Lodos Activados: El lodo activado es un floculo biológico producido en las aguas residuales previamente sedimentadas, por el crecimiento de bacterias zoóglas y otros organismos en la presencia del oxígeno disuelto en el agua y acumulado en buenas concentraciones gracias a la recirculación de otros floculos previamente formados.

El efluente, después de una sedimentación primaria, se mezcla con los lodos en recirculación y se introducen al tanque de aireación, por espacio de 3 a 6 horas. A la mezcla contenida dentro del tanque de aireación, se le conoce como licor mezclado.

Zanjas de Oxidación

Las zanjas de oxidación son aplicables a pequeñas y grandes comunidades y constituyen una forma especial de aireación prolongada con bajos costos de instalación por cuanto no es necesario el uso de decantación primaria y el lodo estabilizado en el proceso puede ser desaguado directamente en lechos de secado. Este tipo de tratamiento es además de simple operación y capaz de absorber variaciones bruscas de carga. Dadas las características del proceso, su eficiencia del tratamiento es más alta que en las demás variantes del proceso de lodos activados, normalmente en los siguientes intervalos

- DBO entre 95% y 98%
- DQO entre 90% y 95%
- Nitrificación sobre el 95%

Es un proceso de lodos activados en su variante de aireación extendida anteriormente descrita. La diferencia radica en su configuración, la cual fue diseñada para facilitar su procedimiento constructivo y disminuir costo de inversión, operación y mantenimiento. Generalmente se plantea como una opción altamente competitiva para poblaciones menores de 30,000 habitantes. Consiste en zanjas ovaladas y cerradas, con sección transversal trapezoidal, y un tirante de agua entre 1 a 1.8 m. Estas zanjas se implementan con equipos mecánicos, rotores o sólidos en suspensión y mezclar el oxígeno necesario para propiciar condiciones aerobias.

Es común su forma ovalada, sin embargo no es una restricción y dependerá básicamente de la configuración del área disponible. Tiene un tiempo de retención hidráulico entre 16 a 24 horas, y una retención de lodos superior a los 30 días.

Tratamiento Terciario: Esta etapa se considera como un nivel avanzado de tratamiento en el cual se pretende mejorar sustancialmente la calidad del efluente cualitativamente, mediante la desinfección como elemento principal, y el control de nutrientes presentes en las aguas de origen doméstico, como la principal fuente de aportación; a través de procesos físico- químicos. Esto permitirá la reducción y eliminación de microorganismos patógenos, la protección del cuerpo receptor y la vida acuática, controlando el crecimiento de la vida vegetal indeseada y nocivas (algas y otras variedades), y permitir el re-uso sanitariamente seguro.

Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico – química – biológica adecuada y le da una pulímetro al agua de acuerdo al reusó que se le pretenda dar a las aguas residuales. Algunos procesos de tratamiento terciario:

- Remoción de sólidos suspendidos
 - Micro cribado.
 - Coagulación – floculación.
 - Filtros con diatomeas.
- Remoción de compuestos orgánicos
 - Adsorción.
 - Oxidación química.
- Remoción de compuestos inorgánicos
 - Electrodialisis.
 - Intercambio iónico.

- Osmosis inversa.
- Precipitación química.
- Remoción de microorganismos.
 - Rayos ultravioleta.
 - Lagunas de maduración.

Propuesta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Sistema de Alcantarillado de la Unión

Factores a considerarse en el tratamiento de aguas residuales: El Tratamiento de aguas residuales, previo a su eliminación, consiste en separar los sólidos orgánicos e inorgánicos y mejorar la calidad en el efluente.

Tomando en cuenta, que las aguas residuales de La Unión, tendrá como cuerpo receptor “*La Quebrada del Pueblo*”, se deben tomar en cuenta algunos factores:

Eficiencia del sistema de tratamiento a utilizar: Es importante la eficiencia del sistema de tratamiento y el porcentaje de tratamiento, ya que de lo contrario no se estará cumpliendo con el objetivo principal que es de tener un efluente de buena calidad.

Costo del tipo de tratamiento: El costo del tipo de tratamiento debe estar relacionado con las posibilidades económicas de la Municipalidad, ya que no será funcional dictaminar un tipo de tratamiento de alto costo, que no tendrá capacidad de construir la municipalidad.

Caudal: Conocer las características y volumen del agua que se va a tratar es de suma importancia, ya que de este estudio depende la elección del sistema a utilizar.

Topografía del lugar: La topografía del lugar donde se va a instalar la planta de tratamiento, es de importancia, ya que dependiendo de la elección del sistema de tratamiento a utilizar y cuanto se adapte el sistema a la topografía del lugar, más económico será el proceso de tratamiento.

Análisis y comparación entre los tratamientos propuestos

Se han realizado muchas investigaciones sobre el uso de lagunas de estabilización para tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo. Los resultados muestran claramente que las lagunas pueden tratar aguas residuales a un alto nivel, tanto en la remoción de patógenos como en la de compuestos orgánicos, requiriendo mínimos recursos para su diseño, construcción, operación, y mantenimiento.

El diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en América Latina y en países en desarrollo no debe ser similar a lo de países industrializados, donde se basa el diseño en la reducción de compuestos orgánicos para proteger los cuerpos receptores con poca o ninguna atención a los aspectos de salud pública, especialmente a la remoción de los patógenos. Dado que una de las principales causas de mortalidad y morbilidad es la de enfermedades relacionadas a las excretas humanas en América Latina, se concluye que los procedimientos de diseño de países industrializados no son adecuados y que el diseño debe enfocarse fundamentalmente en la remoción de patógenos conjuntamente con el posible reusó de los efluentes en agricultura o acuicultura

como un recurso sostenible.

Remoción de Patógenos y Parámetros Convencionales

El Cuadro #3., presenta un resumen de los varios procesos de tratamiento de aguas residuales en términos de remoción de patógenos y los parámetros convencionales de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y sólidos suspendidos (SS) (Feachem et al., 1983; Mara et al., 1992; Yáñez, 1992). Se ve claramente que las lagunas de estabilización es la mejor opción para la remoción de patógenos: Las lagunas de estabilización que están diseñadas y operadas apropiadamente tienen la mejor eficiencia en la remoción de virus, bacteria, y especialmente huevos de helmintos y quistes de protozoarios. Todos los otros procesos requieren desinfección como un proceso terciario para obtener una remoción de bacterias o virus igual a la que las lagunas pueden alcanzar mediante un proceso secundario; además, el cloro no puede matar totalmente los huevos de helmintos y los quistes de protozoarios. La laguna es el único proceso que, como un proceso secundario, puede producir efluentes de una calidad que puede utilizarse para el riego en la agricultura o para la fuente de agua en acuicultura.

PROCESO	Remoción, %		Remoción, Cielos log10 4			
	DBO5	SS	VIRUS	BACTERIA	HUEVOS DE HELMINTOS	QUISTES DE PROTOZOARIOS
Sedimentación primaria	25-40	40-70	0-1	0-1	0-1	0-2
lodos	55-95	55-	1-2	0-2	0-1	1-2
filtros	50-95	50-	1-2	0-2	0-1	1-2
desinfección con cloro	-----	---- ---	0-4	2-6	0-1	0-3
lagunas en	70-95	55-	2-4	2-6	2-4	2-4

Cuadro 3, Eficiencia de Remoción de Patógenos y Parámetros Convencionales para varios Procesos (Fuente: Stewart M. Oakley (2005), Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad de Lagunas de Estabilización)

Además de la remoción de patógenos, la remoción de DBO₅ y SS puede ser tan alta como en cualquier otro proceso si la laguna está diseñada y operada adecuadamente y si se considera que los sólidos en el efluente son algas producidas en la laguna y no los sólidos suspendidos de las aguas residuales originales que entran el sistema. Se presenta otras ventajas de las lagunas de estabilización a continuación:

Simplicidad de las lagunas: Las lagunas son más sencillas de diseñar, construir, operar y mantener que cualquier otro proceso de tratamiento. La excavación es la actividad principal en la construcción. La construcción de obras civiles es mínima; solamente estructuras de ingresos, interconexiones, salidas, y el revestimiento de los taludes interiores. La operación y mantenimiento consiste normalmente en tareas de rutina como corte de vegetación en la orilla y en el dique, remoción de natas y sólidos flotantes, la medición diaria del caudal, y el monitoreo periódico del afluente y efluente.

Bajo Costo: Las lagunas cuestan mucho menos que los otros procesos de tratamiento. El equipo requerido se puede obtener localmente; las plantas de lodos activados, por

ejemplo, requieren de la importación de equipo mecanizado y piezas de repuesto costosas. El consumo de energía es mínimo; por ejemplo, para una población de 10,000 personas, una planta de lodos activados puede consumir 1, 000,000 KW-hrs/año, mientras que una de lagunas de estabilización no consumiría ninguna energía eléctrica.

Mínimo manejo de lodos: El costo mayor en operación de plantas secundarias de tratamiento de aguas residuales con sedimentación primaria y secundaria es el manejo de los lodos producidos. Una ventaja fundamental en el uso de lagunas es el hecho que se producen menos lodos que cualquier otro proceso como se presenta en el Cuadro 4. Porque los lodos quedan en la laguna primaria por años en vez de horas o días como en los otros procesos, se consolidan con tiempo y ocupan menos volumen poco a poco (Nelson, et al., 2004).

Porque todos los lodos de cualquier proceso estarán muy contaminados con huevos de helmintos, quistes de protozoarios, y otros patógenos bacterianos y de los virus, la otra ventaja importante es el mínimo manejo de lodos producidos, con menos concentraciones de patógenos en los lodos por su edad. Una planta de filtros percoladores o lodos activados con sedimentación primaria y secundaria, y con digestión anaeróbica, tendría que remover lodos con una frecuencia de, por lo menos, cada mes, con todos los riesgos de manejar y disponer sanitariamente los lodos contaminados. En contraste, la remoción de lodos de una laguna primaria es necesaria solamente cada 5 a 10 años, con menos riesgos de patógenos porque los lodos estarán más viejos.

PROCESO DE TRATAMIENTO	LODOS PRODUCIDOS (m ³ de lodos mojados por 1,000 m ³ de aguas residuales tratadas)
sedimentación primaria	2.1 - 3.3
lodos activados	1.4 - 1-9
tratamiento secundario sin digestión de lodos	3.5 - 5.2
tratamiento secundario con digestión de lodos	2.6 - 3.9
laguna facultativa de estabilización	0.4 - 0.6

Cuadro 4., Cantidades de Lodos Producidos por Varios Procesos (Fuente: Stewart M.Oakley (2005), Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad de Lagunas de Estabilización)

Complejidad del Proceso y Requisitos de Operación y Mantenimiento: Las lagunas de estabilización, por su bajo nivel de complejidad, tienen mucho menos requisitos de operación y mantenimiento de cualquier otro proceso, lo que es una ventaja clave para municipalidades con pocos recursos. En el cuadro 5., tenemos una comparación entre estos procesos.

Procesos De Tratamiento	Nivel De Complejidad	Nivel De Capacitación De Personal	Requerimientos De Monitoreo Del Proceso
lodos activados	ALTO	ALTO	ALTO
filtro percolador	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	MEDIO
laguna aireada	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO

Procesos De Tratamiento	Nivel De Complejidad	Nivel De Capacitación De Personal	Requerimientos De Monitoreo Del Proceso
sistema de lagunas de estabilización	BAJO	BAJO	BAJO

Cuadro 5., Complejidad y Requisitos de Capacitación y Monitoreo (Fuente: Stewart M. Oakley (2005), Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad de Lagunas de Estabilización)

Requisitos del Terreno: La principal desventaja de las lagunas de estabilización es el área requerida. Generalmente como una regla práctica, en los climas de América Central o en climas tropicales o sub tropicales, se puede estimar que se necesitaría entre 2.0 a 2.5 hectáreas mínimas de lagunas para servir a una población de 10,000 habitantes. En el cuadro siguiente podremos ver el área requerida entre los distintos procesos de tratamiento de aguas residuales.

Alternativas	Superficie necesaria (m ² /hab)
Fosa séptica	0.1 – 0.5
Tanque Imhoff	0.05 – 0.1
Zanja filtrante	6 – 66
Lecho filtrante	2 – 25
Filtro de arena	1 – 9
Lecho de turba	0.6 – 1
Pozo filtrante	1 – 14
Filtro verde	12 – 110
Lecho de juncos	2 – 8
Infiltración rápida	2 – 22
Esc. Superficial	5 – 15
Laguna aireada	1 – 3
Laguna aerobia	4 – 8
Laguna facultativa	2 – 20
Laguna anaerobia	1 – 3
Laguna anaerobia + facultativa	2 – 12
Laguna anaerobia modificada	1 – 5
Lecho bacteriano	0.5 – 0.7
Biodiscos	0.5 – 0.7
Aireación prolongada	0.2 – 1
Canal de oxidación	1.2 – 1.8
Tratamiento físico químico	0.1 – 0.2

Cuadro 6., El Área Requerida para Varios Procesos de Tratamiento (Fuente: SANAA (2004), Normas de diseño para alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial y tratamiento de aguas residuales)

Reusó de Aguas Residuales: Un punto importante presentado en detalle en el informe más reciente de CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente), es que las aguas residuales tratadas pueden ser un recurso sostenible en vez de un problema de la salud pública y el medio ambiente. Los resultados de un Proyecto de Monitoreo de las Lagunas de Estabilización en Honduras muestran que

todos los sistemas monitoreados cumplían la norma de Categoría B de la OMS (Organización Mundial de la Salud) para riego restringido, y un sistema cumplía la norma de Categoría A para riego no restringido.

Las normas de la OMS han existido desde 1989, y ofrecen una excelente referencia en demostrar la posibilidad real de usar el agua residual doméstica en actividades productivas, haciendo más sostenible la protección de la salud pública y el uso de los recursos hídricos. Desgraciadamente, la mayoría de los países de América Latina no han considerada las normas en todo su potencial por diversas razones, lo que incluyen enfoques en remoción de material orgánico y protección ambiental, y más énfasis en el buen funcionamiento del sistema de tratamiento en términos operativos y mucho menos al sanitario con énfasis en enfermedades infecciosas.

No existe una norma legislada adecuada en los países de América Central que enfrente los problemas de patógenos discutidos anteriormente. En este respecto es importante que los ingenieros sanitarios y otros profesionales involucrados en salud pública desarrollen normas de diseño y nivel de tratamiento requerido para remover los patógenos que realmente causan los problemas de salud. Existen pocos estudios científicos de los cuerpos receptores y el grado del tratamiento requerido para proteger la salud y el cuerpo receptor, y probablemente no van a existir en un futuro cercano (la carencia de esos estudios es un problema de todos los países centroamericanos). Por lo tanto, es importante buscar soluciones que estén basadas en los problemas fundamentales a la salud pública en vez del cuerpo receptor. Debido a que los problemas más urgentes en Centroamérica son las enfermedades relacionados con las excretas, se puede concluir que la remoción de patógenos es la norma más importante. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que en otros países como los Estados Unidos, el problema es totalmente diferente y por lo tanto, la tecnología requerida allá puede ser muy diferente también; es por eso que el uso de plantas de lodos activados es común en los Estados Unidos pero no apropiado para muchas aplicaciones en Centroamérica.

Selección de los tratamientos adecuados: En Honduras, por los altos costos de los tratamientos que son comunes en países desarrollados, el tratamiento de aguas residuales es limitado.

El impacto de los desechos humanos e industriales, en la salud y el medio ambiente, ha conducido a la búsqueda de soluciones de bajo costo en muchos países de América Latina y Asia.

Por su construcción económica, facilidad de mantenimiento, su eficiencia, factores climáticos ideales, con la ventaja de ser innecesario el uso de equipo mecánico, las lagunas de estabilización representan uno de los tratamientos más atractivos para nuestro medio.

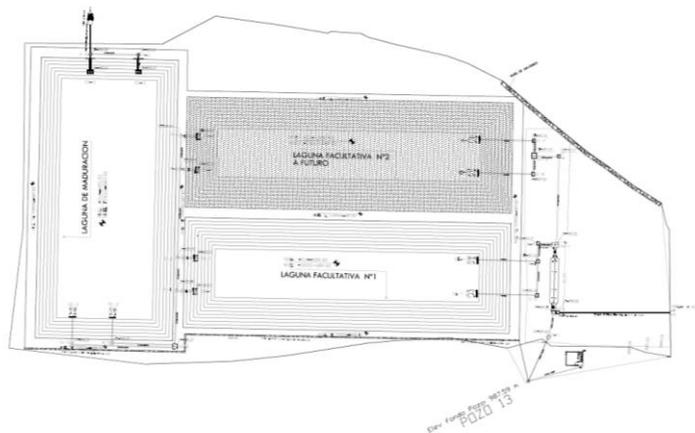
Aunque su mayor desventaja es que se requiere una gran área para este tipo de tratamiento, las investigaciones publicadas recientemente, hacen posible reducir en forma sustancial el área efectiva a usarse.

Con base en los factores anteriores, con el análisis y comparación realizada e, recomendamos que el sistema más adecuado para el Tratamiento de Aguas Residuales de La Unión es el siguiente:

- Como pre tratamiento: Desarenador (con Canaleta Parshall).
- Tratamiento primario: no se utilizara ninguno (la comunidad ya utiliza fosas sépticas).
- Tratamiento secundario: lagunas facultativas.
- Tratamiento terciario: Laguna de maduración.

Se dispone de un área de 15,636.95 m² para la construcción de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Presupuesto de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales

CUADRO RESUMEN DE PRESUPUESTO		
MONTO DE PRESUPUESTO	VIVIENDAS	VALOR POR VIVIENDA
L. 4 200,886.66	830	5,061.31
MONTO DE PRESUPUESTO	LONGITUD DE ALCANTARILLADO	VALOR POR METRO LINEAL
L. 4 200,886.66	510.15	8,234.61
MONTO DE PRESUPUESTO	AREA DE LAGUNAS	VALOR POR METRO CUADRADO
L. 4 200,886.66	4165	1,008.62

CONCLUSIONES

Al realizarse el proyecto propuesto, se alcanzará un gran beneficio para el ecosistema y un aporte valioso para el desarrollo de la población por la importancia que tiene la depuración de las aguas residuales domésticas, comerciales del casco urbano de La Unión, Lempira.

Con la construcción del sistema de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de

aguas residuales se contribuirá a elevar el nivel de vida de su población, debido a que dicho sistema dará nuevas costumbres higiénicas, que reducirán las enfermedades gastrointestinales e infecciones de las cuales han padecido por algún tiempo.

El sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto es completamente natural, no habría ruidos por motores, consumo de energía eléctrica, contaminación del aire, reducido personal en su manejo y mantenimiento etc.

Es de vital importancia el trabajo realizado a través del Ejercicio Profesional Supervisado, el cual complementa la formación profesional del estudiante, permite la relación teoría-práctica, y proyecta a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI) con sociedad hondureña, contribuyendo a proponer soluciones a problemas que las comunidades plantean.

RECOMENDACIONES

La municipalidad deberá brindar un eficiente sistema de distribución y cumplir con la dotación de agua potable de la comunidad. Esto permitirá que la red de recolección de aguas residuales funcione en sus óptimas condiciones de diseño.

La municipalidad será la encargada brindar la información a la comunidad que será beneficiaria de sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales. Educando y fomentar el buen uso del mismo.

En lo que respecta al mantenimiento del sistema de alcantarillado sanitario la municipalidad de La Unión, tendrá que designar un personal calificado para evitar un mal funcionamiento o un colapso prematuro del sistema, lo cual vendría a perjudicar a las personas del lugar, así como manantiales y suelo.

En el sistema propuesto está previsto un crecimiento en la población a 20 años, al terminar su periodo de diseño se verá evaluar el caudal de entrada a la planta y la población actual y realizar un rediseño de la misma o una nueva planta de tratamiento para las zonas de crecimiento territorial del municipio.

GLOSARIO

Efluente: Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Afluente: Corriente de agua que no llega hasta el mar, sino que desemboca en otra corriente de agua.

Insalubridad: Característica de lo que es perjudicial para la salud.

Azimut: Es el ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico.

Excretas: Es un proceso fisiológico, que le permite al organismo eliminar sustancias de desecho y tóxicas para el cuerpo, manteniendo así en equilibrio la composición de la

sangre y otros fluidos corporales.

Altimetría: Es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o "cota" de cada punto respecto de un plano de referencia.

Planimetría: Es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana (plano geometría), prescindiendo de su relieve y se representa en una proyección horizontal.

BIBLIOGRAFIA

Stewart M. Oakley (2005), Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad de Lagunas de Estabilización.

Arturo Quezada (1985). Principios Básicos de Alcantarillado Sanitario.

Augusto Sorrequieta (2004), Aguas residuales: reusó y tratamiento.

Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica.

Ing. José Manuel Jiménez Terán. Manual para diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario.

Secretaria de Salud (1996). Acuerdo No. 058. Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario.

Ente Regulado de los Servicios de Agua potable y Saneamiento (ERSAPS) (2011). Indicadores 2011, Sector agua y saneamiento de Honduras.

Latinosan 2010. Estado de la situación del agua y saneamiento en Honduras.

Estudio Socioeconómico e Indicadores de Línea Base del Municipio de La Unión Lempira (En el marco de los ODM y la ERP) 2012.

BID/MECOVI – INE/HONDURAS (2003). Estimación de indicadores de pobreza y desigualdad a nivel municipal en Honduras.



5

CONTENIDO

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



CARACTERIZACIÓN Y MAPEOS DE DESLIZAMIENTOS EN DIFERENTES SECTORES DE TEGUCIGALPA

Kiyoharu Hirota^a
Eutimio Esmer Chi^b

RESUMEN

Los procesos geodinámicas que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diversas características, magnitudes y velocidades, siendo los más frecuentes y extendidos los deslizamientos, llegando a constituir riesgos geológicos potenciales que causan daños económicos y sociales que afectan las actividades y obras humanas.

Un estudio geotécnico de estos procesos es el resultado de los trabajos de inspección y caracterización del suelo afectado, logrando conocer el comportamiento del terreno ante la influencia del mismo. El modo de entender estos fenómenos naturales es mediante el estudio de los movimientos de masas, sus características, tipos, mecanismos de inestabilidad, de los factores que los controlan y de sus causas; lo cual incide en el análisis del deslizamiento presente en los diferentes sectores de la ciudad de Tegucigalpa.

Palabras claves: Deslizamientos, geomorfología, remoción en masa, susceptibilidad a movimiento del terreno, factores de control.

ABSTRACT

The geodynamic processes affecting the Earth's crust give rise to ground activities of various characteristics, magnitudes and swiftness, where the most common and widespread risks are landslides. They constitute potential geological hazards that cause economic and social damage affecting human activities and infrastructure.

A geotechnical study of these processes is the result of fieldwork, inspection and characterization of the affected soil, where knowledge is achieved on the activities of the ground before the influence of the above mentioned. The means of understanding these natural phenomena is through the study of mass movements.

Keywords: Landslides, geomorphology, susceptibility to ground movement, controlling factors.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar y evaluar riesgos por movimientos en masa en diferentes zonas de la ciudad de Tegucigalpa.

Objetivos Específicos

1. Conocer y analizar las características físico–naturales de las diferentes zonas de Tegucigalpa, a través de las variables geomorfología, suelos, geología, hidrología y clima.
2. Caracterizar los principales factores socioculturales implicados en la información, percepción y comportamiento de la población.

^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: eutimio.chi@upi.edu.hn

3. Analizar y evaluar los factores de riesgo producto del movimiento en masa.
5. Analizar y evaluar el peligro natural o amenaza.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La ciudad de Tegucigalpa ha sufrido un continuo crecimiento del plano urbano hacia sectores en áreas de expansión, en que se agrega una cantidad de población irregular que en ocasiones resultan ser áreas de riesgo natural o potencialmente sensibles a fenómenos naturales, cuyas consecuencias se pueden apreciar en las distintas catástrofes acaecidas en la los últimos años y muy reciente en lo ocurrido durante el huracán Mitch y Ciudad del Ángel, causando un número indeterminado de víctimas. Por consiguiente, se identifican unidades territoriales complejas que presentan relaciones alométricas expresado en grados diferenciales de peligro natural y vulnerabilidad socioeconómica, sociocultural y tecnológica, asociados a una ocupación humana poco acorde con los rasgos del medio donde tiene lugar.

METODOLOGÍA

Para la caracterización geomorfológica del área fue necesario determinar las máximas altitudes; se digitalizaron las curvas de nivel y con el apoyo de un GIS se obtuvo el modelo digital del terreno (MDT) y se clasificó el relieve. Luego se confeccionó el mapa de disección vertical, calculando las diferencias de altura entre curvas de nivel dentro de una unidad de superficie. Se realizó el mapa de red fluvial y se caracterizó el drenaje.

Por último, para determinar la susceptibilidad por deslizamiento se utilizó la aplicación del método presentado denominado zonación por criterios activos, considerando como agentes catalizadores las lluvias frecuentes en la zona.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso de singular importancia para el hombre dada la relación de dependencia entre ambos establecida; en él encuentran soporte gran número de actividades productivas de los sectores de alimentos, industria y vivienda, entre otros.

En el caso de la aplicación directa del suelo a actividades productivas, como la agricultura o el pastoreo, se requiere de sustancias nutritivas para el desarrollo de las plantas o pastos que tales actividades incluyen; la mayor o menor concentración y disponibilidad de tales sustancias refleja el nivel de fertilidad de un suelo, sin embargo, es en la capa más superficial de éste donde se concentra la mayor fertilidad; esta capa alcanza escasamente en ocasiones unos pocos centímetros de espesor, lo cual plantea serias implicaciones dado el desbalance existente entre las tasas de formación del suelo y tasas de erosión que pueden alcanzarse bajo determinadas condiciones, así, un centímetro de suelo puede tardar en su formación cientos, e incluso miles de años, en tanto que en un aguacero o por efecto de la acción del viento, éste puede perderse en pocos segundos.

Los sistemas de manejo tecnológico y de apropiación del suelo para las actividades agrícolas, pecuarias y forestales, entre otras, han ido muchas veces en detrimento de este recurso, ocasionando una mínima posibilidad de sostenibilidad de tales actividades en el tiempo. El proceso comienza con la ruptura de un equilibrio que se ha dado a través de una interacción ininterrumpida -a excepción de fenómenos igualmente naturales- entre el medio físico y el medio biótico, con la remoción de la vegetación del suelo para dar entrada a otras formas vegetales, orientadas hacia la producción; luego se rompe la superficie de los terrenos y se somete el suelo a un laboreo periódico con elementos de

labranza, apareciendo el fenómeno erosivo y marcándose de esta forma un punto de quiebre frente al criterio de sostenibilidad, dadas las significativas diferencias entre la tasa de formación y la tasa de pérdida de suelo mencionadas. Esta descripción corresponde en esencia a la génesis del fenómeno otrora vigente de forma casi exclusiva, hoy día, a las pérdidas de suelo imputables a la aplicación de tierras a la agricultura y pastoreo, deben sumarse aquellas originadas del adelanto de proyectos de desarrollo, cuya inadecuada gestión genera importantes impactos ambientales en términos de pérdidas de suelo, y en algunos casos los sigue generando actualmente.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

MARCO TEÓRICO

Nomenclatura de un talud o ladera

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Figura 1).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

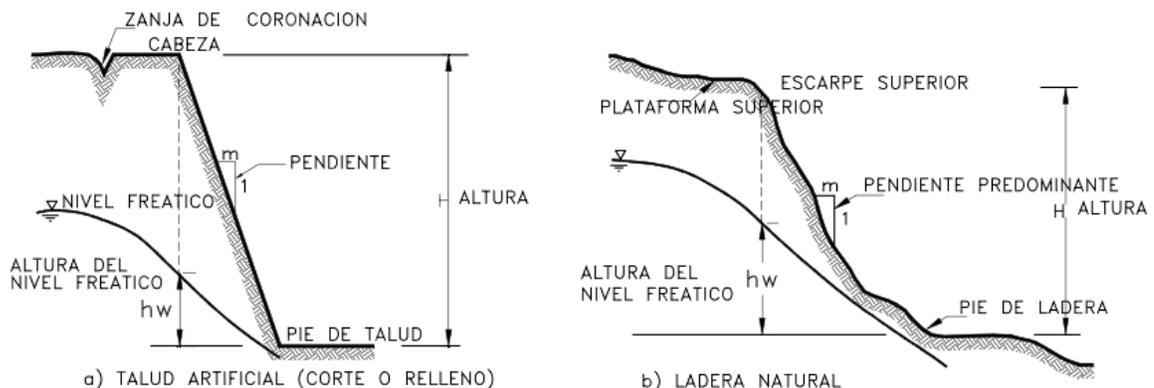


Figura 1. Nomenclatura de taludes y laderas.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

1. **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
 2. **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
 3. **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
 4. **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
 5. **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45°, 100%, o 1H:1V.
- Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

Nomenclatura de los Procesos de Movimiento

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo.

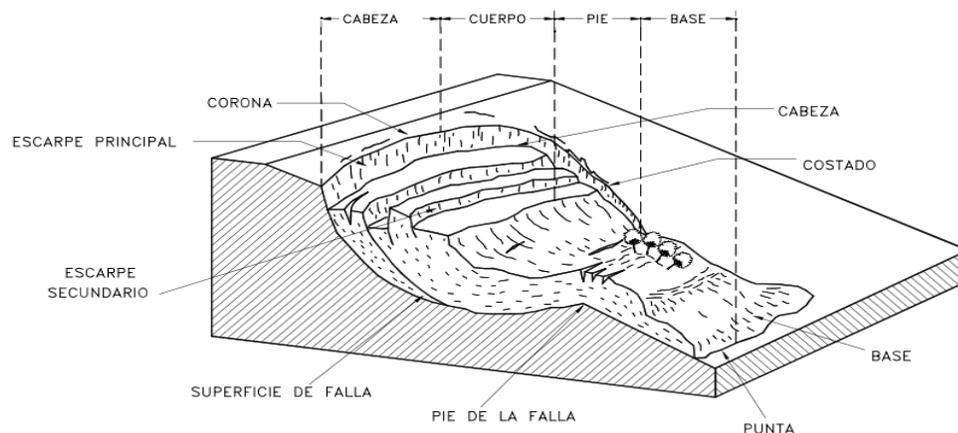


Figura 2. Nomenclatura de un deslizamiento

En la figura 2 se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

1. **Escarpe principal:** Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
2. **Escarpe secundario:** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
3. **Cabeza:** Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
4. **Cima:** El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
5. **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

6. **Superficie de falla:** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
7. **Pie de la superficie de falla:** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
8. **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
9. **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
10. **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento.
11. **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
12. **Derecha e izquierda:** Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

Dimensiones

El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término "Factor de expansión" puede ser utilizado para describir éste aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70%.

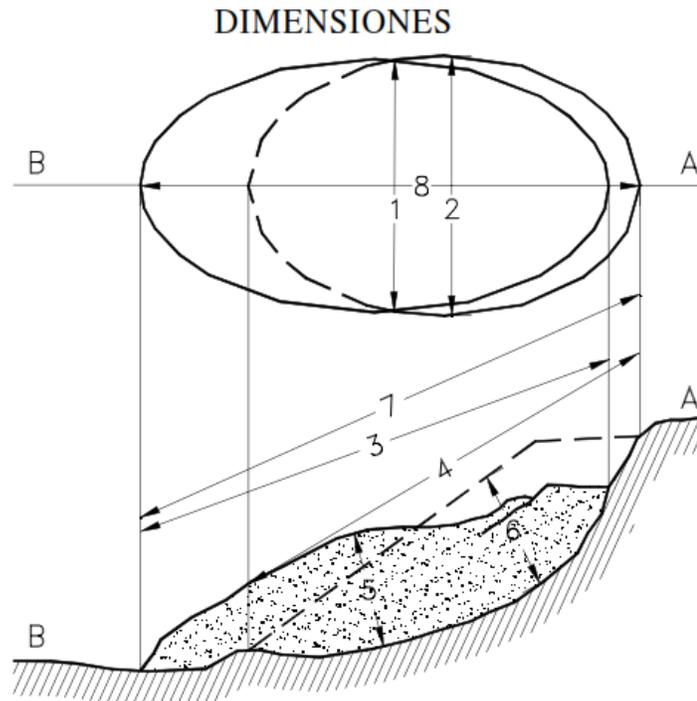


Figura 3. Dimensiones^a de los movimientos en masa.

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (Figura 3):

^a De acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990)

Ancho de la masa desplazada W_d : Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L_d .

Ancho de la superficie de falla W_r : Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .

Longitud de la masa deslizada L_d : Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

Longitud de la superficie de falla L_r : Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

Profundidad de la masa desplazada D_d : Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .

Profundidad de la superficie de falla D_r : Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .

Longitud total L : Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

Longitud de la línea central L_c : Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

Etapas en el Proceso de Falla

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas.

Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, deben adaptarse^a a las condiciones verdaderas de los movimientos.

En este orden de ideas se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a. Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- b. Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c. La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d. La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

Procesos en la Etapa de Deterioro

El deterioro, con el tiempo puede dar lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización. Al deterioro, sin embargo, se le da muy poca atención en el momento del diseño y el énfasis se dirige a evitar las fallas profundas, más que a evitar los fenómenos anteriores a la falla.

Cuando un talud se corta, para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado.

^a Como las propuestas por Varnes (1978), Hutchinson (1988).

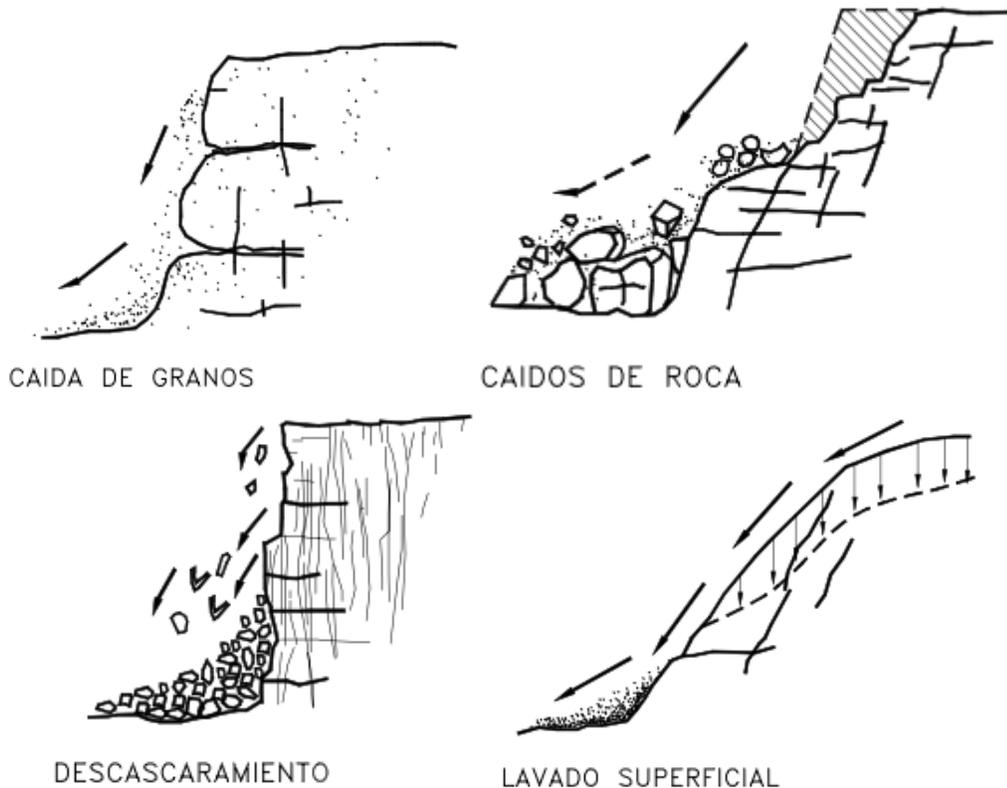
El deterioro comprende la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento o remoción. Este incluye la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. La iniciación y propagación de fracturas es de significancia particular en la destrucción de la superficie que puede conducir a caídos de roca o colapso del talud.

1. Caída de granos: Consiste en la caída de granos individuales de la masa de roca con desintegración física a granos como prerrequisito. Depende de la resistencia de las uniones intergranulares y las microgrietas relacionadas con los granos.

Causa un debilitamiento general del material de roca. No representa una amenaza en sí misma pero puede conducir a la pérdida de soporte y subsecuente colapso en pequeña escala. Los finos pueden sedimentarse y producir depósitos dentro de las estructuras de drenaje. Como solución se sugiere la limpieza de los residuos en el pie del talud y el cubrimiento con técnicas de bioingeniería concreto lanzado y refuerzo local, donde exista riesgo de colapso.

2. Descascaramiento: Caída de cáscaras de material de la masa de roca. Las cáscaras tienen forma de láminas con una dimensión significativamente menor a las otras dos dimensiones. Puede reflejar la litología, fisilidad, o puede reflejar la penetración de la meteorización. Los fragmentos en forma de láminas no son grandes y no constituyen una amenaza significativa, sin embargo, se produce un depósito de sedimentos en el pie del talud.

Como tratamiento se sugiere las técnicas de bioingeniería y concreto lanzado con pequeños anclajes y obras de concreto dental.



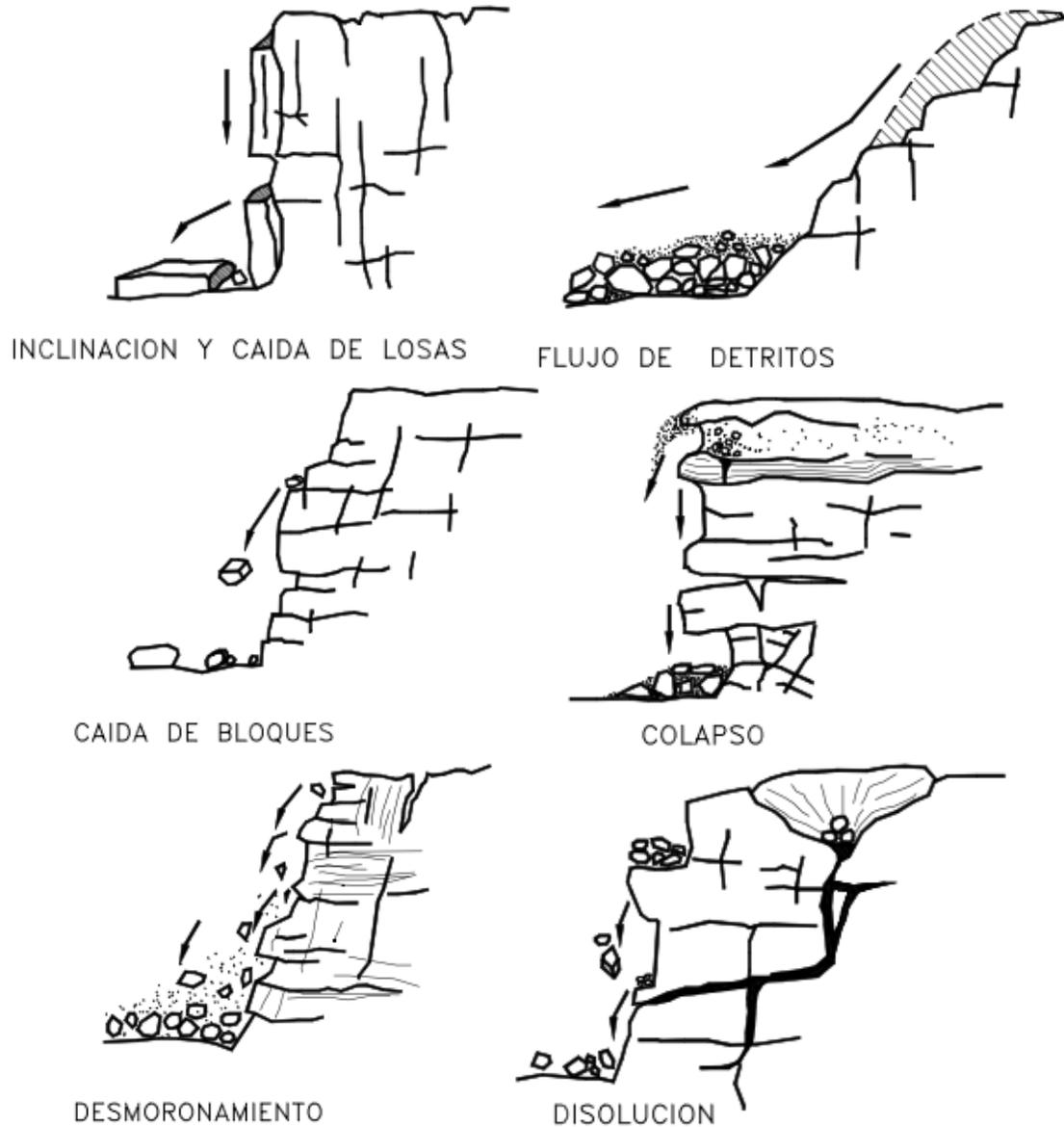


Figura 4. Procesos de deterioro en macizos rocosos^a.

3. Formación, inclinación y caída de losas de roca: Se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 mm, pudiendo existir deslizamiento y rotación o pandeo. Generalmente, las fracturas a tensión paralelas a la superficie del talud son prerequisite para su ocurrencia, seguidas por la pérdida de soporte.

Pueden caer grandes bloques de material y pueden significar una amenaza importante, causando daño a los canales de drenaje, cercas, pavimentos o puede crear taludes negativos. Las inclinaciones pueden considerarse como un proceso de deterioro o como un movimiento del talud.

Como tratamiento se sugiere la construcción de gradas o escaleras, bermas intermedias, refuerzo con pernos o estructuras de contención.

^a (Nicholson y Hencher - 1997)

4. Caídos de bloques: Pueden caer por gravedad, en forma ocasional bloques individuales de roca de cualquier dimensión, produciendo un deterioro en la estructura del talud.

La amenaza es difícil de predecir debido al gran rango de tamaños que pueden caer y especialmente los bloques grandes pueden causar daño estructural. En ocasiones bajan saltando y rodando y pueden caminar grandes distancias. Estos caídos corresponden a los caídos de roca en la clasificación general de movimientos en taludes.

Como tratamiento se sugiere la construcción de gradas, la utilización de mallas de acero, concreto lanzado o mampostería.

5. Desmoronamiento del talud: El desmoronamiento general del talud produce la caída de bloques de diversas dimensiones en forma semi-continua. Puede causar una amenaza significativa y crear grandes acumulaciones de detritos en el pie del talud.

Como solución se sugiere la construcción de gradas, colocación de mallas, trampas para detritos y cercas protectoras; también se pueden construir estructuras de submuración en mampostería o concreto lanzado. Los bloques grandes pueden requerir aseguramiento con pernos, anclajes o cables. Las áreas con desintegración severa pueden requerir soporte total o disminuir el ángulo de inclinación del talud.

6. Caídos de roca: La caída de muchos bloques de roca “en un solo evento” requiere que haya ocurrido un debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral. El volumen de la falla depende de los diversos planos de discontinuidad y puede cubrir en un solo momento varios planos (falla en escalera).

7. Lavado superficial o erosión: La erosión es el desprendimiento, transporte y depositación de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas. Las gotas de lluvia pueden contribuir al desprendimiento de las partículas o granos. Puede producir sedimentación de materiales en el pie del talud. Como solución se propone generalmente, la construcción de obras de drenaje y de bioingeniería, así como concreto dental, concreto lanzado o modificaciones de la topografía del talud. Los procesos de erosión son muy comunes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, especialmente, los compuestos por limos y arenas finas principalmente, cuando la cobertura vegetal ha sido removida. Se conocen varios tipos de erosión:

a. Erosión Laminar: El proceso de erosión laminar se inicia por el impacto de las gotas de agua lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía produciendo un lavado de la superficie del terreno como un todo, sin formar canales definidos. Al caer las gotas de lluvia levantan las partículas de suelo y las reparten sobre la superficie del terreno.

La velocidad de las gotas de lluvia puede alcanzar valores hasta de 10 metros por segundo y su efecto es muy grande sobre las superficies de talud expuestos y sin cobertura vegetal. El proceso es particularmente grave cuando la pendiente del talud es grande, como es el caso de los taludes de cortes en obras viales.

b. Erosión en surcos: Los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo del agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad generalmente, paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie de un talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo, formando surcos (rills). Los surcos forman una compleja microred de drenaje donde un surco al profundizarse va capturando los vecinos, formando surcos de mayor tamaño, los cuales a

su vez se profundizan o amplían formando cárcavas en forma de V que pueden transformarse a forma de U.

Inicialmente la cárcava se profundiza hasta alcanzar una superficie de equilibrio, la cual depende de las características geológicas e hidráulicas, para luego iniciar un proceso de avance lateral mediante deslizamientos de los taludes semiverticales producto de la erosión.

La localización en cuanto a su profundidad y la velocidad de avance del proceso es controlada por los fenómenos de tipo hidráulico y por la resistencia del material a la erosión. Los surcos de erosión pueden estabilizarse generalmente, con prácticas de agricultura.

c. Erosión en Cárcavas: Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección en V pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático se extiende lateralmente, tomando forma en U (Figura 1.5).

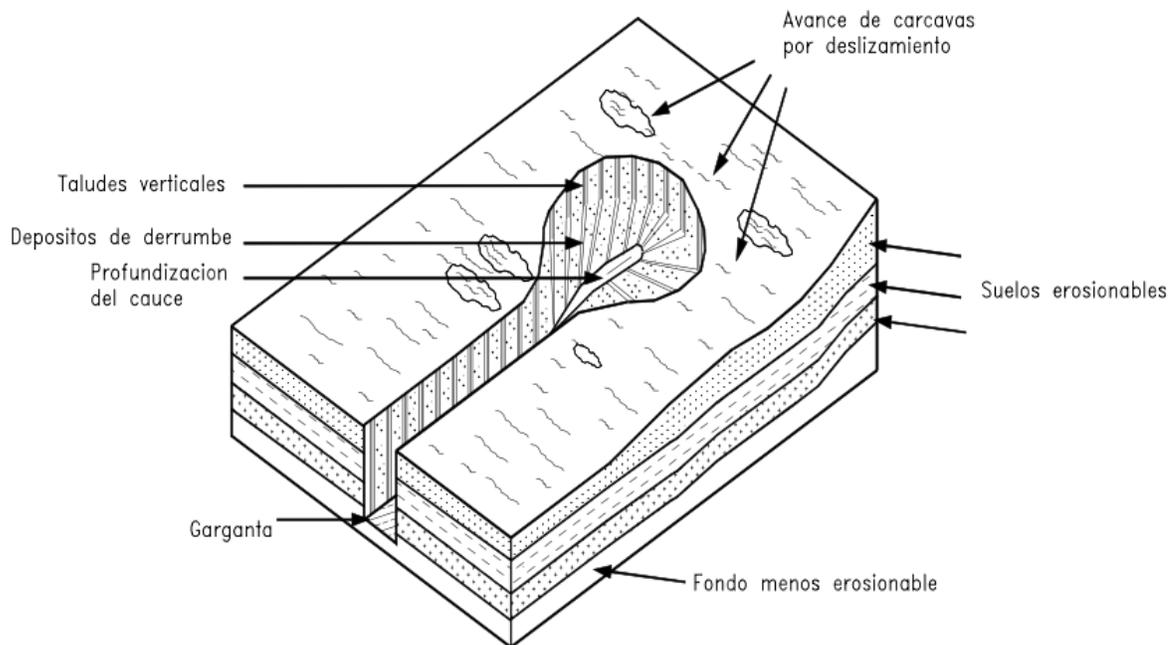


Figura 5. Esquema general de cárcava de erosión.

d. Erosión interna (Piping): El agua al fluir por ductos concentrados dentro del suelo produce erosión interna, la cual da origen a derrumbamientos o colapsos que pueden generar un hundimiento del terreno o la formación de una cárcava.

e. Erosión por afloramiento de agua: Un caso de erosión puede ocurrir en los sitios de afloramiento de agua, formando pequeñas cavernas y/o taludes negativos, los cuales a su vez pueden producir desprendimientos de masas de suelo.

8. Flujo de detritos: El desprendimiento y transporte de partículas gruesas y finas en una matriz de agua y granos en forma de flujo seco o saturado. Los flujos de detritos son

impredecibles, mueven grandes volúmenes de material y pueden crear una amenaza moderada a alta.

Se requiere un análisis especial de cada caso para su tratamiento. Generalmente no se les considera como procesos de deterioro sino como deslizamientos. Sin embargo, pueden generar grandes deslizamientos del macizo al producir cambios topográficos importantes.

9. Colapso: Bloques independientes de gran tamaño colapsan debido a la falta de soporte vertical. El tamaño de los bloques es de más de 500 mm e incluyen los taludes negativos (overhangs). Representa una escala grande de amenaza, de acuerdo a su tamaño y potencial de colapso. Las soluciones incluyen concreto dental, estructuras de refuerzo, submuración y otras estructuras de retención.

10. Disolución: La disolución de materiales solubles en agua que puede ser acelerado por las condiciones locales, especialmente la presencia de aguas agresivas. Puede reducir cavidades internas que podrían colapsar o formar cárcavas kársticas. Como tratamiento se sugiere la inyección o relleno de las cavidades o la construcción de estructuras de puente.

11. Expansión y contracción: En los suelos arcillosos se producen cambios de volumen por cambios de humedad asociados con el potencial de succión del material. Estas expansiones y contracciones producen agrietamientos y cambios en la estructura del suelo generalmente, con pérdida de la resistencia al cortante.

Se puede disminuir evitando los cambios de humedad o disminuyendo el potencial de expansión utilizando procedimientos físicos y químicos como es la adición de cal.

12. Agrietamiento cosísmico: Los eventos sísmicos pueden producir agrietamientos especialmente en los materiales rígidos y frágiles. Los agrietamientos cosísmicos debilitan la masa de talud y generan superficies preferenciales de falla. El agrietamiento cosísmico es menor cuando existe buen refuerzo subsuperficial con raíces de la cobertura vegetal.

13. Deformaciones por concentración de esfuerzos y fatiga: Los materiales al estar sometidos a esfuerzos de compresión o cortante sufren deformaciones, las cuales aumentan con el tiempo en una especie de fatiga de los materiales de suelo o roca. Estas deformaciones se pueden evitar disminuyendo los esfuerzos sobre el suelo, construyendo estructuras de contención o refuerzo.

14. Agrietamiento por tensión: La mayoría de los suelos poseen muy baja resistencia a la tensión y la generación de esfuerzos relativamente pequeños, (especialmente arriba de la cabeza de los taludes y laderas), puede producir grietas de tensión, las cuales facilitan la infiltración de agua y debilitan la estructura de la masa de suelo permitiendo la formación de superficies de falla.

Clasificación de los Movimientos en Masa

Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto^a el cual tipifica los principales tipos de movimiento. Para el propósito del presente texto se presentan algunas observaciones a los procesos de movimiento identificados. Algunos de estos movimientos están incluidos en la clasificación de los procesos de deterioro previos a un deslizamiento y es difícil identificar cuándo son procesos de deterioro y cuándo son componentes principales del movimiento del talud.

^a Originalmente por Varnes (1978)

1. **Caído:** En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y descende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando. (Figuras 6 a 8).

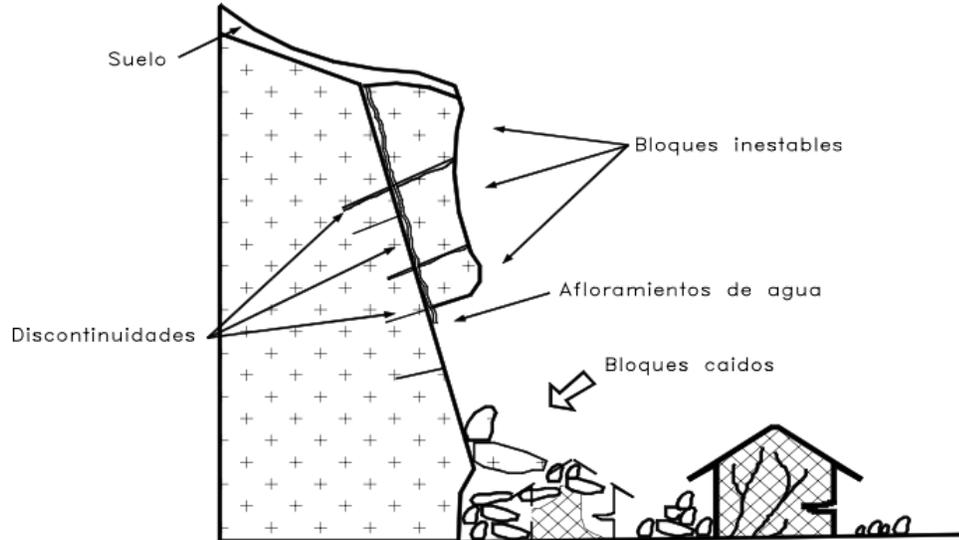


Figura 6. Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada.

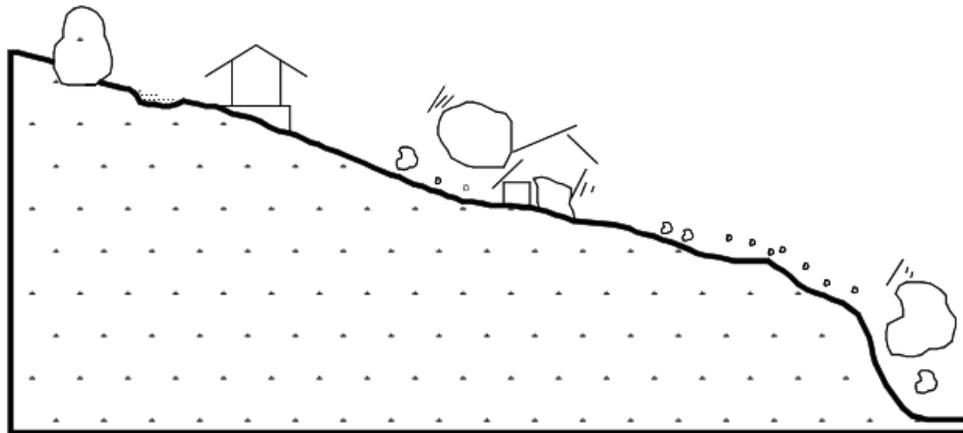


Figura 7. Caídos de bloques rodando.

El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material. La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar.

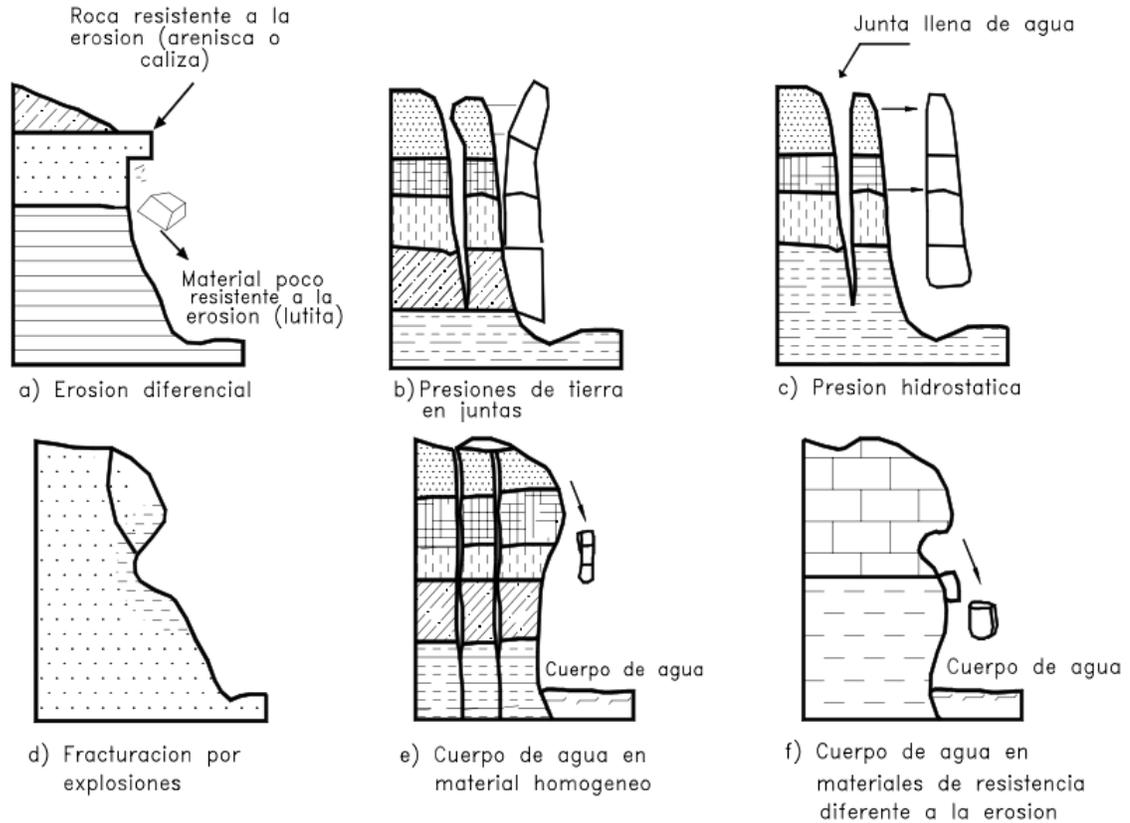


Figura 8. Algunos mecanismos de falla de caídos.

Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas (Figura 9).

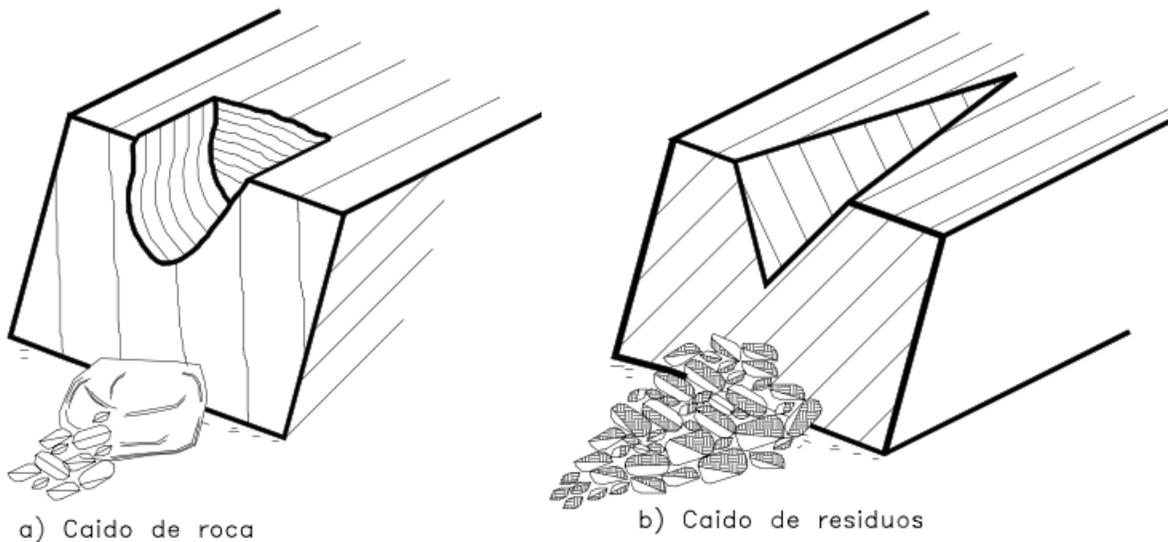


Figura 9. Esquema de caídos de roca y residuos.

2. Inclinación o volteo: Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas (Figura 10).

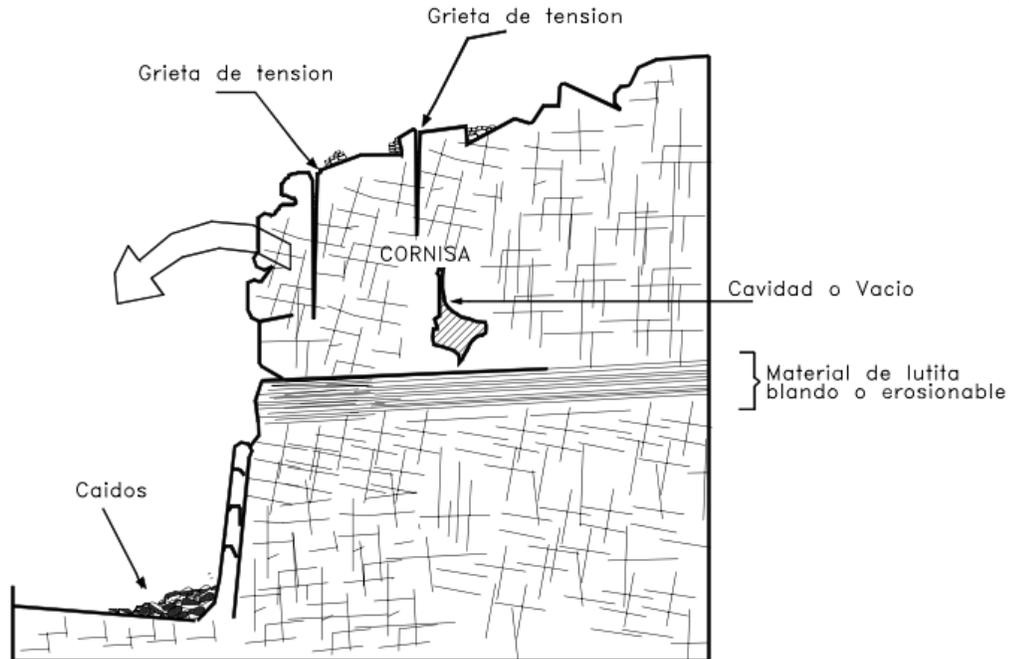


Figura 10. Volteo o inclinación en materiales residuales.

Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos. Dependiendo de las características geométricas y de estructura geológica, la inclinación puede o no terminar en caídos o en derrumbes (Figuras 11 y 12). Las inclinaciones pueden variar de extremadamente lentas a extremadamente rápidas. Las características de la estructura de la formación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación.

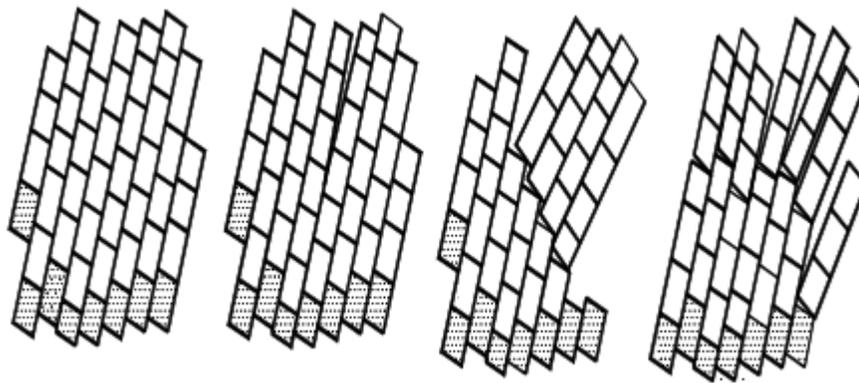


Figura 11. Proceso de falla al volteo.



Figura 12 El volteo puede generar un desmoronamiento del talud o falla en escalera.

3. Reptación: La reptación consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno (Figura 13). Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados. La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos.

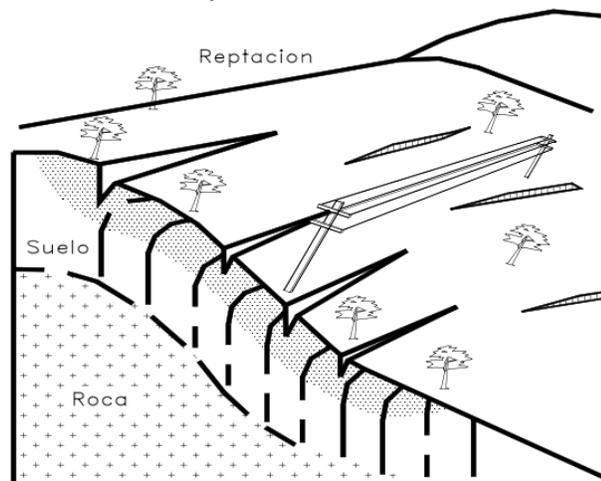


Figura 13. Esquema de un proceso de reptación.

4. Deslizamiento: Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada (Figura 14). El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos

naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

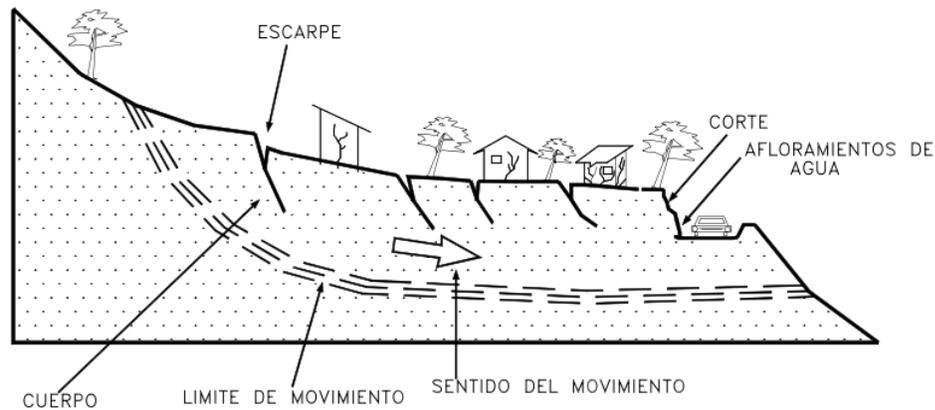
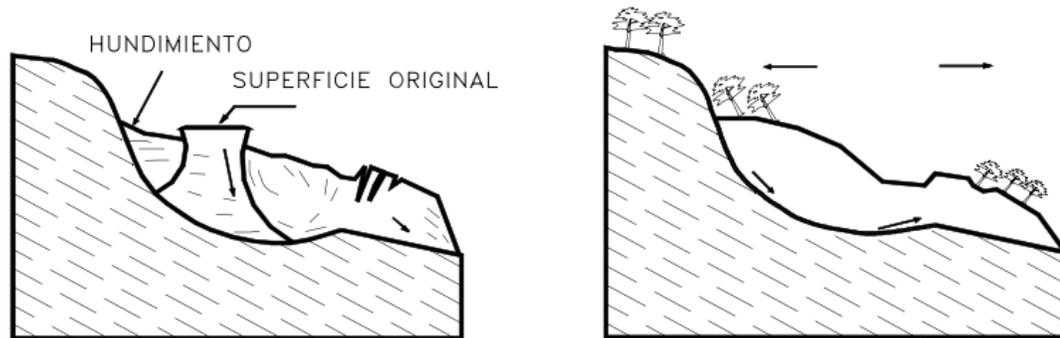


Figura 14. Deslizamientos en suelos blandos.

Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y translacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

a. Deslizamiento Rotacional: En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento (Figura 15).



a) MOVIMIENTO DE LAS MASAS DE TIERRA b) ORIENTACION DE LOS ARBOLES

Figura 15 Deslizamiento rotacional típico.

Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.

El movimiento aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semi-vertical y tiene muy poca rotación, sin embargo se puede observar que generalmente, la superficie

original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.

Los deslizamientos rotacionales^a en suelos generalmente tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33.

Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad (Figura 16).

Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura.

En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; Sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos.

Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes.

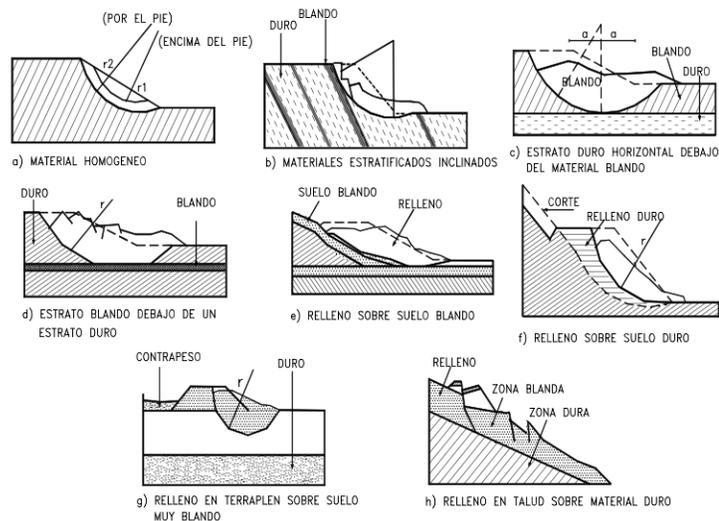


Figura 16. Efectos de la estructura en la formación de deslizamientos a rotación.

b. Deslizamiento de traslación: En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 17). Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación D de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

^a Skempton y Hutchinson 1969

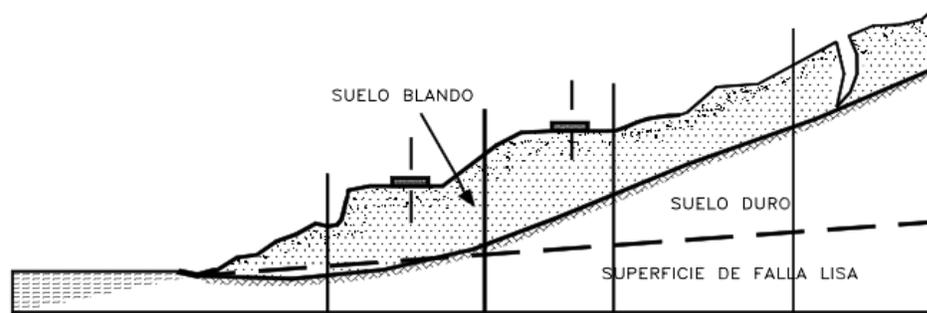


Figura 17. Deslizamiento de traslación.

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de autoestabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

5. Esparcimiento lateral: En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y traslación sino también de flujo, (Figura 18). Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar. La rata de movimiento es por lo general extremadamente lenta. Los esparcimientos laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forman en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remodelarse.

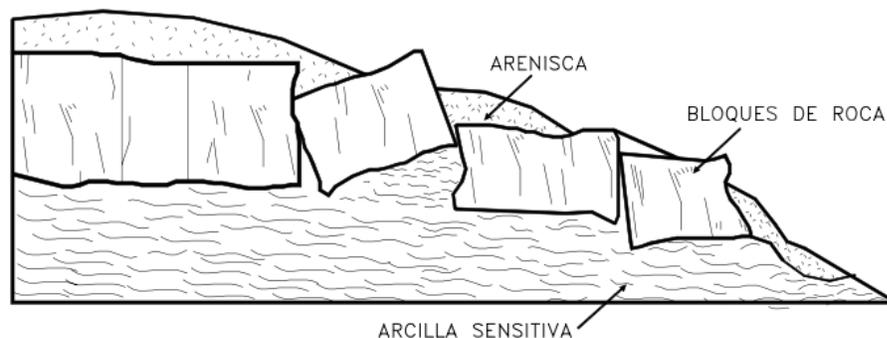


Figura 18. Esquema de un esparcimiento lateral

La falla es generalmente progresiva, o sea, que se inicia en un área local y se extiende. Los esparcimientos laterales son muy comunes en sedimentos glaciales y marinos pero no los son en zonas de suelos tropicales residuales. Se deben distinguir dos tipos así:

a. Movimientos distribuidos en una extensión pero sin una superficie basal bien definida de corte o de flujo plástico. Esto ocurre predominantemente en rocas, especialmente en las crestas de serranías. La mecánica de este movimiento no es bien conocida.

b. Movimientos que envuelven fracturas y extensión de roca o suelo, debido a licuación o flujo plástico del material subyacente. Las capas superiores pueden hundirse, trasladarse, rotarse, desintegrarse o pueden licuarse y fluir.

6. Flujo: En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos (Figura 19), así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.

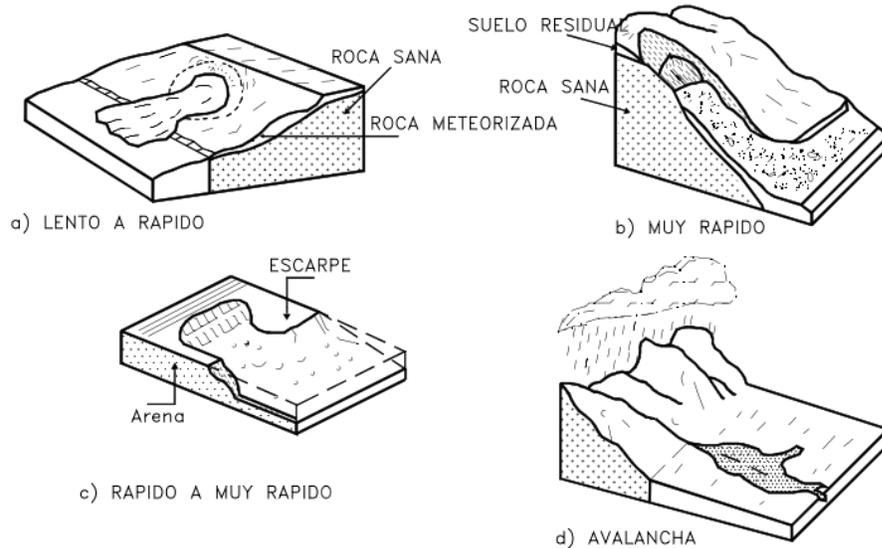


Figura 19. Flujos de diferentes velocidades.

Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo.

Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados. Recientemente se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de los flujos simultáneamente en sitios diferentes, dentro de una misma formación en el momento de una determinada lluvia de gran intensidad o de un evento sísmico.

a. Flujo en roca: Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación.

Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización poco profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte. Las pendientes de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°).

Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida.

b. Flujo de residuos (Detritos): Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos. Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea^a.

Los daños causados por los flujos de detritos abarcan áreas relativamente grandes. El flujo típico de detritos es una honda larga de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que se mueve en forma constante a través de un canal con algunas ondas menores superimpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo. Cuando el canal es más pequeño que el flujo, se forman ondas horizontales o depósitos laterales a los lados del canal.

c. Flujo de suelo: Los flujos de suelo también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.

d. Flujos de lodo: Dentro de los flujos de tierra están los “flujos de lodo”, en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente una zona de acumulación. El origen consiste en una serie de escarpes de falla o deslizamientos de rotación o translación, el camino o canal es generalmente un área estrecha, recta o una serie de canales a través del cual fluye el material viscoso, el ancho, profundidad y pendiente del camino del flujo varía de acuerdo a las condiciones topográficas y morfológicas.

Caracterización Científico

La velocidad de movimiento puede ser el mejor parámetro para describir el potencial de daño de un deslizamiento, sin embargo es muy difícil de predecir e incluso medir. Se han utilizado la velocidad^b de movimiento como variable descriptiva de la magnitud de un deslizamiento de acuerdo con la Figura 20 a 23, sin embargo, estos valores deben ser utilizados sólo como indicativos del nivel potencial de daño^c.

^a Collins y Znidarcic, 1997

^b Cruden y Varnes (1996)

^c Rodríguez y Jiménez, 2009

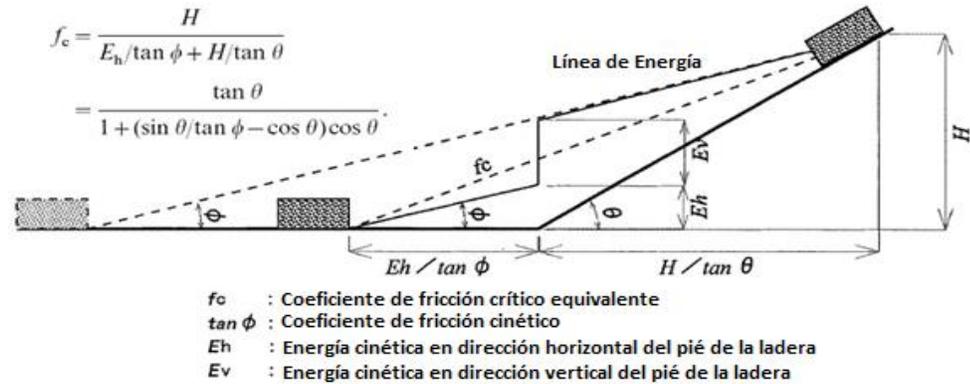


Figura 20. Determinación de la distancia de viaje a partir de modelación cinemática del movimiento^a.

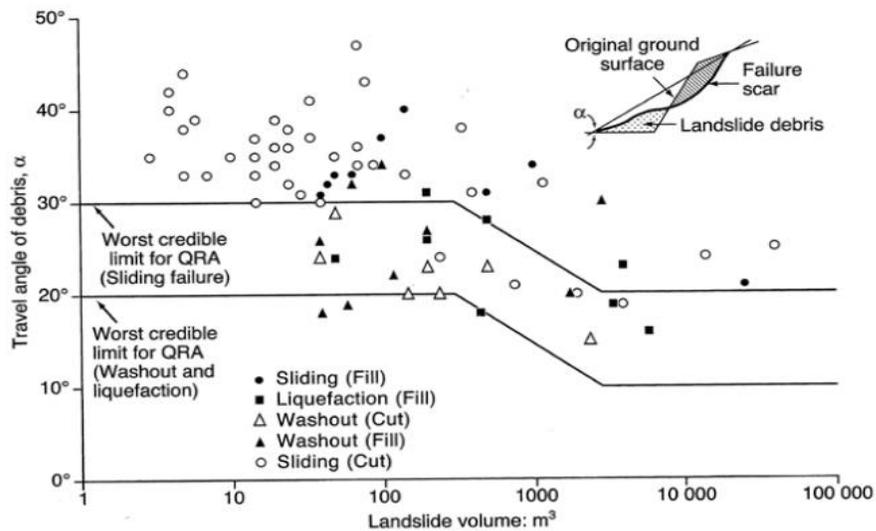


Figura 21. Relación entre el volumen deslizado y la distancia de viaje de deslizamientos^b.

Clase de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Velocidad Típica	Probable Importancia Destructiva
7	Extremadamente rápido			Catástrofe de mayor violencia, los edificios expuestos son totalmente destruidos por el impacto del material desplazado, muchas muertes.
6	Muy rápido	5×10^3	5 m/s	Algunas pérdidas de vidas humanas; velocidad demasiado grande, destrucción importante.
5	Rápido	5×10^1	3 m/min	Evacuación es posible; estructuras, bienes y equipos son destruidos.
4	Moderado	5×10^{-1}	1.8 m/hr	Algunas estructuras pueden mantenerse, si se encuentran a corta distancia frente a la masa desplazada, las estructuras localizadas en la masa desplazada son extensamente dañadas
3	Lento	5×10^{-3}	13 m/mes	Correctivos pueden llevarse a cabo durante el movimiento, algunas estructuras se puede mantener con trabajos frecuentes, si el movimiento total no es grande durante fase de aceleración.
2	Muy lento	5×10^{-5}	1.6 m/año	Algunas estructuras permanentes sin daños por el movimiento, si hay grietas se pueden reparar.
1	Extremadamente lento	5×10^{-7}	15 mm/año	Imperceptible sin instrumentación

Figura 22. Escala de velocidad (Cruden y Varnes, 1996; AGS, 2000; Lee y Jones, 2004)

^a Okura et al., 2000

^b Ho et al., 1996, Lee y Jones, 2004



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa

5.1

Deslizamiento de Tierra por Casas Dañadas al Sur de Tegucigalpa, Honduras



RESULTADOS

OBSERVACIÓN No.1. DESLIZAMIENTO DE TIERRA Y CASAS DAÑADAS AL SUR DE TEGUCIGALPA

Kiyoharu Hirota^a
 Luís René Eveline^b
 José Fernando Paz^c
 Guillermo López^d

Introducción: observación del deslizamiento de tierra y casas dañadas al sur de Tegucigalpa el 3 de noviembre de 2011, punto de partida para iniciar investigación por parte del equipo de la UPI.

Estado del suelo y casas: Este sitio está al sur del Aeropuerto Internacional Toncontín.



Figura 23 El sitio del deslizamiento de la tierra.

- a) El fenómeno de deslizamientos de tierra. Hay muchas grietas en el sitio del deslizamiento de la tierra (Figura 24).



Figura 24. Izquierda: grietas, derecha: agrandamiento de la grieta

^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: leveline@upi.edu.hn

^c Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: jose.paz@upi.edu.hn

^d Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: guillermo.lopez@upi.edu.hn



Figura 25. La grieta cerca de la corona del deslizamiento



Figura 26 la grieta (prolongación de Figura 25)



Figura 27. Las grietas sobre el piso en el cuerpo principal

- b) El fenómeno del hundimiento por migración de suelos finos al interior de la formación geológica. Se ha abierto una grieta en el piso de la casa (Figura 28). Eso situación es fácil para la masa transportada en el futuro.



Figura 28. La grieta del piso de la casa (fuera del cuerpo de deslizamiento principal)

Mecanismo: El mecanismo del deslizamiento de la tierra tiene las siguientes condiciones:

- a) **Geología:** La geología se caracteriza por Tufa o ceniza volcánica, se manifiestan grietas verticales paralelas mutuamente en la Tufa (Figura 29 y 30). La capa vegetal se forma con grava, arena y limo después de la erosión eólica de la Tufa.



Figura 29. Geología después de conformar la calle.



Figura 30. Las grietas verticales paralelas mutuamente.

- b) **Grieta:** Las grietas verticales se extienden en los taludes de la loma. Tienen los elementos heterogéneos de 1-2 cm (a la derecha de Figura 29).
- c) **Agua subterránea:** Hay agua de manantial cerca de la corona y de la escarpa del cuerpo principal (Figura 31).



Figura 31. Un punto de las aguas de manantial

En el sitio del deslizamiento del suelo, la masa se divide en tres partes (Figura 32): parte A tiene poca profundidad, parte B es más profunda por las condiciones de la corona y parte C es poco profundo porque el dedo del cuerpo se elevaba.

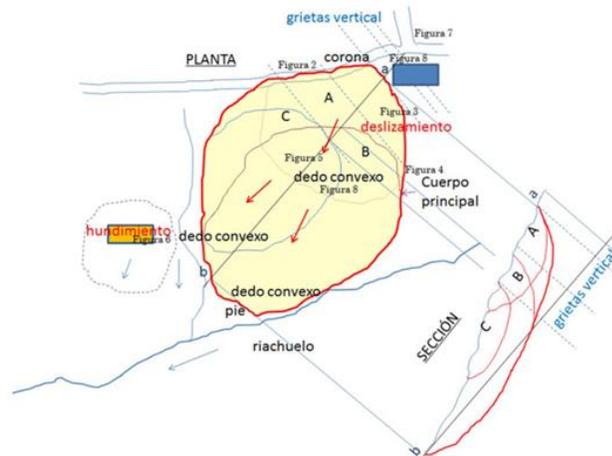


Figura 32. La sinopsis del deslizamiento de tierra

Medidas: debido a la acción del agua subterránea en el sitio las medidas para mitigar el impacto del deslizamiento de la tierra son las siguientes:

- a) Obra de pilotes de concreto
- b) La obra del refuerzo
- c) La obra del terraplén

El cesto de la red metálica con piedras o gaviones (deslizamiento de tierra abajo)

Conclusión

- a) **Mecanismo:** En el sitio del deslizamiento, el suelo debido la masa transportada se divide en tres partes, como mínimo. Las causas principalmente son las grietas vertical paralelas a la Tufa y agua.

Acciones a futuro:

- adicional perforación para saber la superficie de rotura o falla.
- Dibujo detallado del deslizamiento.
- Consideración para las medidas de mitigación.

Recomendación: Se requiere llevar a cabo estas medidas y definir si el terreno puede ser usado para reconstruir las casas.



Universidad Politécnica de Ingeniería

Revista Técnico Científica

MI MILIMETRO

Órgano Oficial de Publicaciones de la UPI



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



5.2

Deslizamiento de Tierra en la Colonia Campo Cielo en Distrito Central, Honduras



OBSERVACIÓN No.2: DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LA COLONIA CAMPO CIELO DE DISTRITO CENTAL

Kiyoharu Hirota^a
Rafael Rivera^b
Nelrid Godoy^c

Introducción: Este deslizamiento de tierra ubicado en la colonia Campo Cielo de Tegucigalpa fue identificado el 14 de noviembre de 2011 y es la base para la investigación por parte del equipo de la UPI y AMDC.

Estado del suelo y casas: Este sitio está en el Comayagüela ciudad gemela de Tegucigalpa (Figura 33).



Figura 33. El sitio de deslizamiento de tierra en Campo Cielo

- a) **Vista completa del Campo Cielo:** Campo Cielo está sobre la colina cerca del deslizamiento de tierra del Berrinche (Figura 34).



Figura 34. La vista de Campo Cielo

^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón - JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo, Alcaldía Municipal del Distrito Central Teléfono: (504) 2222-5117. Correo electrónico: aer@lacapitaldehonduras.hn

^c Tegucigalpa, Honduras. Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo, Alcaldía Municipal del Distrito Central Teléfono: (504) 2222-5117. Correo electrónico: aer@lacapitaldehonduras.hn

La casa presenta inestabilidad ubicada sobre una suave colina en el filo del acantilado (Figura 34).

- b) El fenómeno se trata de un alud de fango y piedras. El sitio en el que está la casa muestra un proceso continuo de erosión por el precipicio (Figura 34). Hay un alud de fango y piedras en el sitio con tierra húmeda. Las aguas subterráneas están en la parte superior se infiltran y bajan hasta el sitio.



Figura 35. El derrumbamiento de suelo

- c) El fenómeno de deslizamientos de tierra cerca de la existe un alud de fango y piedra el lado sur de la casa (Figuras 36 y 37-A).



Figura 36. Una casa del precipicio

Existe un pluviómetro con un pilote sobre la tierra (Figura 37-B).



Figura 37. Daño alrededor de la casa

- d) Estado del suelo con las grietas: Hay muchas grietas cerca de la corona del deslizamiento de tierra (Figuras 38 y 39).



Figura 38. Las grietas de la calle

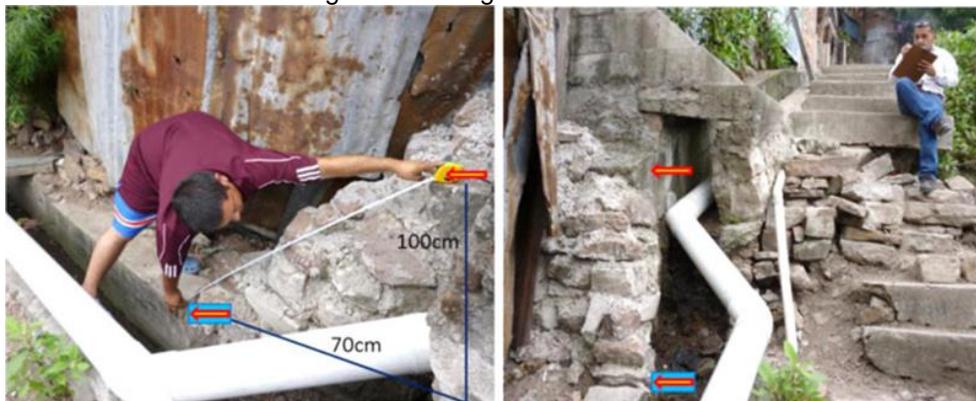


Figura 39. Movimiento de tierra

El canal de aguas se deformó por el empuje producido por los movimientos continuos del suelo (Figura 40). Los movimientos del suelo tienen poca profundidad.



Figura 40. La destrucción del canal

Mecanismo

- Geología:** La formación geológica está formada por Tufo, Brecha con Tufo y Rhyolite, sus juntas tienen en sus caras las direcciones de N39W60S, N15W65S y N70E42S. Las juntas se convierten en caras discontinuas de lados del deslizamiento. La dirección de N70E42S está coincidiendo con la dirección del Deslizamiento del Berrinche. Pensamos que las direcciones afectan con las aguas al movimiento de la tierra.
- Lluvia y aguas subterráneas:** El sitio está inestable del lado de la red de la cuenca hidráulica (Figura 41).

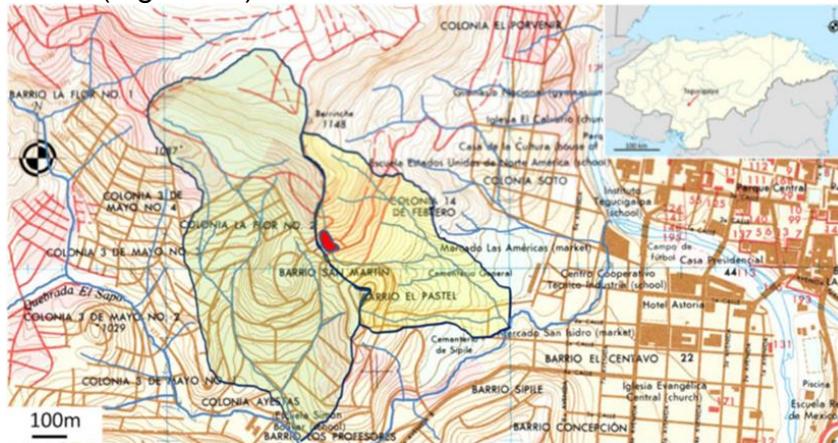


Figura 41. Las cuencas receptoras y las redes hidráulicas contienen el alud de fango y piedras (color de rojo).



Figura 42. El alud de fango y piedras en el Campo Cielo (por la fotografía aérea)
El alud de fango y piedras está el lado del deslizamiento de tierra que se divide en tres partes al menos (Figura 43).

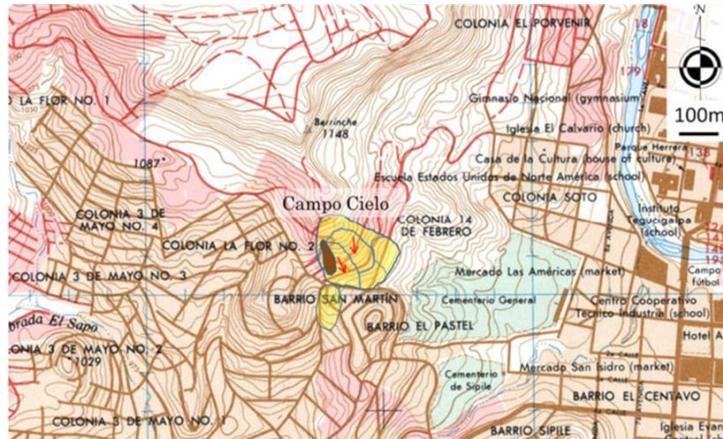


Figura 43. La sinopsis del deslizamiento de tierra (color marrón: alud de fango y piedras, amarillo: deslizamientos)

Medidas y acciones a futuro.

- a) Medidas: El sitio cerca de la corona es frágil por el derrumbamiento de tierras, necesita las medidas la prevención de la erosión y por descenso de las aguas subterráneas de tierra.
- b) Acciones a futuro: El Campo Cielo necesita la medición de la planimetría en escala 1:500. Pueden describir las grietas y la transformación sobre la tierra en el sitio. Resultado de la investigación con la planimetría a escala 1:500, se pueden comprender la envergadura del deslizamiento de tierra. Todo esto se relaciona para hacer un plan de otras investigaciones y las medidas de control.

Palabras de agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento para Marla Puerto (Gerente Prevención y Mitigación de la Alcaldía Municipal D.C.) por ayudar sobre la observación del deslizamiento de tierra.



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa

5.3

Deslizamiento de Tierra en la Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa, Honduras.



OBSERVACIÓN No. 3: DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LA COLONIA MIRAFLORES SUR EN TEGUCIGALPA

Kiyoharu Hirota^a
Francisco Bustamante^b
David Guillen^c
Nelrid Godoy^d

Introducción: El deslizamiento de tierra por el Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa el 15 de noviembre de 2011, el cual es la base o punto de partida para iniciar su investigación por parte del equipo de la UPI y AMDC.

Estado del suelo y casas: Este sitio cercano a el RIO JACALEAPA al oeste del INFOP (Figura 44 y Figura 45).

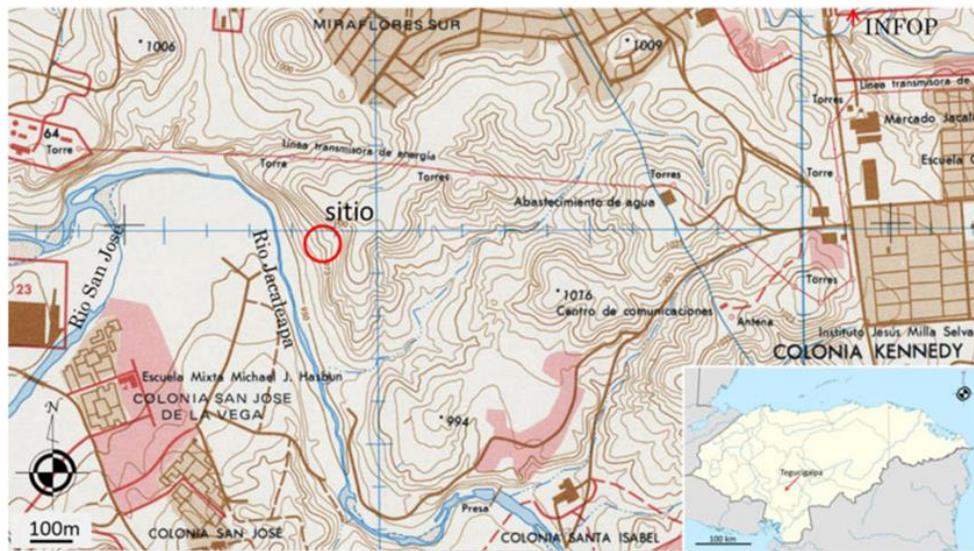


Figura 44. El sitio de deslizamiento de la tierra (Colonia Miraflores)

^a Tegucigalpa, Honduras. Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Teléfono: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo, Alcaldía Municipal del Distrito Central Teléfono: (504) 2222-5117. Correo electrónico: aer@lacapitaldehonduras.hn

^c Tegucigalpa, Honduras. Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo, Alcaldía Municipal del Distrito Central Teléfono: (504) 2222-5117. Correo electrónico: aer@lacapitaldehonduras.hn

^d Tegucigalpa, Honduras. Unidad Municipal de Gestión Integral del Riesgo, Alcaldía Municipal del Distrito Central Teléfono: (504) 2222-5117. Correo electrónico: aer@lacapitaldehonduras.hn



Figura 45. El sitio de deslizamiento de la tierra (Colonia Miraflores Sur: por Google Earth el 10 de diciembre de 2010)

a) Los fenómenos del deslizamiento de tierra antes de este estudio. Sr. David Perdomo es propietario y víctima del desastre, del estado del suelo de su casa ha descrito lo siguiente:

- Invierno 2008, periodo: junio - noviembre
- Evento: tormenta 16 fecha octubre 2008
Agrietamiento de paredes y pisos de vivienda, no se presenta agrietamiento visible en zona de relleno adyacente a construcción.
- Periodo: agosto 2009 - marzo 2010
Se realiza trabajos de reparación de vivienda. –sustitución y compactación de relleno debajo de estructura 3 metros promedio, fundición de zapata corrida, reparación de pisos y paredes etc.

Se estabiliza estructura en verano.

- Invierno 2010 periodo junio-noviembre
- Evento: periodo intenso de precipitación

Inicia agrietamiento de relleno adyacente se manifiesta agrietamiento severo de la vivienda nuevamente, ver secuencia de fotos (Figuras 45-47), hasta un asentamiento diferencial de 2 metros en relleno y estructura.

- Invierno 2011 periodo junio-noviembre
- Evento: 2 de octubre 2011, intensas lluvias.

Asentamiento de 15 metros de profundidad del relleno y a lo largo de todo el bloque B de la colonia lomas de Miraflores sur (Figura 48).

En el sitio del deslizamiento de tierra, se hizo el relleno y terraplén después de edificar las casas del Colonia Miraflores Sur. El suelo de la calle tiene grietas (Figura 46 A y B).



Figura 46. El estado del suelo con grietas (A: septiembre de 2010, B: septiembre de 2010 después del A, por David Perdomo)



Figura 47. La destrucción de la casa (A: paisaje de la casa, B: agrandamiento después de A, en octubre de 2010, por David Perdomo)



Figura 48. Los estados del suelo con grietas (A : Octubre de 2010, B : 17 de octubre de 2010, C : Diciembre de 2010, D : Enero de 2011, por David Perdomo)



Figura 49. El derrumbamiento de tierras (A: paisaje del sitio, B: cerca de la casa fallada, en octubre de 2011, por David Perdomo)

b) **Los fenómenos del deslizamiento de tierra en este estudio.** El deslizamiento de tierra sobresale en la zona del Río Jacaleapa (Figura 49), y tiene las grietas de tracción visibles.



Figura 50. La vista completa del deslizamiento de tierra

Se ha desmoronado el relleno (Figura 51-A). El cimiento de la casa se asentó (Figura 51-B).



Figura 51. Los estados de casas destructivas

Factores del deslizamiento: Los factores que influyen en los deslizamiento de la tierra son: geología, relleno, deslizamiento de tierra antiguo, grietas, lluvia y las aguas.

a) **Geología:** La roca que aflora se caracteriza por limolita muy cerca del Río Jacaleapa (Figura 52) está formación se inclina aproximadamente 10° referente al plano del talud, lo que demuestra ser susceptible a deslizamientos. Sobre esta formación se levanta un estrato de 10.0 metros de escombros antiguos consolidados pero con presencia de deslizamientos en la cara del talud ofreciendo una continuidad inestable que avanza hacia adentro del mismo.



Figura 52. El precipicio de la roca (limolita: el grupo de Valle de Ángeles)

- b) **Relleno:** Se presenta alta inestabilidad en la cabeza del deslizamiento de tierra, fenómeno que no se identificó al momento de la construcción de las casas (Figura 53). Por tal motivo todo el relleno se ha convertido en factor altamente inestable y peligroso.



Figura 53. El estado del relleno con las grietas

- c) **Grieta:** Hay grietas al lado izquierdo del cuerpo del deslizamiento (Figuras 54-57) además las grietas del relleno.



Figura 54. El estado del relleno con la grieta



Figura 55. El estado de la tierra con la grieta



Figura 56. El estado de las grietas (C-E: 10 cm de ancho, 140 cm de profundidad)



Figura 57. El estado de la grieta en la pared

Hay grietas sobre el suelo del relleno (Figura 58).



Figura 58. El estado de las grietas en noviembre de 2011)

Mecanismo: Hay las grietas sobre el suelo en el deslizamientos de tierra en la Colonia Miraflores Sur (Figura 59).



Figura 59. La sinopsis del deslizamiento de tierra en la Colonia Miraflores Sur (por "Google Earth" el 10 de diciembre de 2010).

En el sitio del deslizamiento, posee una cuenca hídrica vecina con una área de 0.58 km^2 (1,160 metros x 500 metros, Figura 60). La cuenca hídrica está la fuente de suministro de las aguas generada en el invierno. El sitio tiene el factor topográfico del deslizamiento de tierra.



Figura 60. La red hídrica y la cuenca receptora cerca del deslizamiento de tierra (mapa de Tegucigalpa de 1984).

Las causas del desplazamiento de la masa tienen los siguientes factores:

- Geología es en esquisto que el talud de la capa inclinada hacia al Rio Jacaleapa,
- Detrás del deslizamiento de tierra, hay la cuenca hídrica receptora de 0.58 km² (1,160 metros x 500 metros),
- Hacen terraplenar la cabeza del deslizamiento.
- La lluvia torrencial y las aguas subterráneas ascendente.

Esto es muy importante para saber el mecanismo del deslizamiento que hace terraplenar la cabeza del deslizamiento.

Ensayo y Medidas

a) Ensayo: Para hacer las obras contra deslizamiento, necesitamos conocer la escala sobre el deslizamiento de tierra. Primero, hicimos las perforaciones en el sitio del deslizamiento de tierra (Figura 61). Después de la perforación del suelo, instalamos el aparato para medir el desplazamiento de tierra.

Hacemos los experimentos geo-físicos sobre el suelo, y el experimento dinámico sobre la muestra del barro, por ejemplo: el experimento de cortante del suelo del barro (la arcilla) del deslizamiento.

Los sondeos sd-1, sd-2 y sd-3 se requirieron para saber la escala sobre el deslizamiento de tierra. Los sondeos sd-4, sd-2 y sd-5 fueron para denotar el plano sobre la falla, por ejemplo: conocer la profundidad de pilotes para impedir el desplazamiento del suelo.

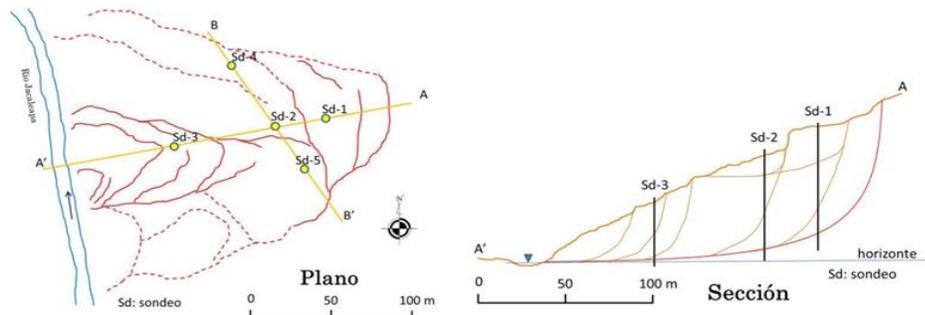


Figura 61. La sinopsis del deslizamiento de tierra en la Colonia Miraflores Sur.

b) **Medida:** Presentamos la sinopsis de las medidas así (Figura 62):



Figura 62. La sinopsis de las medidas de deslizamiento de tierra

- La obra de pilotes de tubo de acero
Disuasión contra al desplazamiento del cuerpo del deslizamiento de tierra.
- La obra del refuerzo
Las barras de acero.
- La obra del terraplén

El peso contra al desplazamiento del cuerpo y la prevención de la erosión del pie del deslizamiento de tierra. Construir gaviones sobre el pie del deslizamiento de tierra.

Se necesita conocer más sobre el deslizamiento de tierra antes de examinar medidas de control. Se dan una sinopsis de las obras sobre los deslizamientos de tierra (Figura 63).

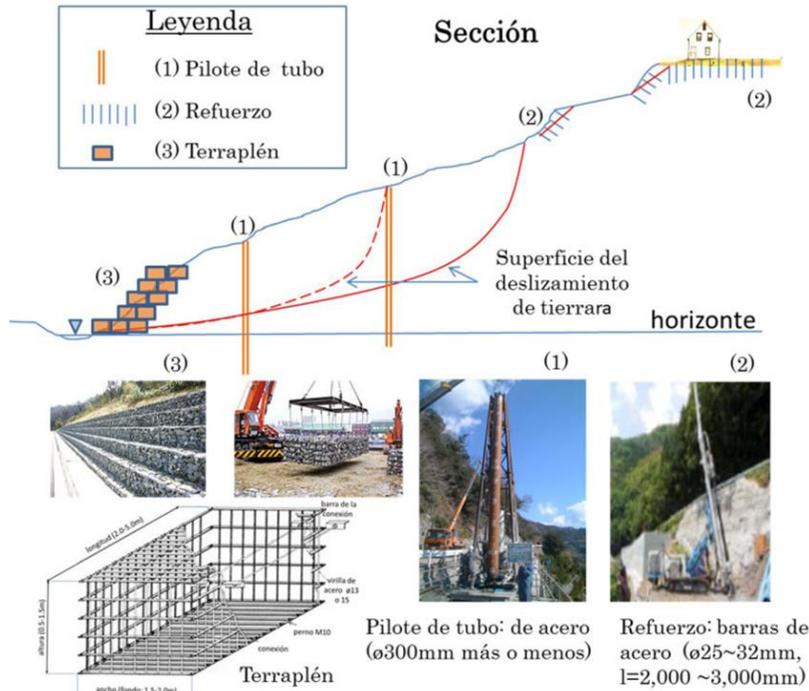


Figura 63. La sinopsis de las obras para frenar el deslizamiento de tierra

Necesitamos indicar los modelos de las obras para frenar el deslizamiento de tierra después de conocer sobre la dimensión del deslizamiento de tierra. Esto es fundamental que hacer el cálculo de la estabilidad del deslizamiento de tierra.

Conclusión:

- Estudiamos sobre el deslizamiento de tierra del sitio de la Colonia Miraflores Sur.
- El deslizamiento de tierra tiene aproximadamente 200 metros de longitud y 150 metros de anchura.
- Las causas del desplazamiento de la masa tienen son:
 - La geología es un esquisto en el talud de la capa que se inclina hacia al Rio Jacaleapa,
 - Detrás del deslizamiento de tierra, se encuentra la cuenca hídrica con una área de 0.58 km² (1,160 metros x 500 metros),
 - Hay mecanismo de transporte de la cabeza del deslizamiento, la lluvia torrencial y las aguas subterráneas con flujo descendente.
- Se necesita conocer más sobre el deslizamiento de tierra de la Colonia Miraflores Sur antes de determinar a detalle medidas de control.

Palabras de agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento a Marla Puerto (Gente Prevención y mitigación de Alcaldía Municipal D.C.) por ayudar sobre la observación del deslizamiento de tierra. Además de esto, estamos agradecido por la ayuda de David Perdomo por ofrecer la información sobre del movimiento de tierra en el sitio de la Colonia Miraflores Sur.



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



5.4

Deslizamiento de Tierra en la Colonia Altos de Loarque de Tegucigalpa, Honduras



OBSERVACIÓN No.4: DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LA COLONIA ALTOS DE LOARQUE DE TEGUCIGALPA

Kiyoharu Hirota^a
Luis René Eveline^b
Dany Aguilar^c
Luis Chávez^d
José Luis Hernández^e
José Eveline Funes^f

Introducción: Este es el informe sobre el deslizamiento de tierra en la Colonia Altos de Loarque, estudio realizado en los días 15, 16, 20 y 23 de diciembre de 2011, el cual es la base o punto de partida para iniciar la investigación por parte del equipo de la UPI.

Estado del suelo y de las casas: Este sitio está en la Colonia Altos de Loarque al sur del aeropuerto internacional Toncontín (Figura 64).

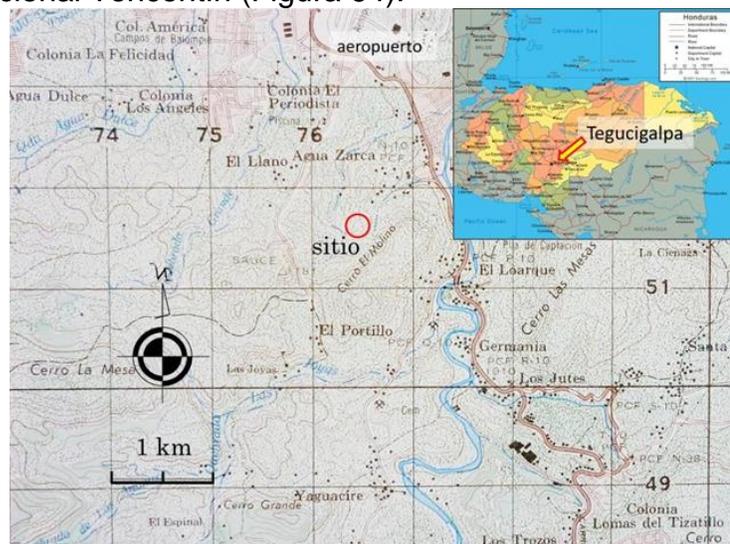


Figura 64. El sitio de la Colonia Altos de Loarque (○)

- a) **Geología:** El área del análisis del estudio localizada en el departamento de Francisco Morazán está compuesta estratigráficamente por suelos del terciario del periodo Cenozoico, conocidos como Grupo Padre Miguel (Tep y Tpm, Figura 65). El “Grupo Padre Miguel” es una secuencia gruesa de ignimbritas, cubre la mayoría del occidente de Honduras y descansan en una relación disconforme sobre la formación Matagalpa (según el informe del Ing. Alvarez, SOPTRAVI, 2012).

^a Tegucigalpa, Honduras. Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), Teléfono: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: leveline@upi.edu.hn

^c Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: dani.aguilar@upi.edu.hn

^d Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: Luis.chavez@upi.edu.hn

^e Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: jose.hernandez@upi.edu.hn

^f Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: jose.eveline@upi.edu.hn

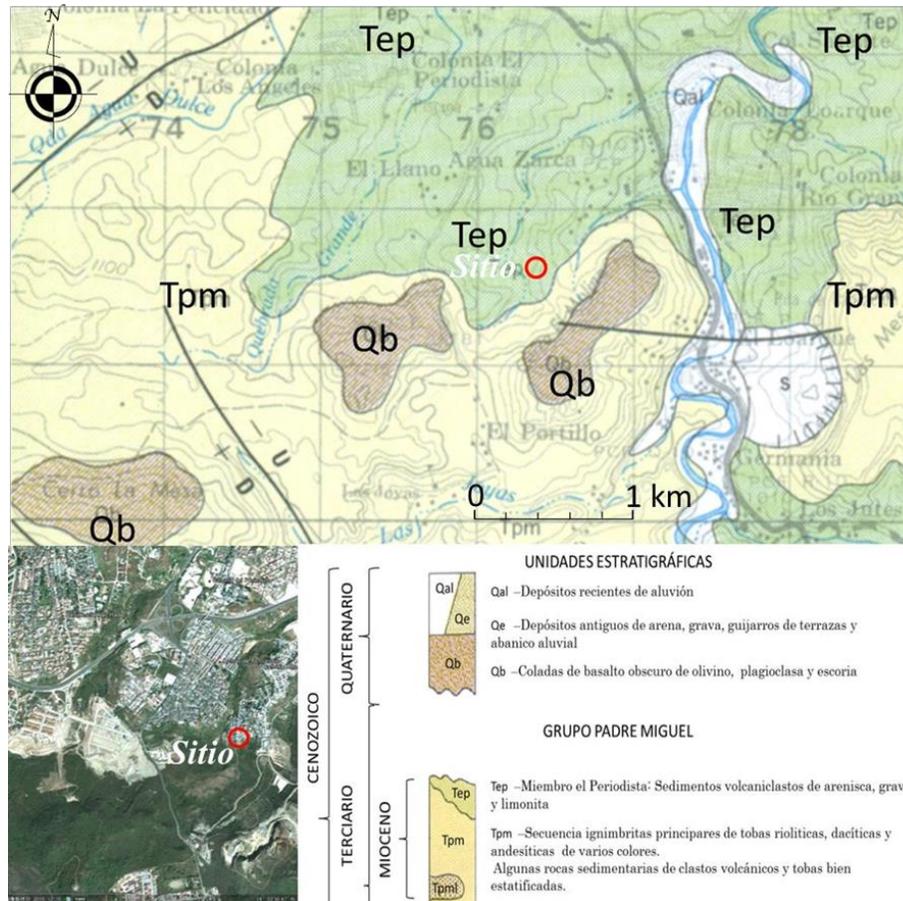


Figura 65. Geología alrededor del sitio (○), por Tegucigalpa del Mapa Geológico de Honduras.

- b) **Fenómeno:** Hay grietas sobre los pisos de las casas sobre el pavimento y en suelo. Cuando ocurrió el movimiento del terreno, estuvo lloviendo por una semana desde el 1 de octubre de 2011, adicionalmente existen antecedentes de problemas desde hace dos años antes que el deslizamiento ocurriera (según la correspondencia personal de Sr. José Mejía). Las casas sobre la pendiente sufren muchos destrozos (Figura 66).



Figura 66. La vista panorámica del deslizamiento.

Ensayo

- a) **Investigación:** Hicimos investigaciones sobre la superficie de la tierra en el sitio dañado. Hay muchas grietas sobre las superficies de los pisos de las casas y de la calle (Figuras 67-71). El desplazamiento de la cabeza del deslizamiento tiene diferencia de niveles (Figura 67-B y 67-D). En un aproximado de 2.5 metros de

altura. Las grietas de los pisos de las casas muestran la dirección de $N50^{\circ}O$ ($N50^{\circ}W$ de Figura 66), igual al comportamiento de las grietas de la calle (Figura 67).



Figura 67. Las destrucciones de las casas.

La Figura 68 representa la calle alrededor de la escarpa del deslizamiento de tierra. La calle se ha asentado aproximadamente 2 metros (Figura 68-D).



Figura 68. La cabeza del deslizamiento de tierra.

La Figura 69 representa la corona en la calle. El poste eléctrico se inclina a la dirección del movimiento del cuerpo del deslizamiento de tierra al sudoeste ($S55^{\circ}O$) con el ángulo de 78° grados horizontal (Figura 69-A).



Figura 69. La vista de la destrucción sobre la calle (por la cabeza del deslizamiento). La Figura 70 representa la grieta del lado del deslizamiento de tierra. La grieta continúa por detrás de la casa (Figura 70-A). Hay una falla cerca del lado del deslizamiento (Figura 70-B y 70-C: NS53°W).



Figura 70. Las grietas del lado del deslizamiento. La Figura 71 representa la grieta continua y el estado del agua manantial (Figuras 71-E y 71-F: están a la derecha de Figura 71-C).



Figura 71. Las grietas del deslizamiento. Los árboles se inclinan hacia abajo del pie del deslizamiento (Figura 72).



Figura 72. El pie del deslizamiento de tierra.

En el sitio, la dirección de la grieta ha recibido la influencia de la dirección de falla de roca. La geología del lugar se caracteriza por estar formada de toba o ceniza volcánica, la cual se manifiestan continuas grietas verticales paralelas en la toba (Figura 73). La capa vegetal se forma con grava, arena y limo después de la erosión eólica de la Toba.



Figura 73. Las grietas verticales paralelas mutuamente.

- b) Perforación: Se hicieron 4 perforaciones: No.1, No.2, No.3 y No.4 con profundidades aproximadas de 6.00 m, 7.90 m, 10.20 m y 4.20 m en el sitio (Figura 74).

Usamos la planta de la Figura 74 (también Figuras 78 y 82) que trazamos con el clinómetro.

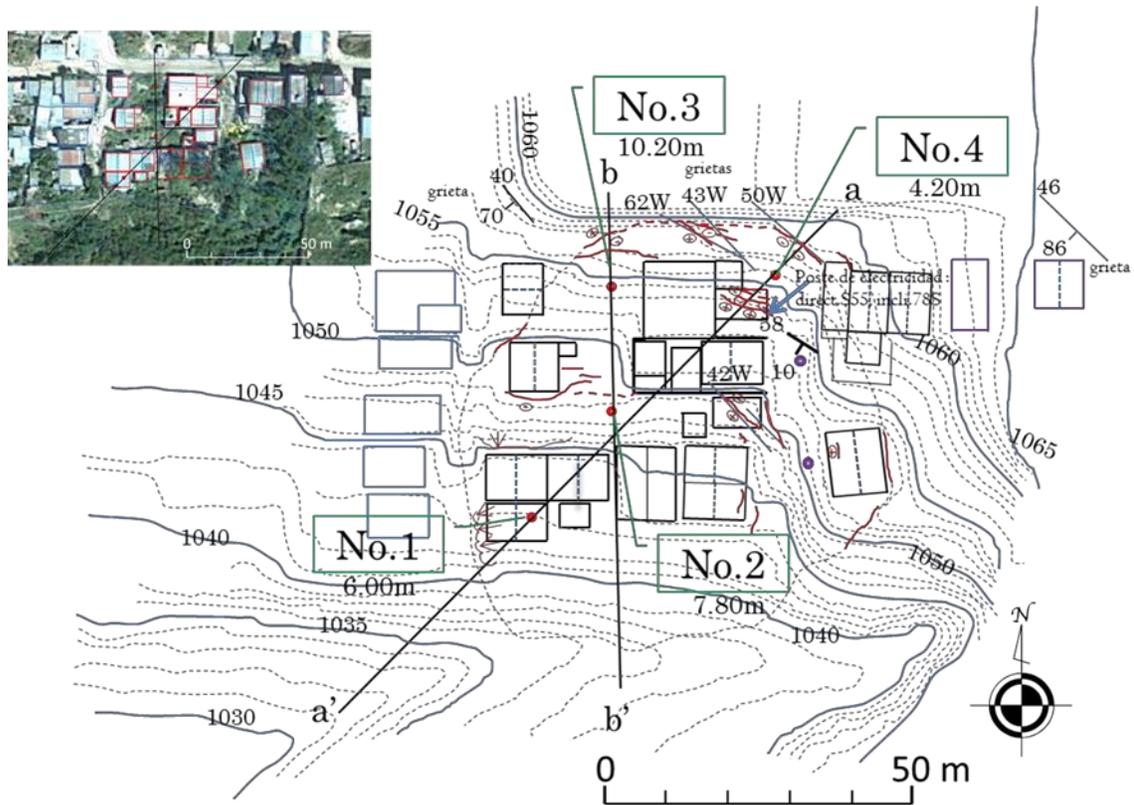


Figura 74. Posiciones de las perforaciones.

Los datos de SPT (Standard Penetration Test en inglés, Prueba de Penetración Estándar) de las perforaciones, descritos en las figuras Figura 75 y Figura 76. Las líneas cortas de SPT muestran las profundidades de tierra frágil (véase la Figura 75 con flechas).

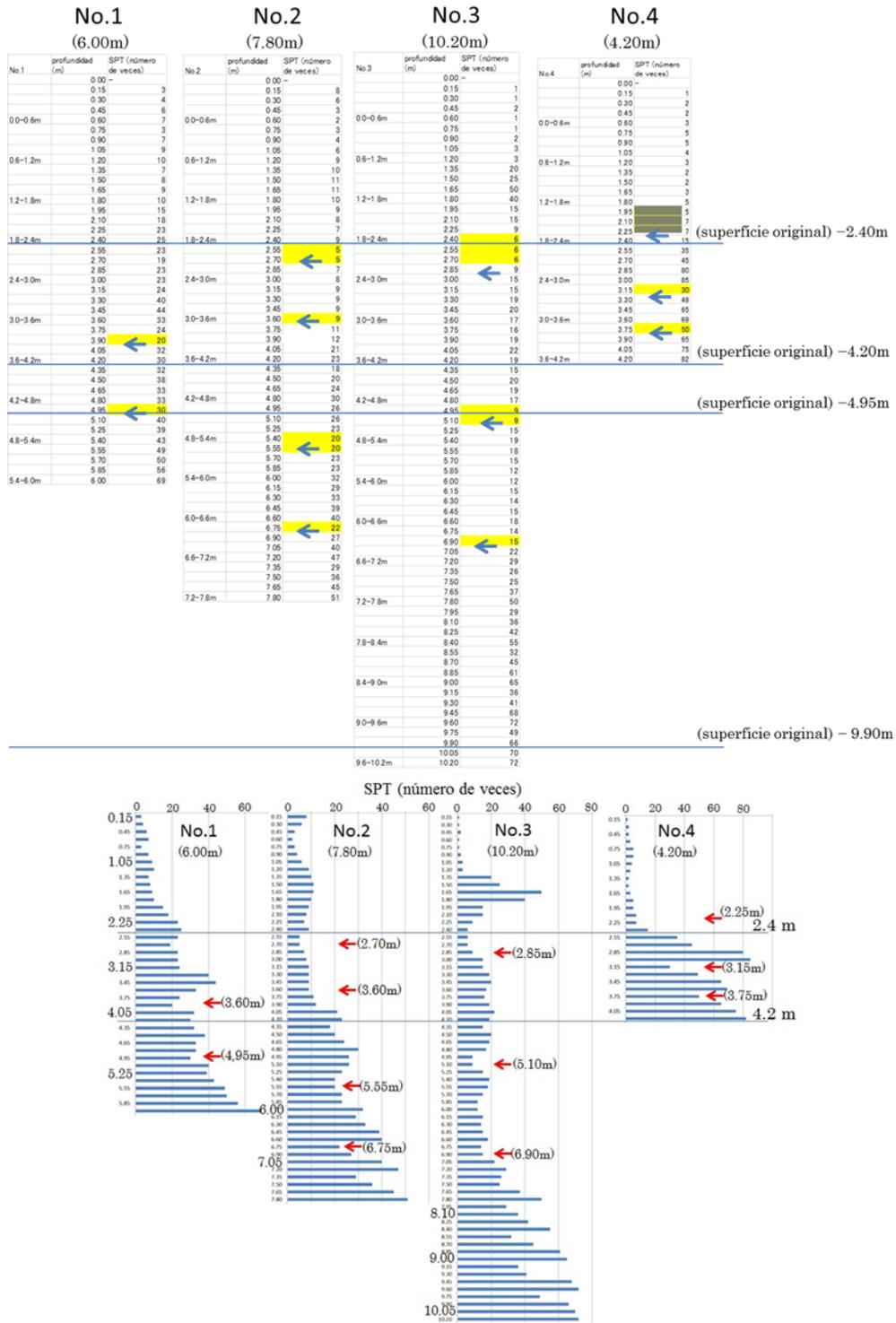


Figura 75. Datos de las perforaciones (por SOPTRAVI) y Gráficos de barras de SPT (flechas: cada profundidad de tierra frágil).

- c) **Calicatas:** Las calicatas son correspondientes a las posiciones de los sondeos No.1 y No.4. En las calicatas confirmamos los límites del suelo de la roca. La Figura 76 representa la capa interna de la calicata del sondeo No.4 cerca de la cabeza del deslizamiento. Los derrubios están sobre la roca como pómez. La cara de demarcación muestra la dirección de N86°O24°S.

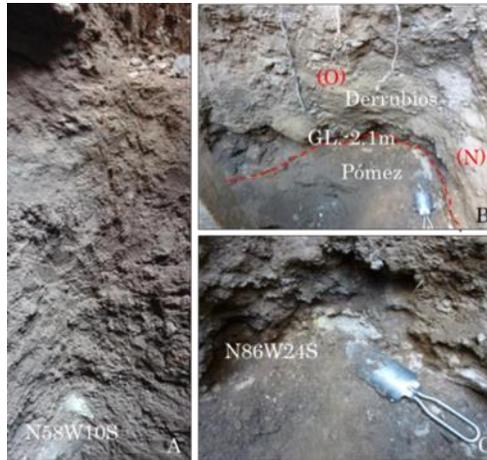


Figura 76. Calicata del sondeo No.4 (O: oeste, N: norte).

La Figura 77 representa la capa interna de la calicata del sondeo No.1 cerca del pie del deslizamiento. La capa vegetal tiene 40 centímetros de espesor. Las dos capas delgadas de la arcilla tienen profundidades de 3.20 y de 3.80 metros desde la superficie de la tierra.

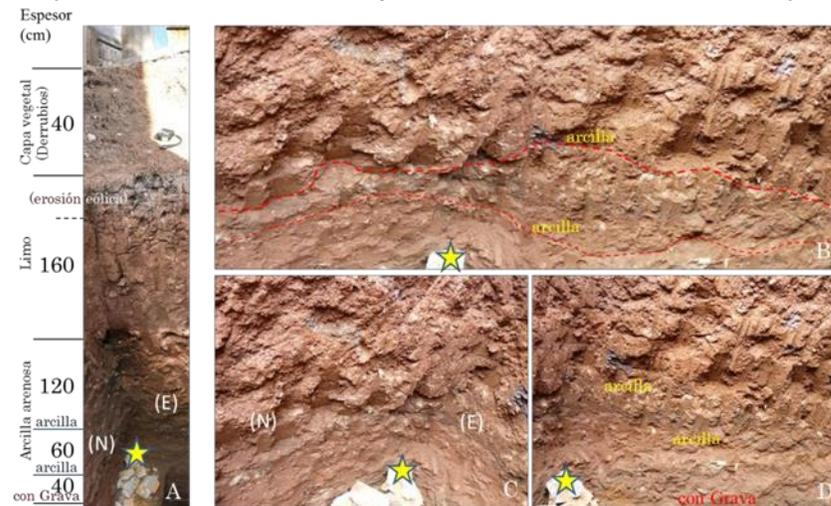


Figura 77. Calicata del sondeo No.1 (E: este, N: norte).

d) Experimento: Ordenamos los resultados de la investigación (Tabla 1). Los experimentos llevados a cabo fueron: el análisis de la granulometría, los límites de Atterberg y el contenido de humedad por SOPTRAVI.

N°	Profundidad [m]	ω [%]	Límites de Atterberg [%]		Tamaño de partículas [%]		
			LL	IP	<Filler	Arena	Gravilla<
1	0.0-0.6	37.0	69	39	76	15	9
	0.6-2.4	24.2	49	28	88	8	4
	2.4-4.2	27.8	44	20	56	38	6
	4.2-4.8	31.1	48	23	55	40	5
	4.8-6	23.2	47	26	67	26	7
2	0.2-2.4	20.1	58	34	89	9	2
	2.4-3.0	19.8	54	25	77	20	3
	3.0-6.0	29.9	47	21	89	6	5
	6.0-6.6	19.9	46	22	76	22	2
	6.6-7.2	23.0	49	25	90	8	2
3	0.0-0.6	12.4	40	16	37	51	12

N°	Profundidad [m]	ω [%]	Límites de Atterberg [%]		Tamaño de partículas [%]		
			LL	IP	<Filler	Arena	Gravilla<
	0.6-2.4	7.7	34	9	35	51	14
	2.4-6.0	15.3	38	12	28	60	12
	6.0-10.0	17.0	47	20	58	20	22
4	0.0-1.8	6.4	37	11	27	43	30
	1.8-2.4	13.4	36	12	39	42	19
	2.4-4.2	12.4	37	NP	44	56	0

ω : Contenido de humedad, LL: Límite líquido, IP: Índice de Plasticidad

Tabla 1. Las propiedades físicas de las muestras (por datos de SOPTRAVI).

A nivel de 2.4 metros de profundidad de los sondeos No.3 y No.4 muestran porcentajes altos de arena y gravilla, y tienen porcentajes bajos de contenido de humedad. Por consiguiente, el suelo de la cabeza del deslizamiento tiene permeabilidad alta para agua llovediza, y causa el movimiento de tierra.

Mecanismo y Medidas

a) Mecanismo: Generalmente hay distintos tipos de factores: el factor externo como es el fenómeno atmosférico y el sísmico un factor interno como es la naturaleza del terreno cuando el deslizamiento de tierra ocurre.

En la Colonia Altos de Loarque, el factor interno es la capa geológica como la Toba que tiene la particularidad de haber recibido la erosión eólica y formar arcilla. Otro factor externo tiene una relación con el tiempo de la erosión eólica, las aguas sobre la superficie de la tierra para la carga y las aguas subterráneas. Antes de que ocurriera el movimiento de tierra, llovió por una semana en la Colonia. Es decir, la lluvia añade las aguas a las grietas de la Toba como el factor externo, y sale para subir el nivel las aguas subterráneas dentro del cuerpo del deslizamiento. En consecuencia hay un movimiento descendiente de la masa del suelo. Por causa de las grietas que la Toba tiene, ésta se separa en masas del cuerpo del deslizamiento después estas se mueven en una masa grande.

Figuras 78 y 79 son las sinopsis del deslizamiento de tierra.

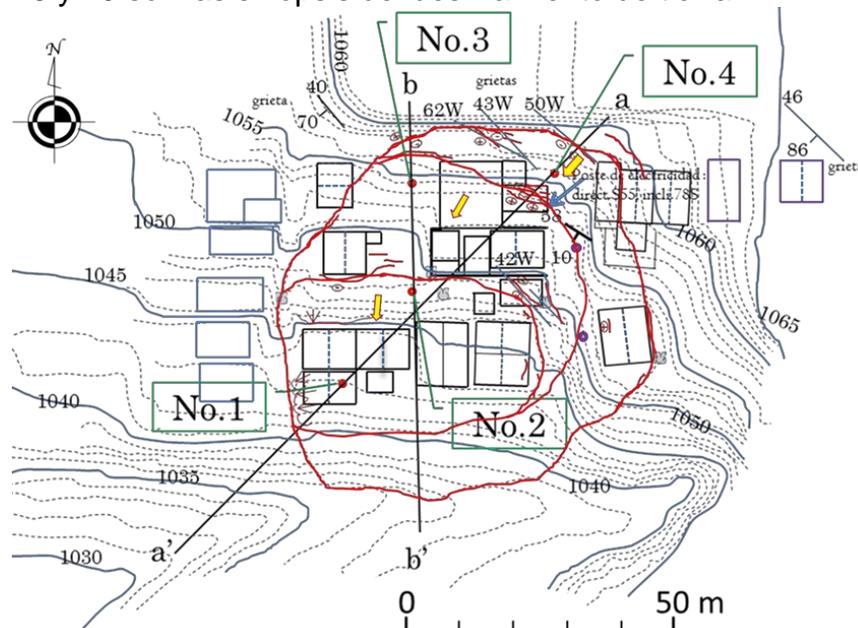
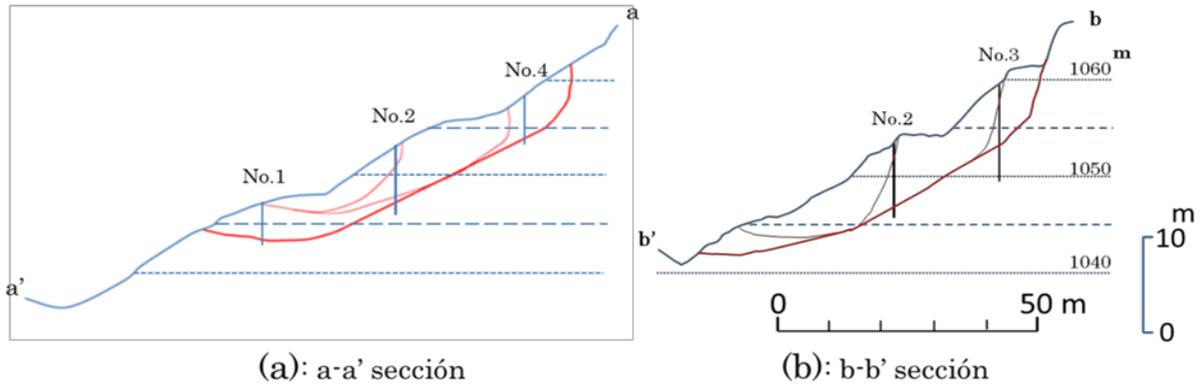


Figura 78. La sinopsis del deslizamiento de tierra.



Figuras 79-A y 79-B. Las secciones del deslizamiento de tierra.

b) Medidas futuras: Por esto es importante hacer un canal de desagüe y de drenaje para prevenir la penetración al deslizamiento como un drenaje superficial e imbornal.

Las Figuras 80 y 81 representan los ejemplos de las obras sobre el deslizamiento de tierra.

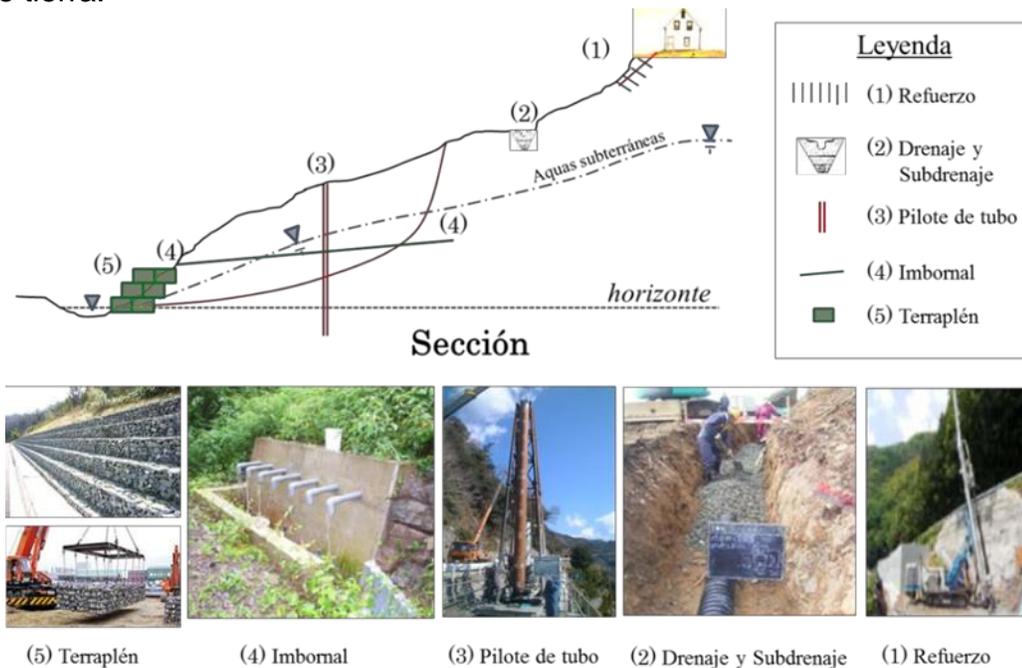


Figura 80. Los ejemplos de las obras para frenar el deslizamiento de tierra.

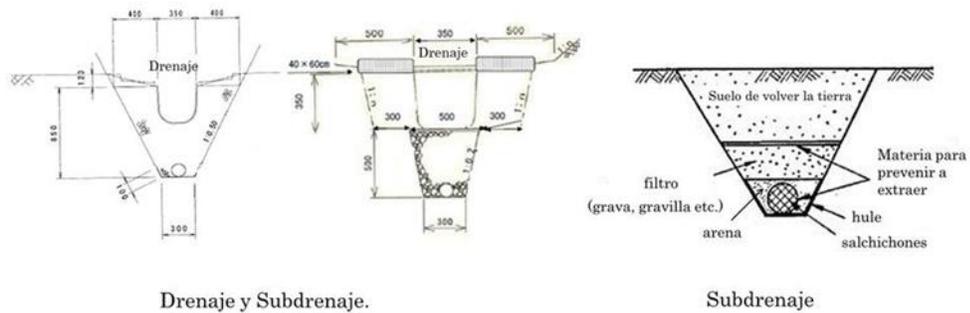


Figura 81. Ejemplos de las obras sobre Drenaje y Subdrenaje.

Entre las medidas para prevenir el movimiento del cuerpo del deslizamiento, se tiene por ejemplo; pilote de tubo de acero, los drenajes y terraplén (Figura 82). Necesitamos hacer obras de drenajes para evacuar aguas superficiales y aguas subterráneas como drenaje e imbornal. Como se muestra a la derecha de la Figura 82, las aguas permean siempre del suelo y al este de la perforación No.2 hay sitios húmedos. No.2.

Es importante instalar pilotes de tubos para proteger contra el derrumbamiento de la calle y de las casas, y es necesario hacer la medición de la planimetría en escala 1:500 y hacer la sección en escala 1:200 después de las obras.

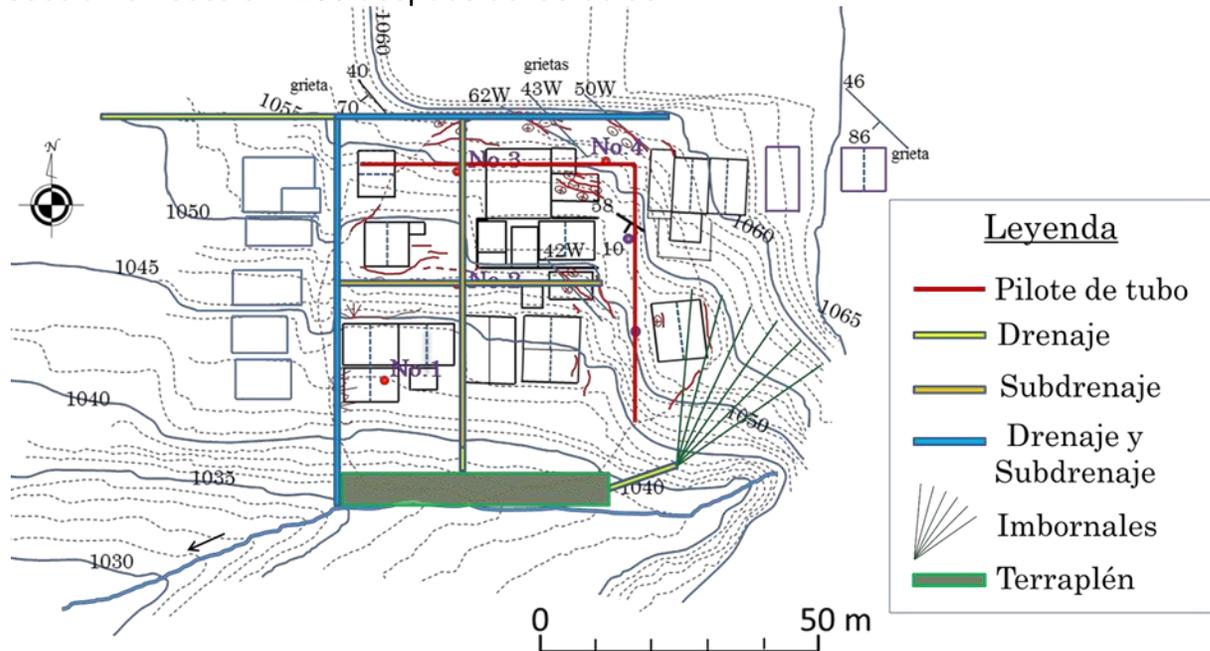


Figura 82. La sinopsis de la obras para frenar el deslizamiento de tierra. (Terraplén: como Gavión)

Conclusión: hemos realizado la investigación el 3 de noviembre de 2011 por primera vez en este sitio. Esta vez, hicimos la investigación y pensamos sobre la escala del deslizamiento de tierra utilizando los datos de 4 perforaciones. Con el resultado de la investigación dilucidamos el mecanismo, la escala y la superficie de rotura del deslizamiento de tierra.

Según las medidas hechas en este sitio, necesitaremos hacer un canal de desagüe como así también un drenaje superficial y un drenaje del subsuelo. Y fijar el terraplén sobre el pie del deslizamiento de tierra. Las obras de pilotes de acero tienen efecto para proteger las casas y el camino.

Palabras de agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento al Ing. Walter Virgilio Alvarez (SOPTRAVI) por los informes de la perforación del Proyecto "Estudio Geológico para la Rehabilitación de los Terrenos de los Sectores 15 y 16 de la Colonia Altos de Loarque".

Nuestra investigación se ha realizado gracias a las colaboraciones del Sr. Wilmer Vindel (Patronato Pro-Mejoramiento Colonia Altos de Loarque), al Sr. José Mejía (Jeselito) y al lugareño Sr. Herman Pérez. Tenemos el más sincero agradecimiento.



Universidad Politécnica de Ingeniería

Revista Técnico Científica

MI MILIMETRO

Órgano Oficial de Publicaciones de la UPI



CONTENIDO

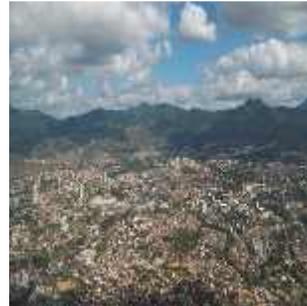
5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



5.5

Deslizamiento de Tierra en la Esperanza Departamento de Intibucá, Honduras.



OBSERVACIÓN No.5: DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LA ESPERANZA DEPARTAMENTO DE INTIBUCÁ (HONDURAS)

Kiyoharu Hirota^a
Aníbal Godoy^b
Luís René Evelin^c
José Eveline Funes^d

Introducción: Este es el informe sobre el deslizamiento de tierra en la Esperanza, estudio realizado el 26 de diciembre de 2011, el cual es la base o punto de partida para iniciar la investigación por parte del equipo de la UPI (Universidad Politécnica de Ingeniería).

Estado del suelo y el campo: Este sitio está en las faldas del cerro Quiaterique a 5 kilómetros al noroeste de la Esperanza (Figura 83).

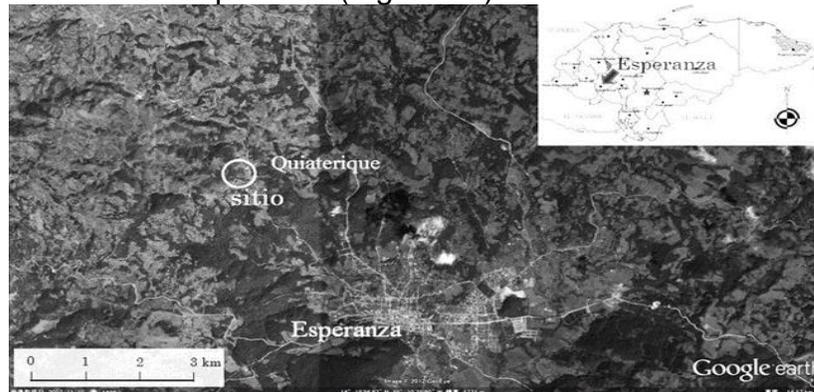


Figura 83. El sitio de la Esperanza (por Google Earth)

El sitio que investigamos tiene los deslizamientos superficiales sobre las capas de las rocas tobaceas. Después de movimiento de los deslizamientos superficiales, el lugar está haciendo la tierra cultivable (Figura 84). Hay un torrente pequeño que corre desde arriba en dirección este. Al pie del cerro existe un manantial pequeño.



^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón - JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: anival.godoy@upi.edu.hn agodoyv2003@yahoo.com

^c Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: leveline@upi.edu.hn

^d Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: jose.eveline@upi.edu.hn

Figura 84. Los deslizamientos superficiales y el sitio del derrumbamiento (por Google Earth y el mapa de la Azacualpa de Yamaranguila).
Figura 85 representa el alrededor del punto del agua manantial.



Figura 85. El punto del agua manantial (con flechas).

La calle está al lado del sur de los deslizamientos superficiales y se hundió en una parte de la calle (Figura 86 y Figura 87).



Figura 86. El hundimiento del terreno.

Figura 86-A. Representa el sitio del derrumbamiento de tierra (Figura 87).



Figura 87. El derrumbamiento de tierras.
Hay un escalón en la tierra de cultivo arriba (Figura 88).

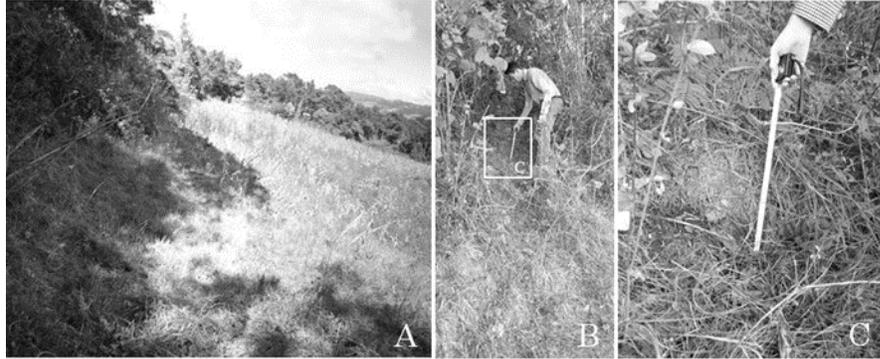


Figura 88. Un escalón del terreno.
Figura 88 Representa el estado topográfico del terreno, que muestra una fuerte pendiente. Hay escalones de tierra por el movimiento del suelo (Figuras 89-B, 89-C, y 89-D).



Figura 89. El escalón del terreno sobre el pendiente.

Afloramiento de roca tipo toba está también al lado oeste de la calle (Figura 90).



Figura 90. Afloramiento de roca tipo toba.

El movimiento de tierra corresponda los deslizamientos superficiales o los flujos de tierra por las observaciones de la misma.

Afloramientos de rocas están en el pie del cerro, se componen tobas (Figura 91).



Figura 91. Afloramientos de rocas (tobas).

Mecanismo: Presentamos la sección con sitios del derrumbamiento y del agua manantial. Hay afloramientos de rocas lado de la calle arriba (Figura 88) y del pie de los deslizamientos superficiales (Figura 89), y torrentera pequeña.

De lo anterior se entiende que el espesor de los detritos es delgado (Figura 92), y especulamos que la superficie de las aguas subterráneas es poco profunda. La calle es el factor para suministrar las aguas superficiales a los deslizamientos.

Cuando la lluvia arrecia, hay más infiltración en el monto subterráneo y mayor producción de manantiales. Indicamos la ruta de las aguas en Figura 92. La capa de la roca tiene la inclinación al igual que la pendiente de la tierra.

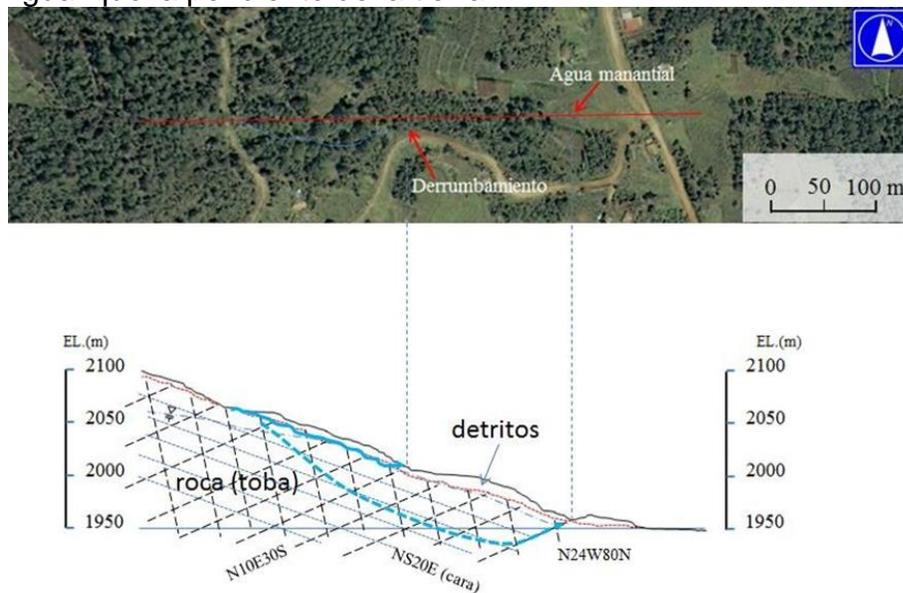


Figura 92. La sección de la tierra y las corrientes de las aguas (flechas).

Medidas y acciones a futuro: Es importante hacer el canal de desagüe y drenaje para prevenir la penetración del deslizamiento como drenaje superficial. Figura 93 representa los ejemplos de las obras sobre el drenaje para aguas pluviales.



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



5.6

Plan para Realizar Obras en el Deslizamiento de Tierra en la Colonia Miraflores Sur en Tegucigalpa, Honduras.



OBSERVACIÓN No.6: PLAN PARA REALIZAR OBRAS EN EL DESLIZAMIENTO DE TIERRA DE LA COLONIA MIRAFLORES SUR EN TEGUCIGALPA

Kiyoharu Hirota^a
Aníbal Godoy^b
Luís René Evelin^c
Clinton Chavarría^d
Said Colindres^e

Introducción: Este es el informe sobre el deslizamiento de tierra por la Colonia Miraflores Sur el 2 y 12 de marzo de 2012, el cual es la base o punto de partida para iniciar su investigación por parte del equipo de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI).

El sitio para observar: Este sitio es una parte de la Miraflores Sur que está cerca del Río Jacaleapa al oeste del INFOP (Figura 94 y Figura 95).

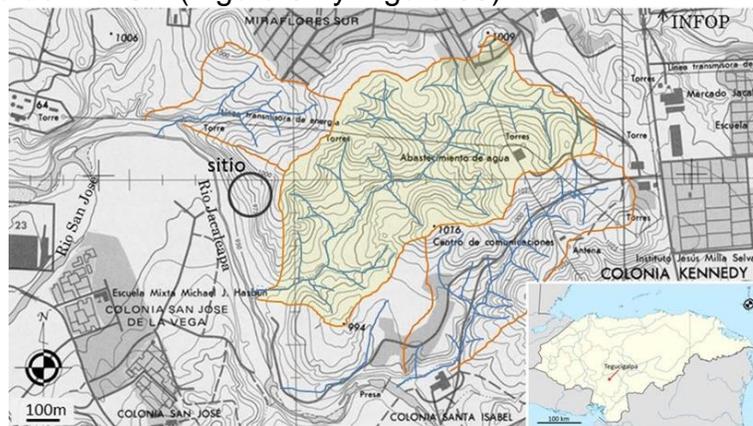


Figura 94. El sitio del deslizamiento de tierra (la Colonia Miraflores Sur)

Este sitio tiene el deslizamiento de tierra antigua al oeste del lado de la cresta y la gran cuenca relativamente.

^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: anival.godoy@upi.edu.hn agodoyv2003@yahoo.com

^c Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: leveline@upi.edu.hn

^d Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: Clinton.echeverria@upi.edu.hn

^e Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: said.colindres@upi.edu.hn

Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: leveline@upi.edu.hn



Figura 95. El sitio del deslizamiento de tierra (la Colonia Miraflores Sur: por Google Earth el 10 de diciembre de 2010)

Estudio anterior: En el sitio del deslizamiento de tierra, se hizo el relleno y terraplén, posteriormente se edificaron las casas en Colonia Miraflores Sur.

a) Desarrollo del deslizamiento de tierra:

Transcribimos el artículo del informe anterior (Figuras 96-A ~ 96-J).

Sr. David Perdomo propietario y víctima del desastre de su casa, ha escrito lo siguiente sobre el estado del suelo y su casa:

A – Invierno 2008, periodo: junio - noviembre

B – Evento: tormenta 16 fecha octubre 2008

Agrietamiento de paredes y pisos de vivienda, no se presenta agrietamiento visible en zona de relleno adyacente a construcción.

C – Periodo: agosto 2009 - marzo 2010

Se realiza trabajos de reparación de vivienda. –sustitución y compactación de relleno debajo de estructura 3 metros promedio, fundición de zapata corrida, reparación de pisos y paredes etc.

Se estabiliza estructura en verano.

D – Invierno 2010 periodo junio-noviembre

E – Evento: periodo intenso de precipitación

Inicia agrietamiento de relleno adyacente se manifiesta agrietamiento severo de la vivienda nuevamente, ver secuencia de fotos (Figuras 96-A ~ 96-H), hasta un asentamiento diferencial de 2 metros en relleno y estructura.

F – Invierno 2011 periodo junio-noviembre

G – Evento: 2 de octubre 2011, intensas lluvias.

Asentamiento de 15 metros de profundidad del relleno y a lo largo de todo el bloque B de la colonia lomas de la Miraflores Sur (Figuras 96-I y 96-J).

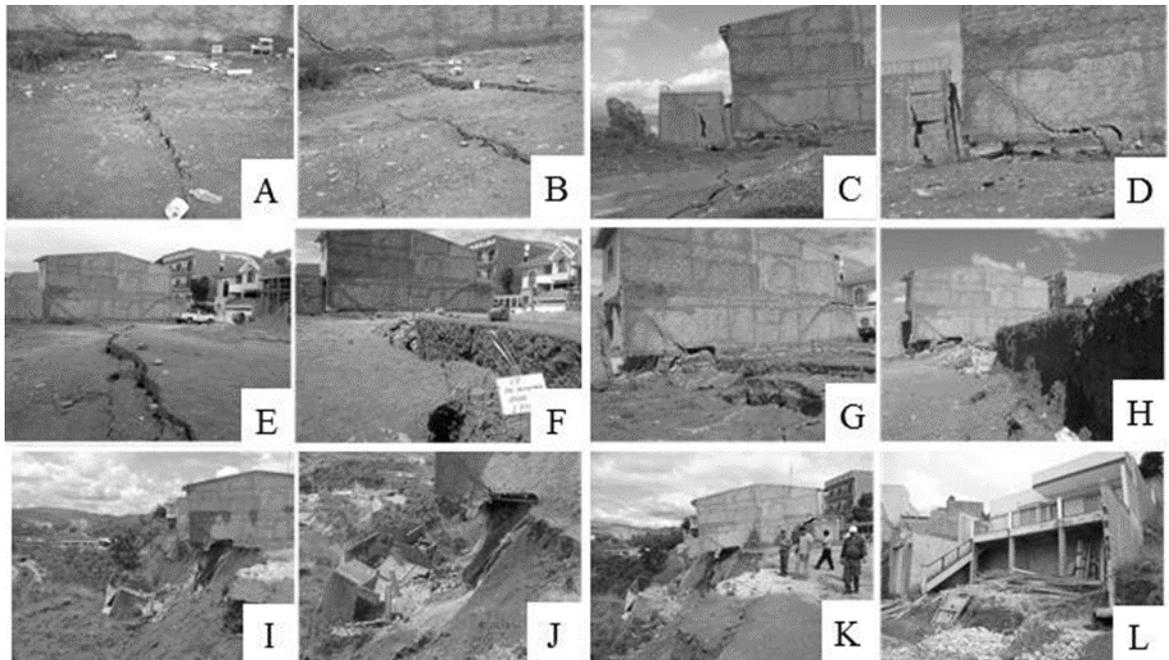


Figura 96. El estado del suelo con grietas (A: septiembre de 2010, B: septiembre de 2010 después del A, C: paisaje de la casa, D: agrandamiento después de C, en octubre de 2010, E : Octubre de 2010, F : 17 de octubre de 2010, G: Diciembre de 2010, H : Enero de 2011, I: paisaje del sitio, J: cerca de la casa fallada, en octubre de 2011, A ~ J son por David Perdomo, K y L: 15 de noviembre de 2011).

b) Factores del deslizamiento: Los factores del deslizamiento de tierra tienen las siguientes condiciones: geología, relleno, deslizamiento de tierra antigua, grietas, lluvia y las aguas superficiales y subterráneas. Las causas del desplazamiento de la masa tienen los siguientes factores:

- La geología es en esquisto que el talud de la capa inclinada hacia al Río Jacaleapa,
- Detrás del deslizamiento de tierra, hay la cuenca hídrica receptora de 0.58 km² (1,160 metros x 500 metros; véase la Figura 93),
- Hacen terraplenar la cabeza del deslizamiento, y
- La lluvia torrencial y las aguas subterráneas ascienden su nivel.

Esto es muy importante para saber el mecanismo del deslizamiento que hace terraplenar la cabeza del deslizamiento. Presentamos los resultados de estudio anterior (Figura 97).

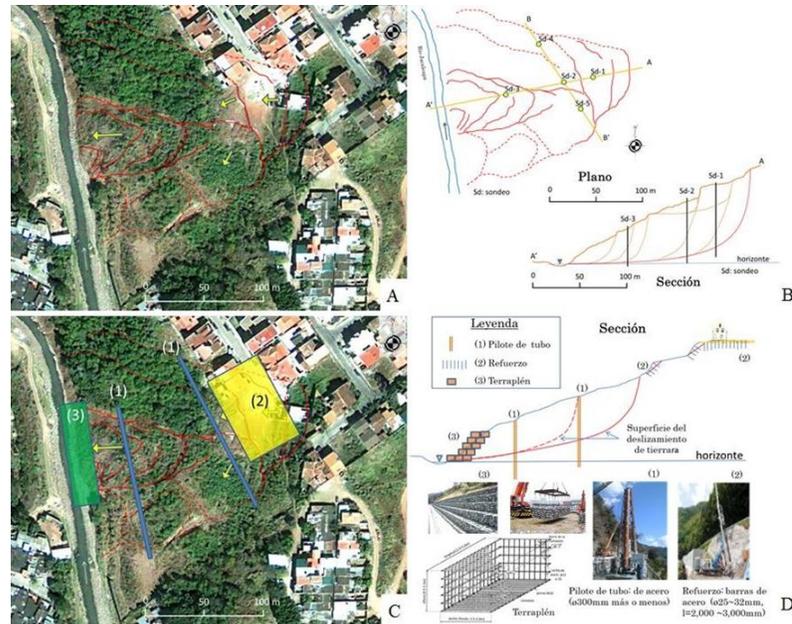


Figura 97. El deslizamiento de tierra y los obras para planificar (A: Deslizamiento, B: plano y sección, C y D: Obras).

- **Geología:** La roca que aflora se caracteriza por areniscas rosadas muy cerca del Río Jacaleapa esta formación se inclina aproximadamente 10° referente al plano del talud, lo que demuestra ser muy fácil de deslizar. Sobre esta formación se levanta un estrato de 10.0 metros de escombros antiguos consolidados pero con presencia de deslizamientos en la cara del talud ofreciendo una continuidad inestable que avanza hacia adentro del mismo.
- **Relleno:** Se presenta alta inestabilidad en la cabeza del deslizamiento de tierra, fenómeno que no se identificó al momento de la construcción de las casas. Por tal motivo todo el relleno se ha convertido altamente inestable y peligroso.
- **Grieta:** Hay grietas al lado izquierdo del cuerpo del deslizamiento además las grietas del relleno. Hay grietas sobre el suelo del mismo.

c) **Medidas** (por estudio anterior)

Presentamos la sinopsis de las medidas así (Figuras 97-C y 97-D):

- La obra de pilotes de tubo de acero: Disuasión contra el desplazamiento del cuerpo del deslizamiento de tierra.
- La obra del refuerzo: Las barras de acero.
- La obra del terraplén: El peso contra el desplazamiento del cuerpo y la prevención de la erosión del pie del deslizamiento de tierra. Construir gaviones sobre el pie del deslizamiento de tierra.

Eso necesita conocer más sobre el deslizamiento de tierra antes de examinar medidas de control.

Damos una sinopsis las obras sobre los deslizamientos de tierra (Figura 97-D). Figura 97-D representa las obras estándar.

Se Necesita decidir los modelos de las obras para frenar el deslizamiento de tierra después de conocer sobre la dimensión del deslizamiento de tierra. Esto es fundamental para hacer el cálculo de la estabilidad del deslizamiento de tierra.

Estado actual: Observamos el estado de la Colonia Miraflores Sur el 2 de marzo, e hicimos la sección del deslizamiento de tierra el 12 de marzo de 2012. El derrumbamiento de la casa ha empeorado (Figura 98).



Figura 98. El estado del suelo y de la casa

En la figura 98 se observa que se ha hecho una excavación profunda para buscar un lecho firme y tratar de construir cimientos para salvar la casa de la Figura 99. Podemos observar el estado del suelo y el conglomerado inclinándose hacia el Río Jacaleapa (Figura 99-B).

La roca como el grupo de Valle de Ángeles no se encuentra dentro la excavación mostrada en la figura 99; pero se encontró material diverso, lo que confirma que esta zona es un relleno.

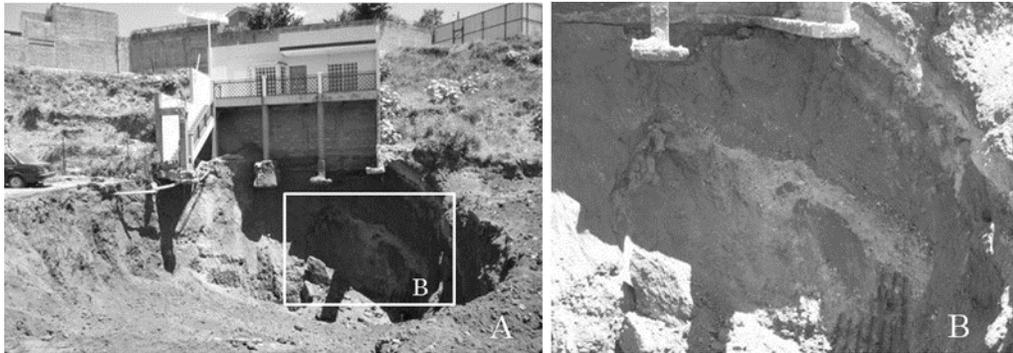


Figura 99. Un parte de la cabeza del deslizamiento se excavó el 12 de marzo del 2012.

Estudio actual

- a) Geología y deslizamiento: Existen afloramientos de areniscas rosadas del grupo del Valle de Ángeles en el cauce del Río Jacaleapa, y detritos que están en parte del cauce (Figura 100). Areniscas rosadas tienen N35E20N como inclinación y rumbo de la capa, NS60W y N36W60N como los de las grietas. Se reflejaran en la sección del análisis del deslizamiento. Detritos que afectan el movimiento de la tierra.

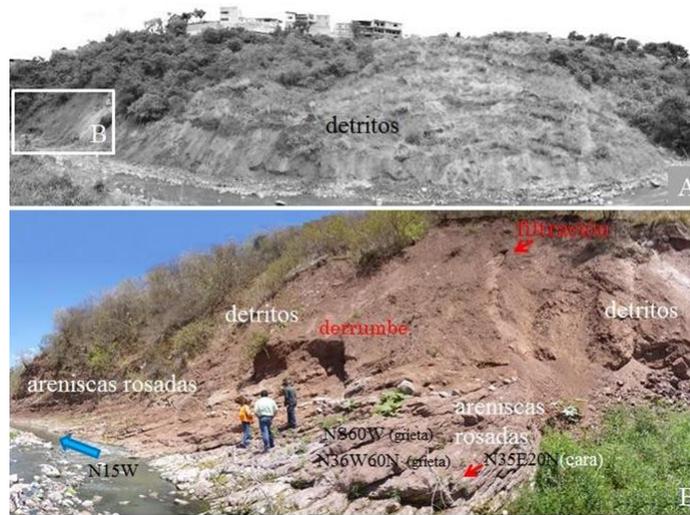


Figura 100. Afloramientos de rocas (areniscas rosadas) y detritos.

- b) Análisis del deslizamiento: las condiciones para analizar el deslizamiento de tierra (la sección a-b) como $F=1.00$, $\gamma = 1.8 \text{ ton/m}^3$, y $\phi=15$ (Figura 101-A). Después de pedir la respuesta a cohesión (c) aproximado a 0.2 ton/m^2 , analizamos la estabilidad del deslizamiento (Figuras 101-B ~ 101-D).

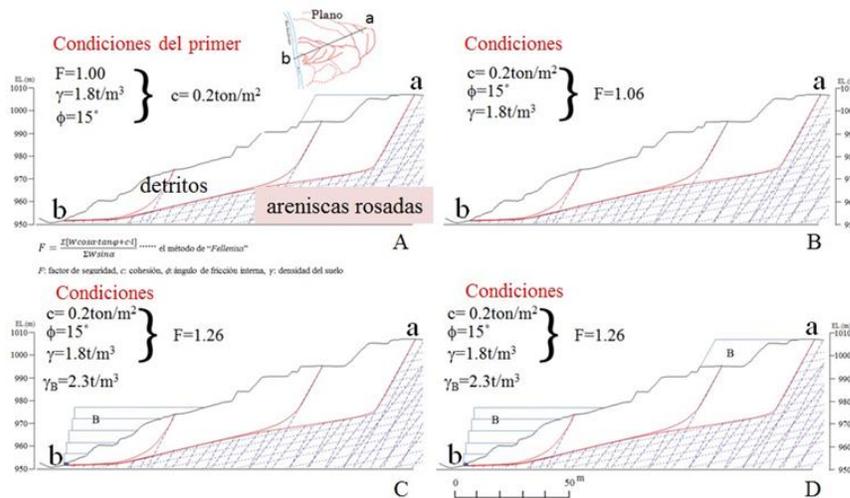


Figura 101. Las secciones del deslizamiento de tierra para el análisis y las obras.

Utilizamos la siguiente fórmula para analizar la estabilidad del deslizamiento.

$$F = \frac{\sum (W \cos \alpha \cdot \tan \phi + c \cdot l)}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots \text{el método de "Fellenius"}$$

∴ F= factor de seguridad, c= cohesión, ϕ = ángulo de fricción interna,
 γ = densidad del suelo.

En este análisis, no hacemos caso de las aguas subterráneas, porque no hay agua dentro del sitio que excavar de la cabeza del deslizamiento (véase la Figura 6), y las aguas subterráneas son factores indefinidos. Cuando el río esté crecido y el pie del deslizamiento se inunde la cohesión será cero a causa de la saturación del suelo. La estabilidad del deslizamiento de tierra depende de la cohesión del suelo. Pero cuando las aguas bañan la orilla donde está el pie del deslizamiento de tierra, es posible el

movimiento de la masa del suelo. En cuanto a este, la obra del terraplén con el afianzamiento de tierra es efecto para la estabilidad del deslizamiento de tierra.

- c) Un plan de la obra: Después del estudio ahora, proponemos los ejemplos de las obras del deslizamiento de tierra. La obra de pilotes de tubo de acero es muy buena obra, pero es difícil para los estados del sitio y de la economía. Pensamos que la obra de terraplén es posible para afianzamiento de tierra sobre el pie del deslizamiento de tierra (Figura 102).

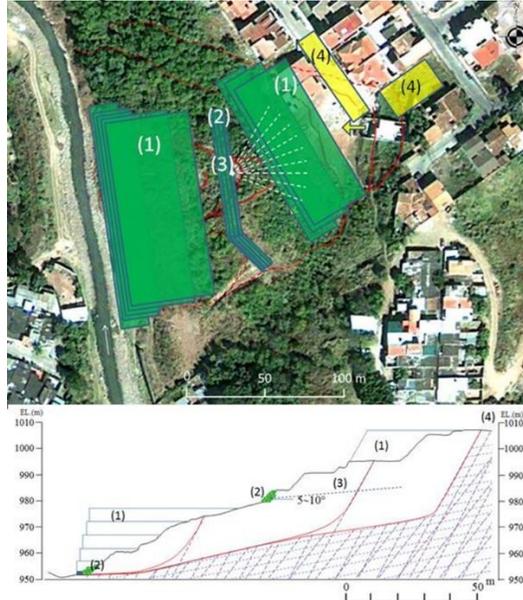


Figura 102. Un ejemplo de la obra en la Colonia Miraflores Sur.

- (1) Terraplén o Muro de Tierra Armada
- (2) Gaviones (cestos de las piedras)
- (3) Imbornales (perforación horizontal con ángulo bajo)
- (4) Refuerzo (las varillas de acero)

La obra del refuerzo con las barras de acero es fácil y efectiva para mantener los efectos de la estabilidad de las casas (Figura 103).

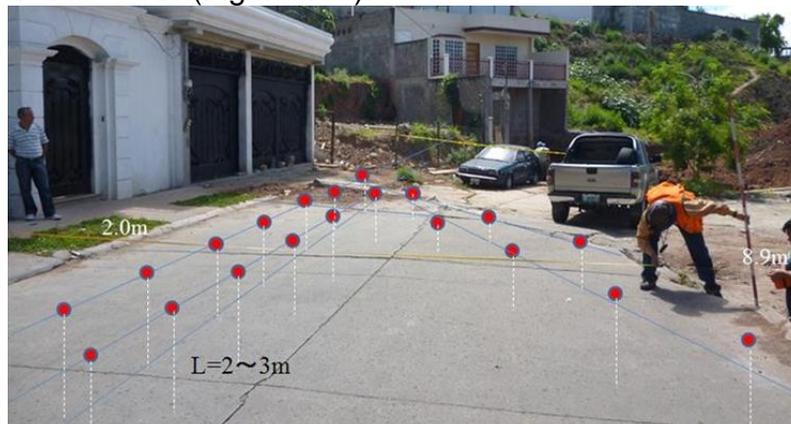


Figura 103. Las obras del refuerzo en el lado del deslizamiento de tierra.

Presentamos las colocaciones de las varillas de acero a Figura 104. Esto es favorable para seleccionar la varilla de acero como el diámetro de 22~32 milímetros y 2~3 metros de longitud. Y las colocaciones de las vallas de acero tienen 1~2 metros generalmente.

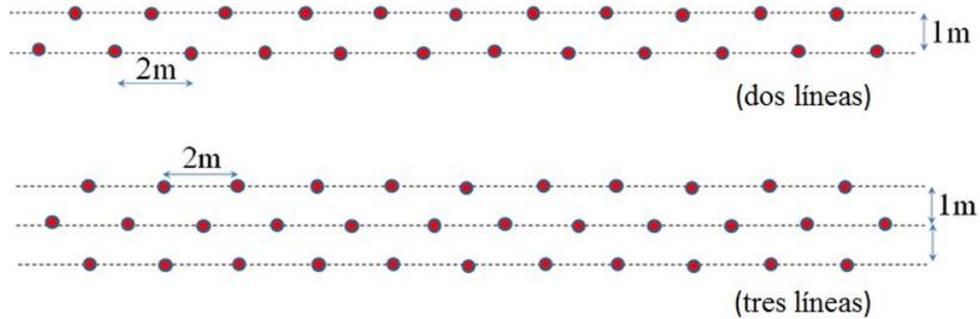


Figura 104. Ejemplos del diseño del refuerzo
(Planta: dos líneas y tres líneas).

El diseño y la obra del deslizamiento de tierra son fuera de los límites del estudio ahora.

Conclusión:

- Hicimos la sección del deslizamiento de tierra del sitio de la Colonia Miraflores Sur y analizamos el mecanismo.
- Proponemos un plan para medidas del deslizamiento de tierra en la Colonia Miraflores Sur.
- Se necesita conocer más sobre el deslizamiento de tierra de la Colonia Miraflores Sur antes de determinar a detalle medidas de control.

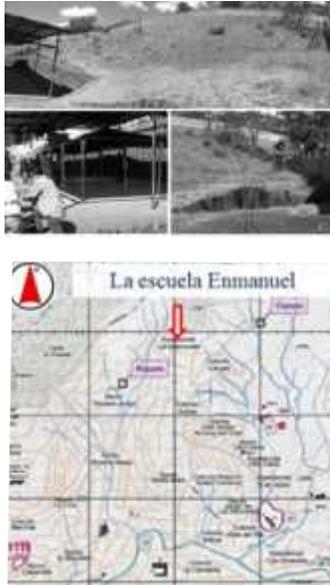
Palabras de agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento a la Ing. María Elena Estrada por ayudar sobre la información del deslizamiento de tierra en el sitio de la Colonia Miraflores Sur, de igual manera al Ing. David Perdomo.



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



5.7

Desastre en la Escuela Enmanuel de la Colonia Canaán, Honduras



OBSERVACIÓN No.7: DESASTRE EN LA ESCUELA ENMANUEL DE LA COLONIA CANAÁN

Luís René Eveline^a
Shizuka Kamiya^b
Kiyoharu Hirota^c

Introducción: Este es el informe describe las fallas geológicas en la escuela Enmanuel, estudio realizado el 13 de marzo de 2012, el cual es la base de partida para iniciar su investigación por parte del equipo de la Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI).

Estado del suelo y el campo

- a) **La Colonia Canaán:** La Colonia Canaán está en el barrio donde se ubican las viviendas al este del cerro el Picacho. La escuela Enmanuel está en el barrio sobre la cresta baja que se extiende de norte a sur (Figura 105). Junto a la cresta baja, corre dos riachuelos de norte a sur también. Los dos riachuelos terminan siendo confluentes al río Choluteca, en la zona sur.



Figura 105. El sitio de la escuela Enmanuel. (Por Google Earth y mapa de Tegucigalpa)

- b) **El sitio de la escuela Enmanuel**

La escuela Enmanuel está en la falda de la loma que hace el plano inclinado al norte (Figura 105). El sitio es pobre la vegetación.



Figura 106. La loma detrás de la escuela.

^a Tegucigalpa, Honduras. Instituto de Geociencias de Honduras (IGH), Universidad Politécnica de Ingeniería (UPI), Teléfono: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: leveline@upi.edu.hn

^b Tegucigalpa, Honduras. Programa Cambio Climático, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) (504)2232-6737 (Ext. 126). Correo electrónico: KamiyaShizuka.hd@jica.go.jp

^c Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 2225 74 55. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

La loma forma la hondonada con el declive suave. Cuando llueve, la caída de la lluvia se concentra la cancha de Basquetbol (Figura 107-A y 107-B). La loma casi no tiene el suelo sobre la roca, a juzgar por el afloramiento de las lutitas del grupo del Valle de Ángeles (Figuras 107-C y 107-D). La lutita recibía la influencia de la erosión eólica, tiene las muchas grietas pequeñas y se exfolian en el parte del afloramiento (Figura 107-C). Cuando este estado continúe en el futuro, la lutita se hará pedazos.



Figura 107. El plano inclinado y el afloramiento de las lutitas.

El terraplén formado las llantas protege el movimiento de tierra (Figuras 108-A y 108-B). La cancha de Basquetbol tiene el piso hormigonado con la fisura abierto (Figura 108-C). La parte del piso se inclina hacia delante (la izquierda de la figura 108-C).



Figura 108. La cancha de la canasta.

Las grietas del piso del aula de clase fue hecho por el terremoto de hace dos años (Figuras 109-A, 109-B y 109-E). El tabique tiene la grieta vertical (Figuras 109-C y 109-D, véase las figuras 110-B, 110-D y 110-E).



Figura 109. Las grietas de la clase por el terremoto.

Las grietas del piso de la otra aula de clase también se generó por el terremoto de hace dos años (Figuras 110). Hay una grieta a la entrada (Figuras 110-C y 110-F). Es difícil cerrar la puerta de la clase (Figura 110-F).

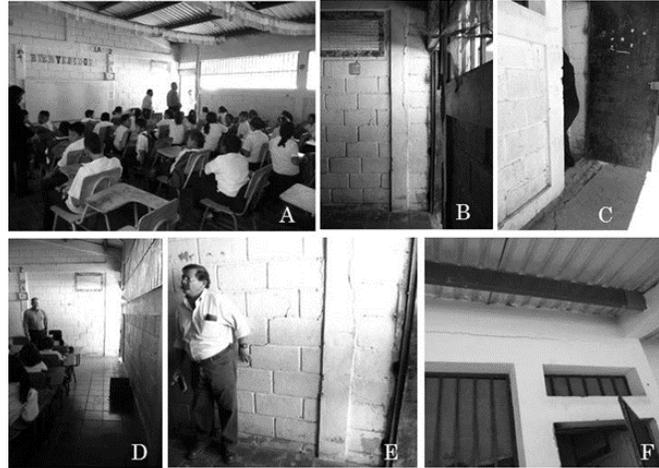


Figura 110. La grieta de la clase por el terremoto.

Hay un muro de contención al sur de la clase (Figura 111). Pero el corredor entre la clase y el muro tiene la grieta abierta (Figuras 111-A, 111-B y 111-C).



Figura 111. La vecindad del muro del edificio de la escuela Emmanuel.

Los canales abiertos están al lado de los edificios (Figura 112). El punto de intersección de dos canales no tiene una caja grande que evacue las aguas superficiales (Figura 112-A, 112-C y 112-F).



Figura 112. Los canales abiertos alrededor de la escuela (flechas: las direcciones de las corrientes). A causa de las dimensiones pequeñas del canal, las aguas se desbordan y hace que los alumnos se metan en el canal, pudiendo provocar accidentes personales. Se recomienda instalar una rejilla sobre el canal.

Mecanismo del movimiento de tierra: Suelo tiene una naturaleza que se baja la cohesión cuando pasa al estado de saturación. Cuando las condiciones de sequedad del suelo cambian a estados húmedos, la pendiente está inestable (Figura 113). El suelo repite del estado seco y húmedo en cada ciclo anual por lo que continuo el movimiento de tierra.

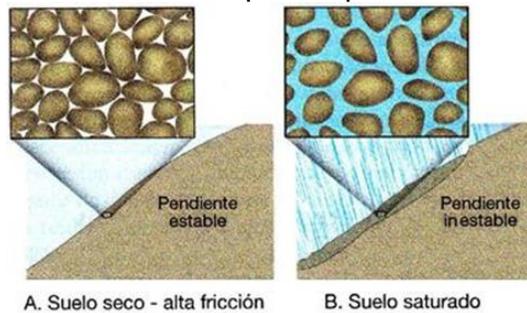


Figura 113. Una sinopsis^a del estado de suelo.

Cuando el suelo está saturado de agua, la masa empapada fluye pendiente abajo a una velocidad de unos pocos milímetros o unos pocos centímetros diarios o anuales. Este proceso de denomina solifluxión^b (Figura 113).

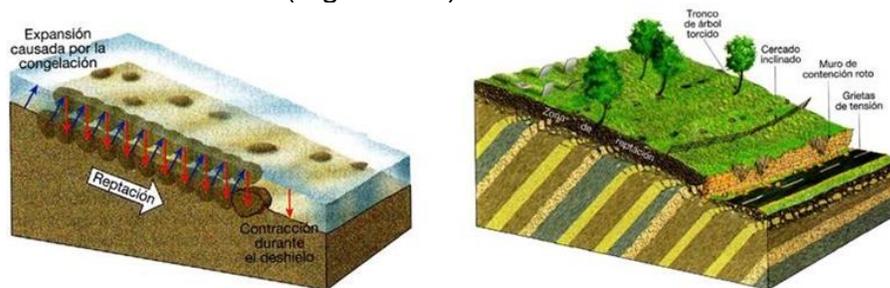


Figura 114. Una sinopsis del flujo del suelo solifluxión^c

Medidas y acciones a futuro

a) Medida comparada

^a Edward J. Tarbuck y Frederick K. Lutgens, 2005, p.428; suelo seco y saturado

^b Edward J. Tarbuck y Frederick K. Lutgens, 2005

^c Edward J. Tarbuck y Frederick K. Lutgens, 2005, p.440

- Plan 1º: Canales y refuerzo de varilla de acero (damos prioridad al refuerzo). Esto plan es la obra que tiene canales para la evacuación de aguas superficiales y refuerzo de varilla de acero (Figura 115).

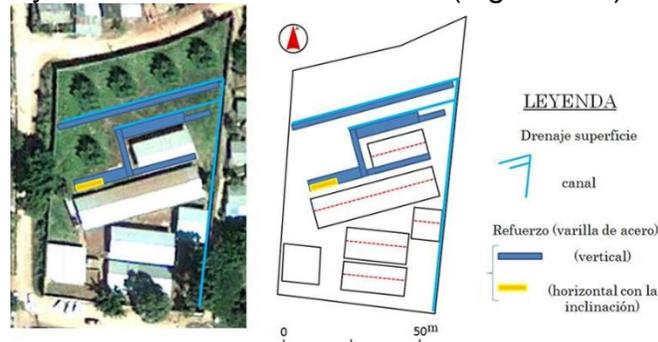


Figura 115. El plan 1º de las obras.

Figura 115 representa el plan de la obra del refuerzo que corresponde a la figura 114. El estacado de varillas de hierro se colocan en retícula de 1.00 m en ambos lados o direcciones.

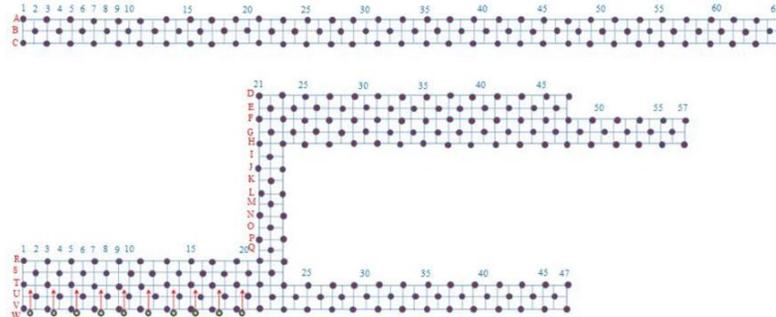


Figura 116. El plan de la obra del refuerzo (Planta: las varillas de acero, corresponde a la figura 114).

- Plan 2º: Canales y refuerzo de varilla de acero (damos prioridad a la canal) Este plan es la obra que tiene canales para la evacuación de aguas superficiales y refuerzo de varilla de acero también (Figura 117). Pero damos prioridad al canal.

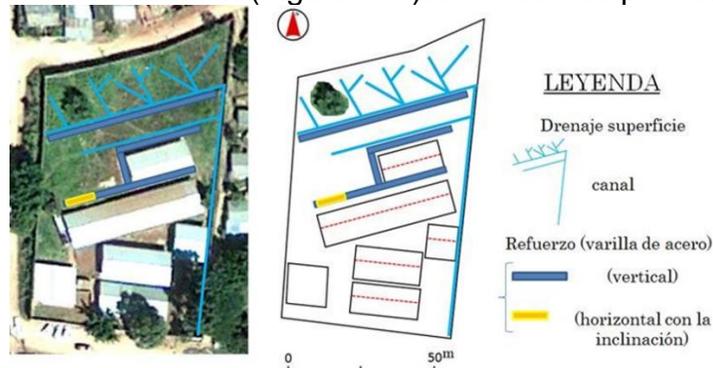


Figura 117. El plan 2º de las obras del refuerzo.

Figura 118 representa el plan de la obra del refuerzo que corresponder a la figura 115. El escaque corta en cuadros de 1 metro.

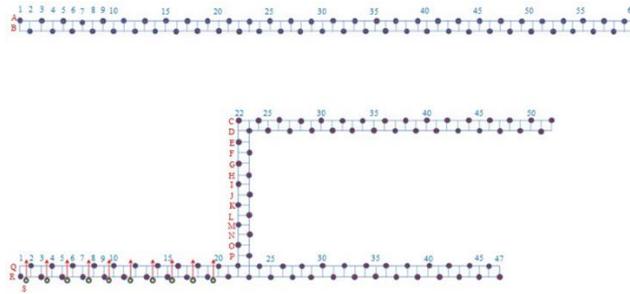


Figura 118. El plan de la obra del refuerzo (Planta: las varillas de acero, corresponde a la figura 115).

- Plan 3º: Canales (con la vegetación arriba)

Este plan es la obra que tiene canales para la evacuación de aguas (Figura 117). Los canales horizontales tienen las vegetaciones del lado de arriba. Necesitamos construir cajas interceptoras para recibir los canales teniendo en cuenta el volumen de agua en cada uno de los canales.

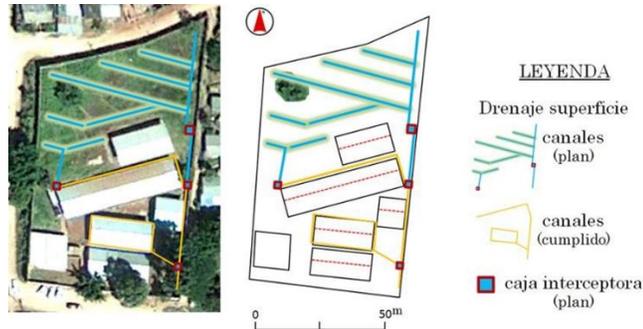


Figura 119. El plan 3º de las obras de los canales.

La línea difuminando indica la obra del canal que tiene la vegetación arriba.

El plan de la medida en la escuela

Indicamos tres obras para comparar en la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de la comparación de la obra.

El punto de vista	Económico	Para	Proceso
Plan 1º -Drenaje superficie -Refuerzo	Caro -Drenaje superficie Canal: 192 metros. -Refuerzo Varilla de acero: □□22	General	Largo (mucho tiempo)
Plan 2º -Drenaje superficie -Refuerzo	Coste mediano -Drenaje superficie Canal: 318 metros. -Refuerzo Varilla de acero: f = 22 32 mm	General	Corto (poco tiempo)
Plan 3º -Drenaje superficie	Poco coste -Drenaje superficie Canal: 388 metros. Cajas interceptoras: 4	Fácil (simple)	Medio ~ Corto

A juzgar por la razón que ser la obra económica y lo hacer fácil, seleccionamos el plan 3º (Tabla 2). La vegetación de lado de la canal está hacia arriba (Figura 120).



Figura 120. Una sinopsis de la obra del canal con la vegetación del plan 3º en la sección.

b) Acciones a futuro: Después de hacer la obra, necesitamos conocer la corriente de la agua lluvia, por ejemplo: la pluviosidad y la dirección de la esorrentía superficial.

Palabras de agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento a la Presidenta Daysi Milla Reyes de la escuela de Enmanuel por los informes del sitio del movimiento de tierra, y nuestras investigaciones han marchado sin dificultad.



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa

5.8

Deslizamiento de tierra en el Museo de Villa Roy en Tegucigalpa



OBSERVACIÓN NO.8: DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN EL MUSEO DE VILLA ROY EN TEGUCIGALPA

Luis René Eveline
 Kiyoharu Hirota
 Guillermo López
 Brayán Mejía.

Introducción

Este es el informe sobre el deslizamiento de tierra en el Museo de Villa Roy en Tegucigalpa el 2 de diciembre de 2011, el cual es la base o punto de partida para iniciar su investigación por parte del equipo de la UPI.

Estado del suelo del Museo

Este sitio está cerca del río Choluteca al norte del Centro de Tegucigalpa (Figura 120 y Figura 121).

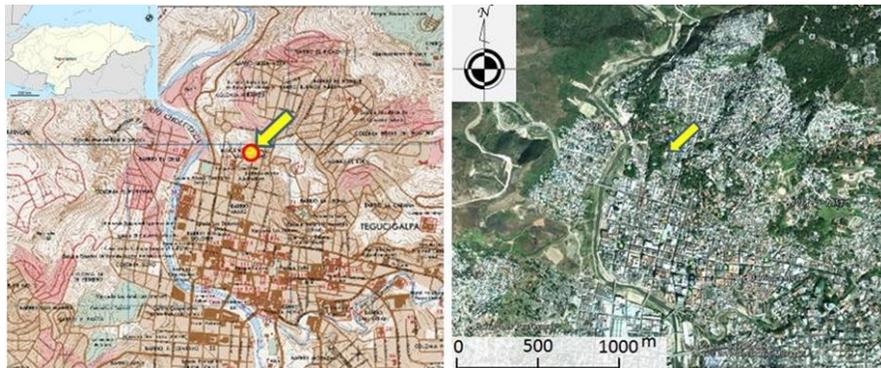


Figura 120. El sitio del Museo de Villa Roy.

- a) El Museo de Villa Roy: El Museo está sobre la loma pequeña y tiene el panorama al sur (Figura 121-B).



Figura 121. El Museo y sus contornos.

En el informe^a de julio de 2010 se escribe: “El deslizamiento es de velocidad lenta pero de actividad comprobada y que despacio pero seguro continua deteriorando el Edificio y su contenido de alto valor histórico”.

- b) Los fenómenos del deslizamiento de tierra en este estudio: Presentamos el aspecto general del deslizamiento de tierra sobre el Museo de Villa Roy en Google (Figura 122). Hay grietas sobre el suelo del deslizamiento de tierra en el Museo de Villa Roy.

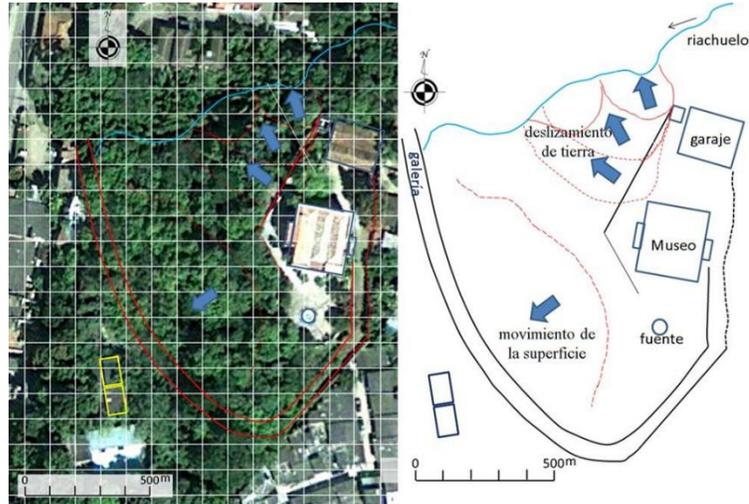


Figura 122. La sinopsis del deslizamiento de tierra en el Museo de Villa Roy por “Google Earth” el 10 de diciembre de 2010).

El Museo de Villa Roy tiene las grietas que hay en el interior y el exterior del Museo (Figuras 123 – 125).



Figura 123. Grietas del Museo.

^a Instituto Hondureño de Antropología e Historia (2010): Estudio Geológico-Estructural Museo Villa Roy en la Ciudad de Tegucigalpa. Informe Final del Consultor; existen reportes profesionales de su existencia desde 1982; p.6



Figura 124. Grietas del alrededor del Museo.



Figura 125. Grietas dentro del Museo.

Factores del deslizamiento: Los factores del deslizamiento de tierra presentan las siguiente condiciones: Geología, riachuelo al pie de la colina, grietas, lluvia y las aguas.

a) Geología y la estabilidad del terreno pendiente

- **Geología:** El sitio tiene las areniscas rosadas del grupo de Valle de Ángeles (Krc) y está al norte de la Falla (línea continua y discontinua en la Figura 126).

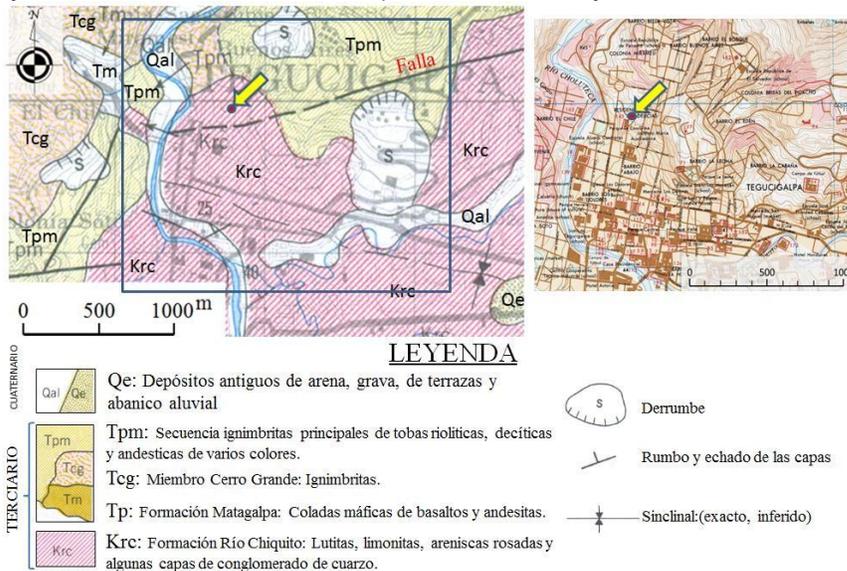


Figura 126. El mapa de la geología alrededor del Museo (modificación del mapa Geológico, Tegucigalpa, Honduras C.A.).

- **Estabilidad del terreno pendiente:** El sitio del Museo de Villa Roy está ubicado dentro de una influencia del deslizamiento de tierra, visualizados dentro de los deslizamientos de tierra en el supuesto del mapa (Figura 127). Las líneas continúan como los lineamientos por la fotografía aérea.



Figura 127. El lineamiento y el movimiento de la masa (la inferencia por Google Earth).

● Círculo: El sitio del Museo

- b) Grieta: La grieta grande está al oeste del Museo, tiene 0.2 metros de ancho y 1.8 metros abierto, y tiene 0.5 metros del escalón del terreno (Figura 128-A y 128-B). Esa grieta conduce más al oeste en el jardín del Museo (Figura 128). El nivel de la tierra es bajo en ese lugar. El estado de las grietas en el jardín del Museo se observan abajo.



Figura 128. Grietas del Museo.

El muro tiene las grietas al oeste del jardín del Museo (Figura 129).



Figura 129. Grietas en el muro.

- c) Excavar el lecho fluvial de la quebrada: Cuando llueve, las aguas se infiltran en la tierra y lavan el lecho del riachuelo. Por consiguiente, al lavarse el lecho del riachuelo, se produce el derrumbamiento y el deslizamiento de tierra (Figuras 130-132). La excavación del lecho del riachuelo hacía la cueva debajo del concreto (Figuras 133-E y 133-F).



Figura 130. Desplazamientos cerca de la quebrada.
La altura del derrumbamiento de tierra es de 6.5 metros (Figura 131).



Figura 131. Derrumbamiento de tierras.
El movimiento de la tierra al pie del derrumbamiento formó el escalón del terreno (Figura 132).



Figura 132. El escalón del terreno en el deslizamiento de tierra.
El árbol y los bambús se inclinan 8° en la parte superior del terreno pendiente (Figura 133).



Figura 133. Inclínación del árbol sobre el deslizamiento de tierra.

- d) **Mecanismo:** Generalmente hay distintos tipos de factores: el factor externo como es el fenómeno atmosférico y el sísmico y un factor interno como es la naturaleza del terreno cuando el deslizamiento de tierra ocurre.

En este sitio, el factor interno es la capa geológica como la Toba que tiene la particularidad de haber recibido la erosión eólica y su detritus. Otro factor externo tiene una relación con el tiempo de la erosión eólica, las aguas sobre la superficie de la tierra para la carga y las aguas subterráneas. Además la erosión de aguas del riachuelo para su lecho fluvial afecta la inestabilidad del detritus sobre la colina. El sitio está en el lado de la cuenca grande (Figura 134).

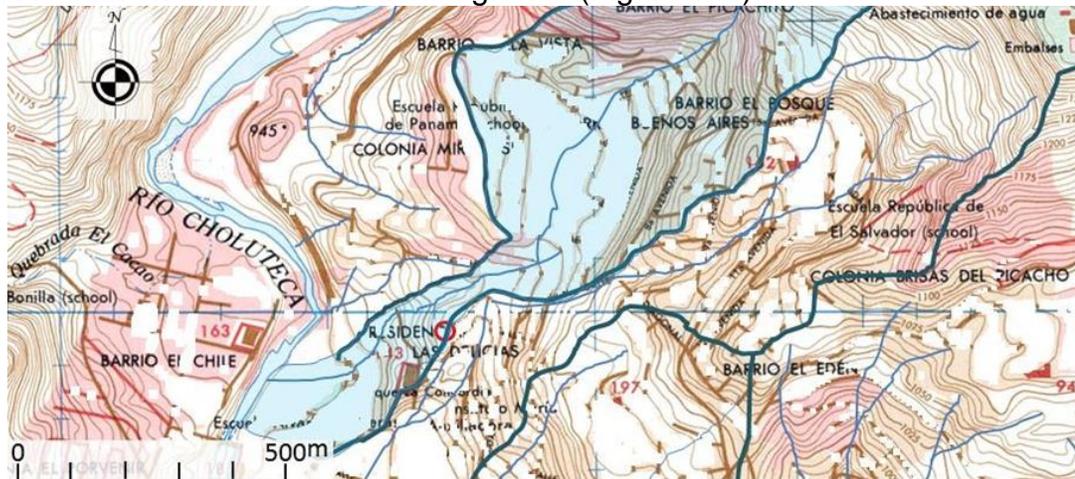


Figura 134. La cuenca que el sitio está (azul).

Medidas en el futuro

- Perforación:** Para hacer las obras para frenar el deslizamiento, necesitamos conocer la escala sobre el deslizamiento de tierra. Hicimos las perforaciones en el sitio del deslizamiento de tierra. Después de la perforación del suelo, instalamos el aparato para medir el desplazamiento de tierra.
- Investigación de temperatura del suelo:** La Figura 135 indica el ejemplo de la investigación para conocer la temperatura de tierra y deducir la ruta de aguas subterráneas, por lo que se efectuó una perforación a 1.00 m de profundidad.

Generalmente un metro profundo sondeo de la temperatura investiga del punto de la intersección del cuadro de diez por diez metros (Figura 135-B). Cada punto tiene un agujero de un metro de la profundidad para medir la temperatura del suelo. Usamos la temperatura diferencia de superficie de la tierra y de un metro de la profundidad de superficie de la tierra. Después, hacemos el mapa de las rutas de aguas subterráneas (Figuras 135-C y 135-D). Según cómo sea el resultado, nosotros decidiremos puntos de obras de las perforaciones horizontales que bajar aguas subterráneas.

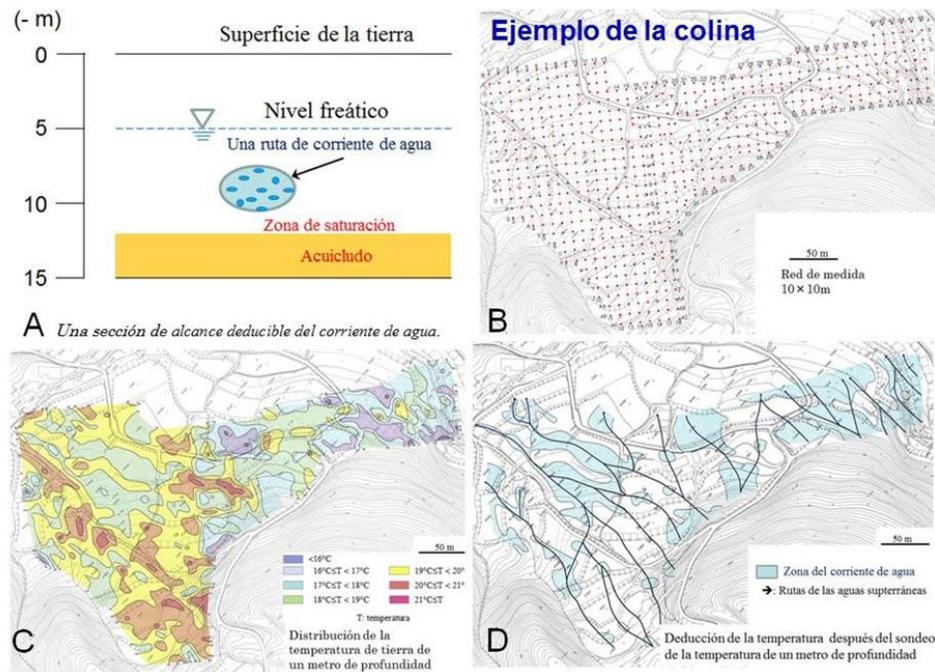


Figura 135. El ejemplo de la investigación de la temperatura del suelo.

(A: concepto una ruta del corriente de agua, B: puntos para sondeo, C: distribución de la temperatura, D: ejemplo de la análisis.)

c) Obras de alrededor del Museo: Proponemos dos obras antes de hacer perforaciones y la reconstrucción del Museo. Dos obras impedirán para propiciar las grietas del Museo y el movimiento de tierra:

- La obra del refuerzo – las barras de acero,
- La obra de la gavión – construir gaviones sobre el pie del deslizamiento de tierra.

Es importante instalar las barras de acero contra del derrumbamiento del Museo y su jardín, y es necesario hacer la medición de la planimetría en escala 1:500 y la sección en escala 1:200 después de las obras.

Conclusión:

- La inestabilidad de la pendiente de la colina tiene dos tipos: el deslizamiento de tierra y el movimiento de la superficial.
- El deslizamiento de tierra afecta las formaciones de las grietas del Museo.
- Sobre la estabilidad de la pendiente de la colina, necesitamos la obra del refuerzo alrededor del Museo y perforaciones para el deslizamiento de tierra.

Palabras de agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento a Arq. Ivonne Benites (Asistente Subgerencia de Conservación: IHAH) y Arq. Wendy Galdámez (Jefe de la Unidad de Proyectos de Restauración: IHAH) por ayudar sobre la observación del deslizamiento de tierra y con el informe sobre el Estudio Geológico-Estructural Museo Villa Roy en la ciudad de Tegucigalpa. Además de esto, estamos agradecidos por la ayuda de Dr. Atsuo Takeuchi sobre la manera de 1 metro profundo sondeo de la temperatura de tierra.



Universidad Politécnica de Ingeniería

Revista Técnico Científica

MI IMETRO

Órgano Oficial de Publicaciones de la UPI



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa

5.9

Inestabilidad del Terreno Pendiente y Medidas, Cerro Juana Laínez en Tegucigalpa, Honduras.



OBSERVACIÓN No.9: INESTABILIDAD DEL TERRENO PENDIENTE Y MEDIDAS, CERRO JUANA LAÍNEZ EN TEGUCIGALPA

Kiyoharu Hirota^a

Introducción: Éste es el informe como un apunte sobre la inestabilidad del terreno pendiente del Cerro Juana Laínez en el 20 de agosto de 2012, el cual es la base o punto de partida para iniciar su investigación por parte del equipo de la UPI (Universidad Politécnica de Ingeniería). El informe menciona sobre la obra para estabilizar el terreno pendiente al lado del Río Choluteca.

Estado del terreno pendiente: Este sitio está cerca del Río Choluteca al norte de la UPI (Figura 136).

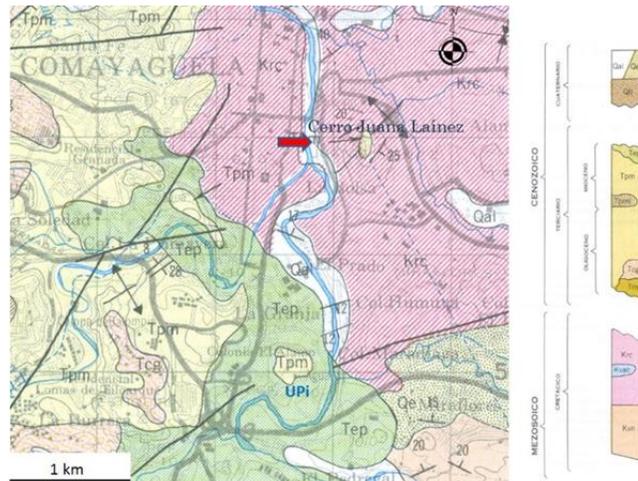


Figura 136. El sitio del Cerro Juana Laínez (con flecha).

Hay unos afloramientos de limonitas y/o areniscas del grupo del Valle de Ángeles en el cauce del Río Choluteca, y detritos están en la parte del cauce. Detritos que afectan el movimiento de la tierra.



Figura 137. El sitio del Cerro Juana Laínez (pendientes inestables: "A~D").

El Río Choluteca está corriendo al oeste del cerro (Figura 138).

^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón - JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com



Figura 138. El pendiente inestable del lugar del “A” (lado del Río Choluteca). Una parte del terreno pendiente está inestable (Figura 139). La vereda se derriba parcialmente (de abajo de la Figura 139).

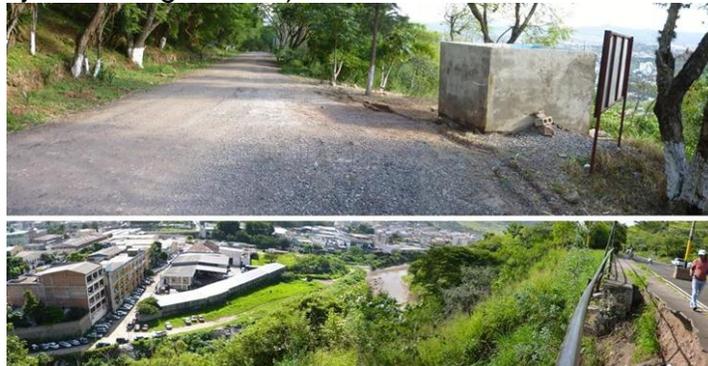


Figura 139. El pendiente inestable del lugar del “A”. El terreno pendiente al sur del cerro está suave sobre la superficie del suelo (Figura 140).



Figura 140. La pendiente inestable del lugar del “B”.

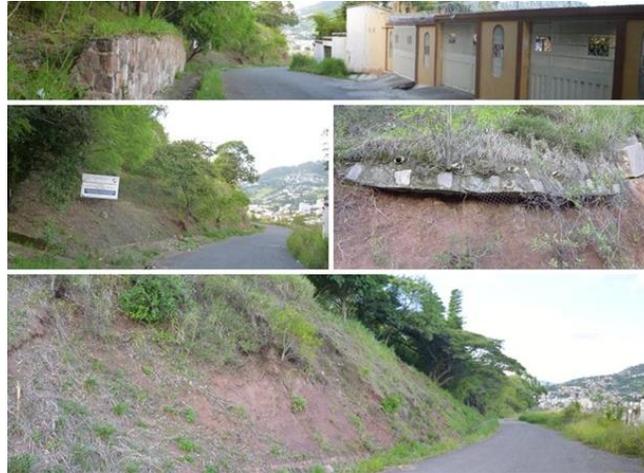


Figura 141. La pendiente inestable del lugar del “C”.

La vereda se derriba parcialmente (Figura 140). Por ahora está estabilidad. Se precisa una obra para proteger la inestabilidad del terreno pendiente en el futuro.



Figura 142. La pendiente inestable del lugar del “C”.

En el lugar “D”, hay cabeza antigua del deslizamiento de tierra (Figura 143). Ahora la superficie de la tierra tiene tranquilo.



Figura 143. El pendiente inestable del lugar del “D”.

Problema pendiente en el futuro

En la Figura 135, lugares “A” y “C” tienen los derrumbamientos de la calle. Especialmente lugar “A” se pone frágil que las olas y corrientes bañan la orilla por el río Choluteca. Pensamos la obra para proteger la calle y el terreno pendiente (Figura 144).

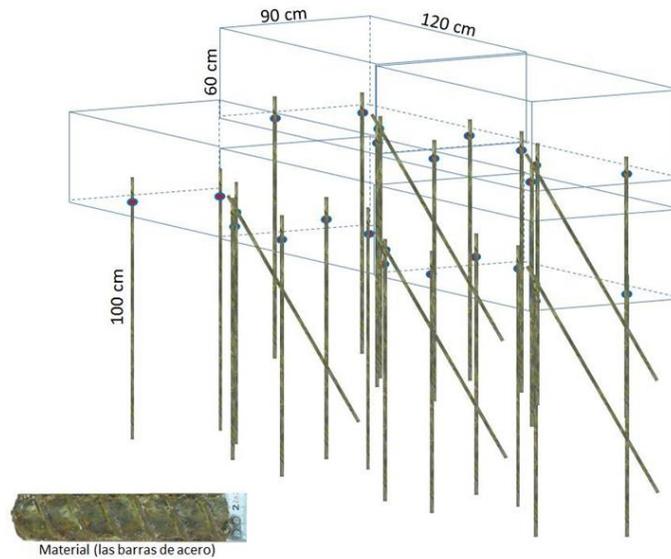


Figura 144. Una imagen de la obra en carterera (como ejemplo).

Situamos al cemento armado en el terreno pendiente para estabilizar. Ajuntamos la colocación de las varillas de acero dentro del cemento al estado de la obra. Eso necesita examinarse más. Presentamos dos ejemplos de la unidad del cemento armado (Figura 145).

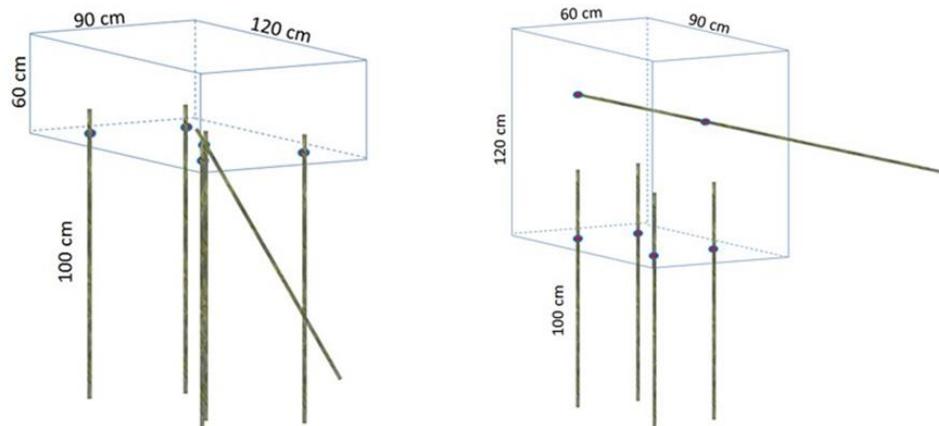


Figura 145. Dos ejemplos de la unidad del cemento armado.

Conclusión:

- Hay deslizamientos de tierra al oeste lado del río como el lugar “A” y al este lado de la fábrica como el lugar “C”.
- Los lugares que se hacen obra necesitan el refuerzo usando las barras de acero.
- Las obras del pendiente al oeste del cerro necesitan estar donde el río no baña la orilla.



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa

5.10

Deslizamiento de Tierra de la Colonia Campo Cielo en Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras



OBSERVACIÓN No.10: ESTUDIO DEL DESLIZAMIENTO DE TIERRA DE EL PAPALÓN EN PESPIRE (DEPARTAMENTO DE CHOLUTECA, HONDURAS)

Kiyoharu Hirota^a

Introducción: El presente informe tiene como objetivo dar a conocer el estudio realizado sobre el deslizamiento de tierra en el sitio de El Papalón en el departamento de Choluteca Honduras, visita que se llevó a cabo el 5 de octubre del 2012 por voluntario de JICA Dr. Kiyoharu Hirota y la Sra. Kamiya oficial del Programa Cambio Climático JICA Honduras.

En octubre del 2011, el departamento de Choluteca fue azotado por una lluvia torrencial que ocasionó deslizamiento de tierra en la comunidad de EL Papalón ubicada a 18 kilómetros al suroeste de Pespire, con un aproximado de 30 habitantes. Se registra que el deslizamiento de tierra de El Papalón ocurrió en el pasado. El sitio se estabiliza naturalmente, a pesar de eso, el suelo superficial está desprendiéndose poco a poco.

En la actualidad, este deslizamiento de tierra es estable, sin embargo, cuando se presentan lluvias, es posible sufrir un desastre por nuevo deslizamiento de tierra. Al pie del deslizamiento de tierra se encuentra un dique natural, esta condición es muy peligrosa para el posible alud de fango y piedras durante las fuertes lluvias. Por lo tanto, hemos examinado las condiciones del terreno, acerca de cómo realizar las medidas de ingeniería en el futuro.

Análisis del Sitio: El Río San Ramón es un afluente del Río Grande Nacaome. El Río San Ramón y el Río San Juan confluyen en Olivares, después cambia su nombre como Río Sacamil y siguiente el Río Chiquito. El Río Chiquito confluye con el Río Grande Nacaome en Pespire.

Figuras 146 y 147 indican el sitio de deslizamiento de tierra de El Papalón.



^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

Figura 146. Pespire, Choluteca, Honduras.



Figura 147. El sitio del deslizamiento de tierra en El Papalón
(Por Google Earth)

El Río San Ramón se origina en el sur de la montaña “Los Hornos”, después se inclinó hacia el oeste y fluye hacia el norte. El sitio de deslizamiento de tierra está dentro de la cuenca que contiene las Quebradas El Saladito, El Reventón y La Ceiba (Figura 148).

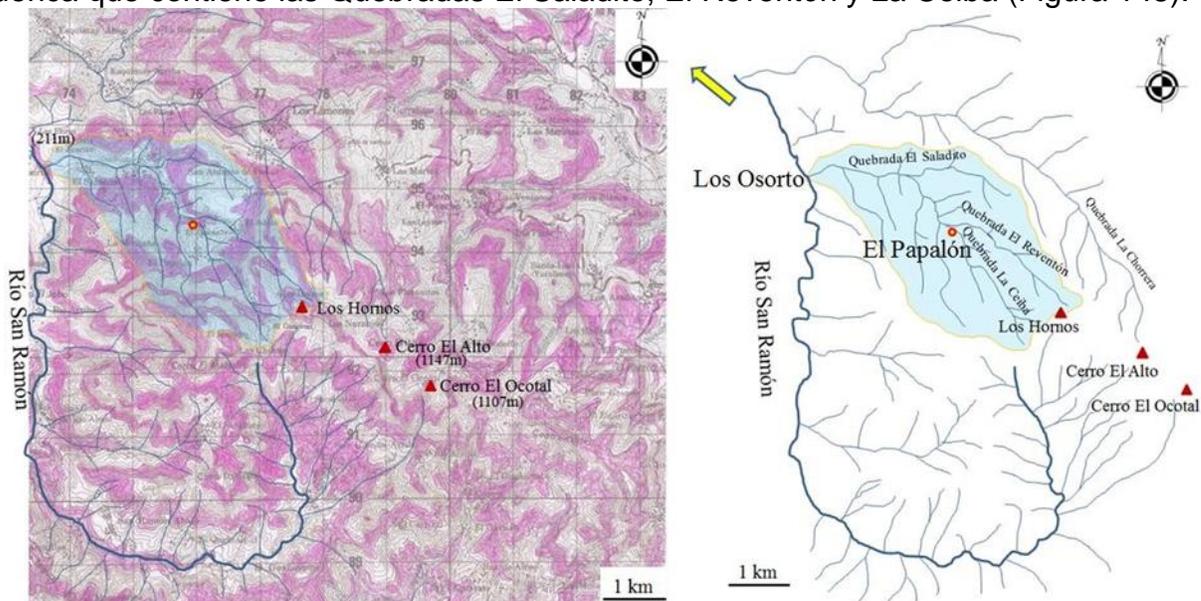


Figura 148. El mapa de la terraza mide 100 m de espesor c/u; Esquema de la red hidráulica de la zona. La terraza existente mide 100 m cerca de El Papalón tal como se muestra en la Figura 146 tiene un ancho más amplio, esto indica que la erosión avanza. La erosión se retiró hacia el sur de los orígenes de las quebradas. Hay deslizamientos de tierra en el convexo del doblez de la pendiente del cerro donde altas montañas se extienden de sudeste al noroeste (Figura 149). Figura 149-D indica el deslizamiento de tierra de El Papalón.

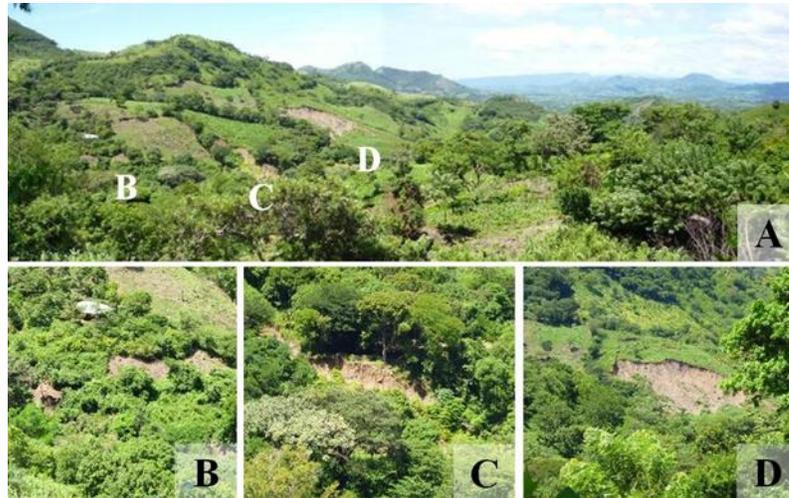


Figura 149. Los deslizamientos de tierra
(A: el paisaje de fondo, B y C: El Zapote, D: El Papalón)

La grieta de la cabeza de deslizamiento de tierra se extiende de este a oeste (Figura 150-A y 150-a). El lado del cuerpo está estable relativamente, y hay un paso de agua superficial sobre la concavidad de suelo (Figura 150-C). La cobertura vegetal se incrementa con la elevación sobre el cerro.



Figura 150. El sitio de deslizamientos de tierra
(a: cabeza, b: lado inestable del cuerpo)

Después del deslizamiento de tierra, la cabeza tiene un afloramiento de rocas y suelo (Figura 151). Brecha volcánica (BV), toba andesítica (TA) y detritus (Dt) por la posición inferior en el afloramiento.

Descripción:

- Detritus (Dt): son suelo y piedras se movieron sobre la superficie de la tierra.
- Toba andesítica (TA): es la toba volcánica se pone por el magma de la andesita.
- Brecha volcánica (BV): son piedras angulares y/o roca con piedras angulares se pone por materiales de rocas volcánicas.

El sitio es fácil para recibir la erosión cuando llueve. Todas las rocas han sufrido la meteorización. La brecha volcánica es relativamente sólida, pero tiene las grietas finas. La inclinación del estrato de la brecha volcánica se encuentra al sur.

La toba andesítica tiene las pomitas y ha sufrido la mayor meteorización, el estado de toba andesítica es fácil para contener las aguas subterráneas y para permear las aguas lluvias, así como detritus.

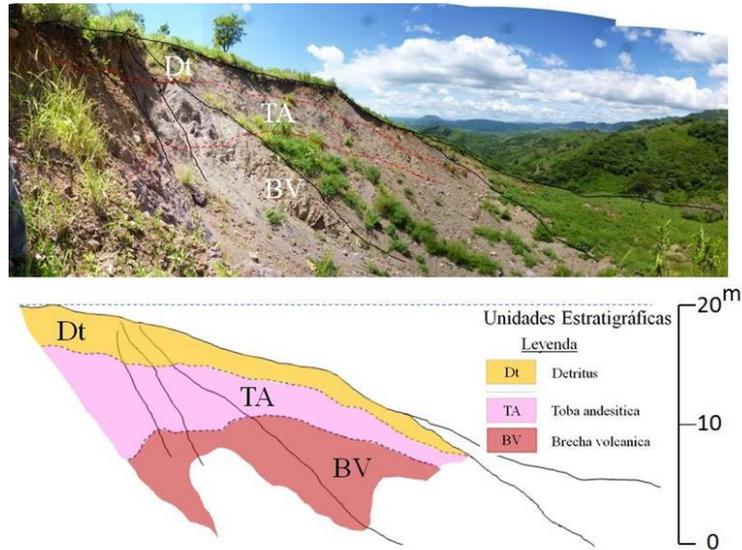


Figura 151. La cabeza del deslizamiento de tierra

Podemos pensar que el mecanismo de deslizamiento de tierra que se convierte en terreno inestable se debe a la existencia de toba andesítica, y su capacidad de retención de agua. En la parte del pie de deslizamiento de tierra hay roca limolita y roca arenisca (Figura 152), las que se meteorizan fácilmente.



Figura 152. Rocas sobre el pie del deslizamiento de tierra
(Rocas: Limolita ~ Arenisca)

Las piedras por la erosión de rocas y detritus son fáciles para corrimiento de tierra sobre la concavidad de suelo como flujo de suelo (Figura 153). Ahora un dique natural está al lado del pie de deslizamiento de tierra en la confluencia de las Quebradas El Reventón y La Ceiba (un poco más abajo de la charca de Figura 151-D). El dique natural es muy frágil para el alud de fango y piedras durante las fuertes lluvias en el futuro.

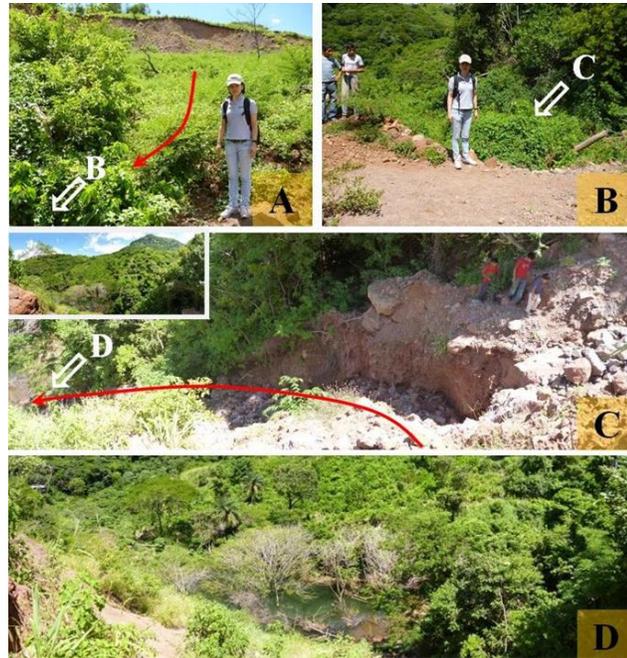


Figura 153. La ruta de las aguas superficiales

Medidas y Tareas Futuras: Las medidas contra deslizamiento de tierra de El Papalón tiene tres obras que se deben hacer por ejemplo: canales con caja intercepta (Figura 154-A), vegetación como prevención de la erosión (Figura 154-B) y gaviones en cestos de piedras (Figura 154-C y 154-D).

Las canales impiden la penetración de las aguas superficiales al deslizamiento de tierra. El afloramiento de la cabeza es la fuente de suministro de suelo y piedras después de erosionar la superficie de la tierra. Cuando tomamos en consideración el peso de la obra, la vegetación como prevención es mejor por la incorporación natural con el ambiente del sitio y la estabilidad contra efectos superficiales de la erosión.



Figura 154. Plan de las obras contra deslizamiento de tierra.

A: canales con caja intercepta, B: prevención de la erosión (vegetación), C y D: gaviones (cestos de las piedras).

Figura 155-A indica la imagen de las obras para la vegetación. Estas obras necesitan suelo y piedras como el terraplén, adecuada para las estaquillas de madera solamente sin la placa y/o la caja.

Figura 155-B indica los ejemplos los marcos de maderas como el tipo de 1 m y el tipo de 2 m. Ambos marcos de madera tienen 50 centímetros de ancho.

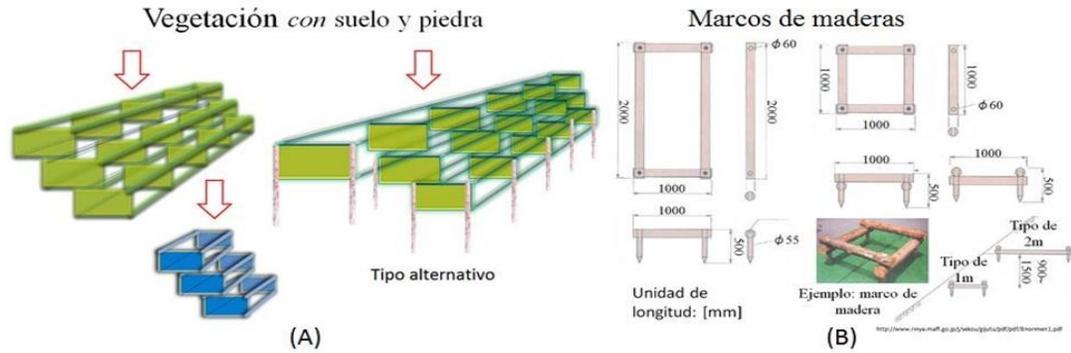


Figura 155. La obra de la vegetación.

(A: imágenes de la obra, B: marcos de maderas para vegetación)

Figura 156 indica los ejemplos de las obras de los gaviones.

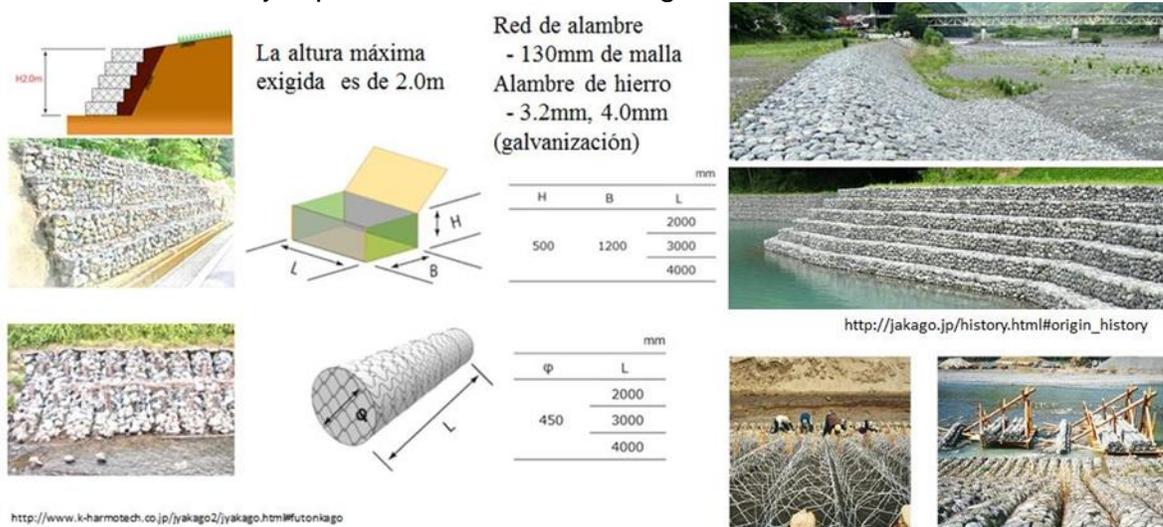


Figura 156. Ejemplos de las obras de los gaviones (cestos de las piedras).

Plan de las Futuras Pendientes: En la cuenca incluyendo el deslizamiento de tierra de El Papalón, los daños de las suposiciones son un deslizamiento de tierra, alud de fango y piedra, e inundación. Los círculos marcados en la Figura 157 indican lugares que se dañan por una lluvia torrencial.



Figura 157. La cuenca incluyendo el sitio de deslizamiento de tierra.

Necesitamos medir la cantidad de agua de los nudos del río donde confluyen con Quebrada El Saladito, Quebrada El Reventón y Quebrada La Ceiba. Además necesitamos medir las secciones transversales del río por ejemplo: cada 20 metros de la dirección desde abajo hasta la parte alta de la cuenca. Estas actividades se harán para conocer las relaciones entre las cantidades de lluvia y de agua del río.

Necesitamos la consideración sobre la evacuación por ejemplo: el cambio de domicilio, la indicación del refugio y las prácticas de evacuación de acuerdo a las normas de COPECO.

Conclusión:

- El deslizamiento de tierra en El Papalón se encuentra estable ahora, sin embargo, es posible que el deslizamiento de tierra y el alud de fango y piedras sobrevendrán durante las fuertes lluvias en el futuro.
- Es necesario hacer las obras de los gaviones sobre el pie y la obra de la vegetación del afloramiento de la cabeza del deslizamiento de tierra.
- Es necesario conocer las relaciones entre las cantidades de lluvia y de agua del río para proteger la vida humana y refugiarse contra un alud de fango y piedra.

Agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento a Señor Javier Casco (Director Ejecutivo), Señorita. Petrona Zavala, Señor Neptaly Ortiz y Señor Elgar Sorlano de ADEPES (Asociación de Desarrollo Pespirenses) por su disposición en facilitar información referente al deslizamiento de tierra en la comunidad de Pespire. Al Rector de la UPI Ing. Luis Eveline por su apoyo en la revisión del informe presentado.



Universidad Politécnica de Ingeniería

Revista Técnico Científica

MI MILIMETRO

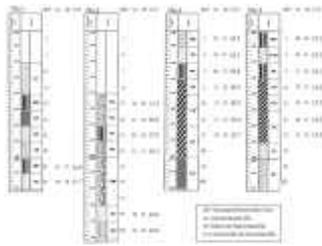
Órgano Oficial de Publicaciones de la UPI



CONTENIDO

5

Caracterización y Mapeos de Deslizamientos en Diferentes Sectores de Tegucigalpa



5.11

Deslizamiento de Tierra de El Papalón en Perspiré, Choluteca, Honduras.



OBSERVACIÓN No. 11: ESTUDIO DEL DESLIZAMIENTO DE TIERRA DE LA COLONIA CAMPO CIELO EN TEGUCIGALPA (DEPARTAMENTO DE FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS)

Kiyoharu Hirota^a
Shizuka Kamiya^b

Introducción: El presente informe tiene como objetivo dar a conocer el estudio realizado sobre el deslizamiento de tierra en el sitio de la Colonia Campo Cielo en el departamento de Francisco Morazán, Honduras, visita que se llevó a cabo el 16 de enero del 2013.

En septiembre del 2010, el departamento de Francisco Morazán fue azotado por una lluvia torrencial que ocasionó deslizamiento de tierra en la Colonia Campo Cielo ubicada al sur del Berrinche de Tegucigalpa, sin embargo se registra que este deslizamiento de tierra de la Colonia Campo Cielo ocurrió en el pasado. El sitio se estabiliza naturalmente, a pesar de eso, el suelo superficial está desprendiéndose poco a poco.

En la actualidad, este deslizamiento de tierra es tentativamente estable, sin embargo, cuando se presentan lluvias, es posible sufrir un desastre por un nuevo deslizamiento de tierra. Por lo tanto, hemos examinado las condiciones del terreno, acerca de cómo realizar las medidas de ingeniería en el futuro.

El informe describe el estado actual del deslizamiento de tierra de la Colonia Campo Cielo, y una propuesta sobre la investigación y las medidas en el sitio.

Análisis del Sitio Estado Actual: La Colonia Campo Cielo está dentro de la subcuenca del afluente el cual tiene por nombre Quebrada El Sapo es un afluente del Río Choluteca (Figura 158 y Figura 159). La pendiente en la Colonia Campo Cielo donde ha ocurrido el deslizamiento de tierra es muy frágil a causa del sitio que está cerca del límite de la otra subcuenca que hace un frente para la erosión.

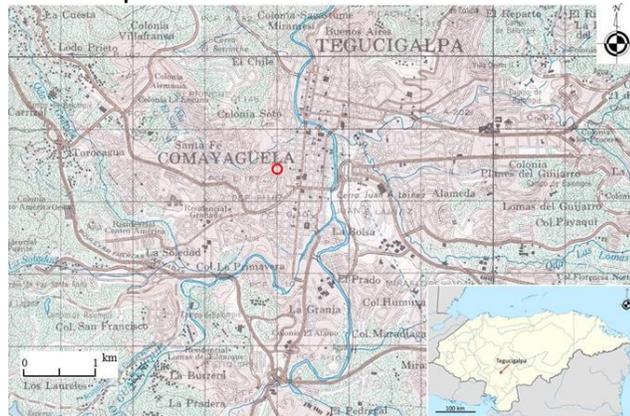


Figura 158. Campo Cielo, Francisco Morazán, Honduras (○: el sitio, por Tegucigalpa, 1/50,000”). La figura 159 representa la relación entre la cuenca que hay del sitio y la red hidráulica de la quebrada El Sapo. La cuenca tiene una subcuenca pequeña que se ensancha en la parte más alta. Es fácil de concentrar y de distribuir el agua lluvia en la Colonia Campo Cielo.

^a Tegucigalpa, Honduras. Programa de Voluntarios Japoneses para la Cooperación con el Extranjero, Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

^b Tegucigalpa, Honduras. Oficial de Programa Cambio Climático de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, Teléfonos: (504) 22326727. Correo electrónico: sbhirota@gmail.com

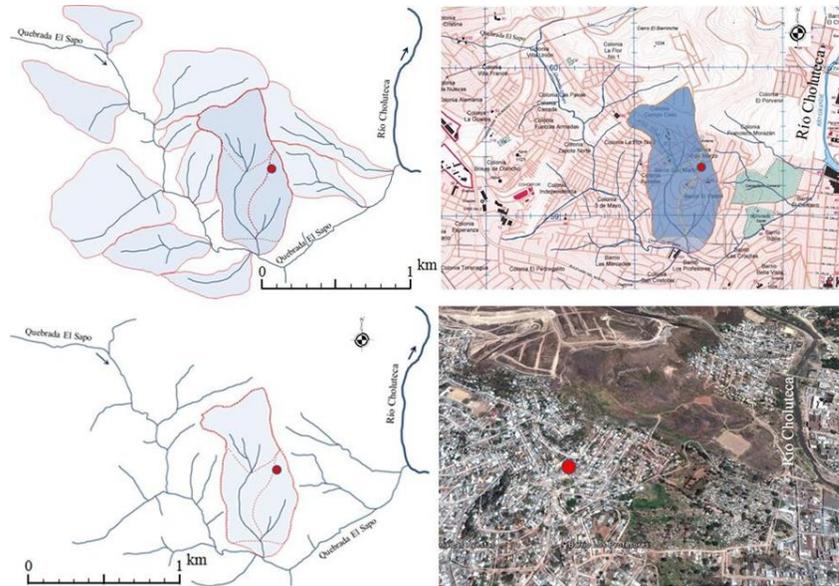


Figura 159. Esquema de la red hidráulica de la zona, el mapa por Tegucigalpa, 1/12,000¹ y la foto a vista de pájaro (●: el sitio de la Colonia Campo Cielo, por Google Earth).

La figura 160 indica el mapa geológico alrededor de la Colonia Campo Cielo. La geología pone el sitio como la arenisca del Grupo de Valle de Ángeles (Krc), la toba del Grupo del Padre Miguel (Tcg) y la andesita y la ignimbrita (Tpm) desde abajo. Se muestran fallas que tienen las direcciones del nornordeste-sudsudoeste y del este-oeste cerca de la Colonia Campo Cielo. Hay una tendencia que las rocas se separan por las grietas incluyendo las fallas.

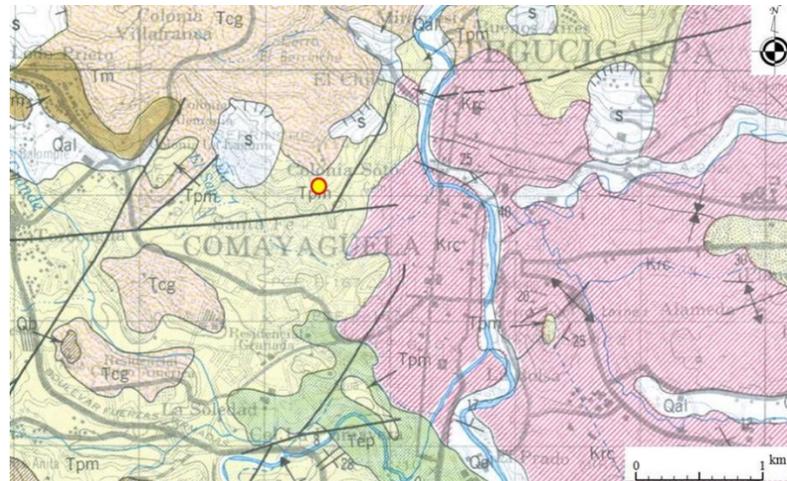


Figura 160. El mapa geológico de Tegucigalpa (○: el sitio, por "Tegucigalpa, 1/50,000").

Las descripciones sobre la geología son las siguientes según el Mapa Geológico de Honduras (Tegucigalpa, 1: 50,000).

- **Krc:** Formación Río Chiquito: Lutitas, limonitas, areniscas rosadas y algunas capas de conglomerado de cuarzo.
- **Tcg:** Miembro Cerro Grande: Ignimbritas con cristales de cuarzo y sanidino en una matriz vitrificada de color violeta con fractuación intensa y vertical.
- **Tpm:** Secuencia ignimbritas principales de tobas riolíticas, dacíticas y andesíticas de varios colores. Algunas rocas sedimentarias de clastos volcánicos y tobas bien estratificadas.

Perforaciones: Según el informe del proyecto del FONDO DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

¹, cuatro perforaciones se hicieron en los sitios de la Figura 161.



Figura 161. Los sitios de cuatro perforaciones (No.1-4), la foto (por Google Earth) y la plata.

- El sondeo No.1 tiene 6.0 metros de profundidad y tiene las coordenadas (x=476492.98, y=1559361.67) del sistema de UTM se dice “Universal Transverse Mercator”. La naturaleza del terreno se compone SC, MH, SM, SC, CH, MH y SC desde abajo (No.1 de la Figura 162).
- El sondeo No. 2 tiene 7.8 metros de profundidad y tiene las coordenadas (x=476497.18, y=1559343.3) del sistema de UTM se dice “Universal Transverse Mercator”. La naturaleza del terreno se compone GC, SC, GM, MH y GC desde abajo (No.2 de la Figura 162).
- El sondeo No.3 6.0 metros de profundidad y tiene las coordenadas (x=476475.55, y=1559306.39) del sistema de UTM se dice “Universal Transverse Mercator”. La naturaleza del terreno se compone CH, MH, SC y SM desde abajo (No.3 de la Figura 162).
- El sondeo No. 4 6.0 metros de profundidad y tiene las coordenadas (x=476484.28, y=1559274.52) del sistema de UTM se dice “Universal Transverse Mercator”. La naturaleza del terreno se compone SC, CH, MH, SP-SC y MH desde abajo (No.1 de la Figura 162).

¹ Enfrentando riesgos climáticos en recursos hídricos en Honduras: Incrementando resiliencia y disminuyendo vulnerabilidades en área urbanas pobres

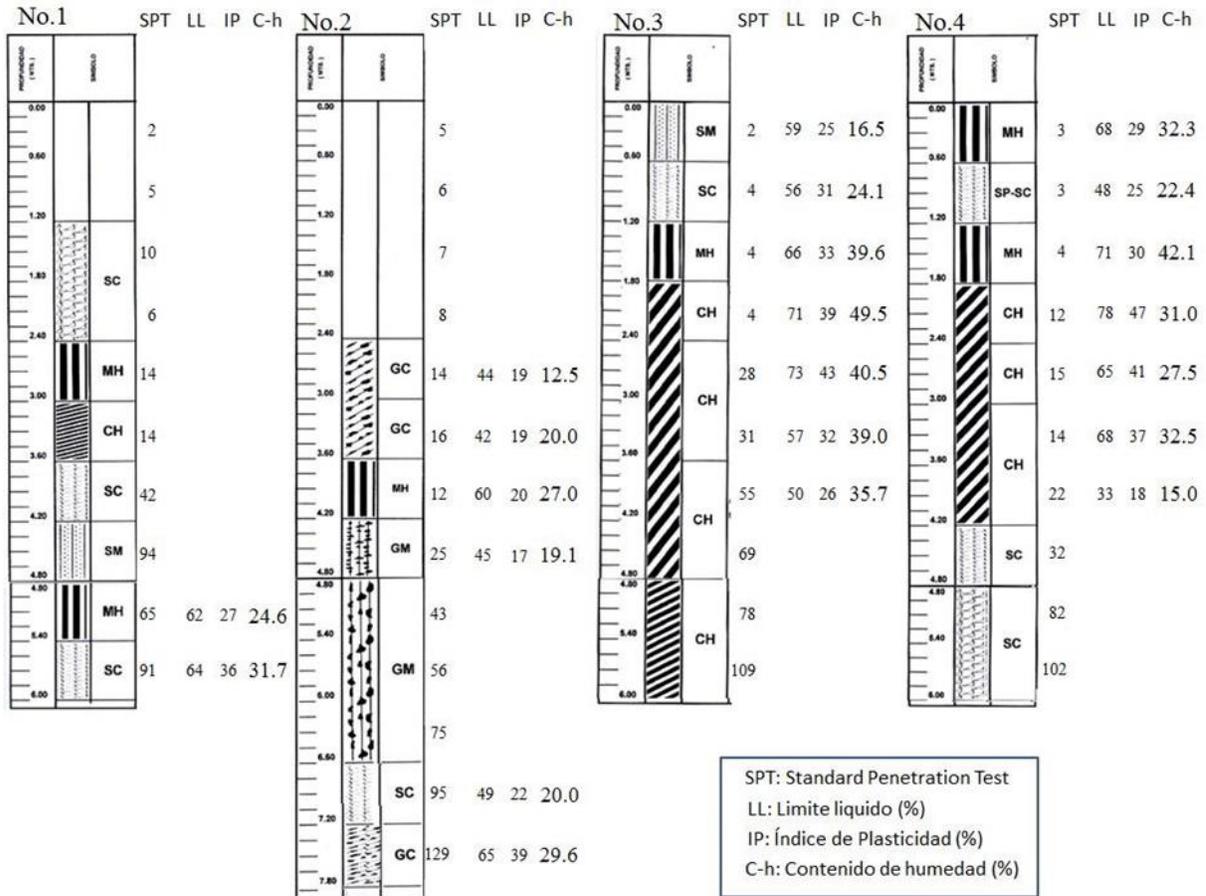


Figura 162. Los datos de las perforaciones (el cambio por informaciones del proyecto). S: S-soil o Sand (Arena), C: Clay (Arcilla), M: Mo(silt: Cieno), H: High liquid limit, altamente limite liquido (wL<50%), G: G-soil o Gravel (Grava), P: Poorly graded (pobremente granada-), por ejemplo: SC es la arena arcillosa.

Ambos los sondeo No.3 y No.4 tienen la arcilla con el altamente limite liquido como CH entre 1.0 metro y 5.0 metros de profundidad. Es posible que hay una influencia del flujo del suelo.

Observaciones en el lugar: La figura 163 corresponde a las fotografías de los sitios estudiados. Las líneas rojas indican las grietas y la línea discontinua amarilla indica el área del deslizamiento de tierra activa.



Figura 163. Los sitios de las Fotos en el lugar de Campo Cielo, por Google Earth. La figura 164 indica el estado del terreno pendiente que está erosionando. Una de las casas tiene el peligro de desprendimiento y el flujo del suelo (D de la Figura 164).



Figura 164. La cabeza del derrumbamiento de tierra (Sitio-1 de la Figura 161).

La figura 165 indica las grietas sobre la calle y el muro de contención. El sitio-2 está cerca de la cabeza del deslizamiento de tierra.



Figura 165. La cabeza del derrumbamiento
 (Sitio-2 de la Figura 161).

La figura 166 indica el terreno pendiente de la colina que hay detrás de la caseta (el D de la Figura 166). Es la cabeza del deslizamiento de tierra antigua y ahora presenta un poco de inestabilidad porque se deformó la puerta de la caseta.



Figura 166. La cabeza del derrumbamiento
 (Sitio-3 de la Figura 161).

La figura 167 indica la parte de la cabeza del deslizamiento de tierra. La escalinata se cayó un metro abajo (el D de la Figura 167).



Figura 167. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-4 de la Figura 161).

La figura 166 indica las grietas de la cuneta por compresión. El sitio-5 está cerca del lado del cuerpo del deslizamiento de tierra.



Figura 168. La cabeza y el lado de deslizamiento de tierra (Sitio-5 de la Figura 161).

La figura 169 indica la grieta y la dirección de la misma. El sitio-6 está en el lado del deslizamiento de tierra.



Figura 169. Lado de deslizamiento de tierra (Sitio-6 de la Figura 161).

La figura 170 indica la cabeza del deslizamiento de tierra que se ha partido como un bloque pequeño abajo. La parte del este del sitio-7 es el pie de la otra parte del deslizamiento de tierra. Ha sufrido la compresión del cuerpo del deslizamiento como vemos la inclinación del poste de electricidad (C y D de la Figura 170).



Figura 170. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-7 de la Figura 161).

La figura 171 indica la cuneta que está el lado del deslizamiento de tierra. La cuneta ha sufrido la compresión del cuerpo del deslizamiento.



Figura 171. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-8 de la Figura 161).

La figura 172 indica el estado del daño de la calle. La escalinata que cayó (B y C de la Figura 172). Un parte de la escalinata se inclina 12 grados al sur (como al ángulo de buzamiento de N50E12S, B de la Figura 172).



Figura 172. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-9 de la Figura 160).

La figura 173 indica el sitio-10 cerca del terreno de la pendiente, la calle ha sufrido daños.



Figura 173. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-10 de la Figura 161).

Hay unas grietas con las direcciones y los ángulos de buzamiento como N34W60S, N50E65S y N20W50S. La Figura 174 indica dos cabezas pequeñas de los movimientos de suelo después del flujo del suelo. Dos cabezas han partido cerca del lado de la calle para abajo.



Figura 174. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-11 de la Figura 161).

La figura 175 indica el rastro del flujo del suelo. El sitio-12 tiene la cabeza pequeña del movimiento de suelo abajo (la marca amarilla de la izquierda de la Figura 170).



Figura 175. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-12 de la Figura 161).

La figura 176 indica el sitio-13 que está el pie del flujo del suelo del deslizamiento pequeño de tierra.



Figura 176. La cabeza de deslizamiento de tierra (Sitio-13 de la Figura 161).

Proceso del deslizamiento de tierra [Proceso topográfico]: La Figura 177 indica las fotos por Google Earth que se han tomado cada año entre 2002 como el A, 2004 como el B, 2008 como el C, 2010 como los D y E y 2012 como el F. Se ha trazado un círculo discontinuo radio de 100 metros. La flecha a la izquierda de la Figura 177 indica el sitio-1 el terreno pendiente que está erosionando. La flecha a la derecha de la Figura 177 indica un montículo pequeño ha surgido el flujo de suelo en septiembre de 2010. Según una habitante de la Colonia Campo Cielo,

manifestó que el lugar temblaba casi veinte minutos a las 13 horas del 1 de septiembre de 2010. Cuando vemos las fotos por Google Earth, nos enteramos de la transición del montículo pequeño. En el 2008 hay una calle nueva evidentemente, esta forma es fácil para recibir las aguas pluviales.

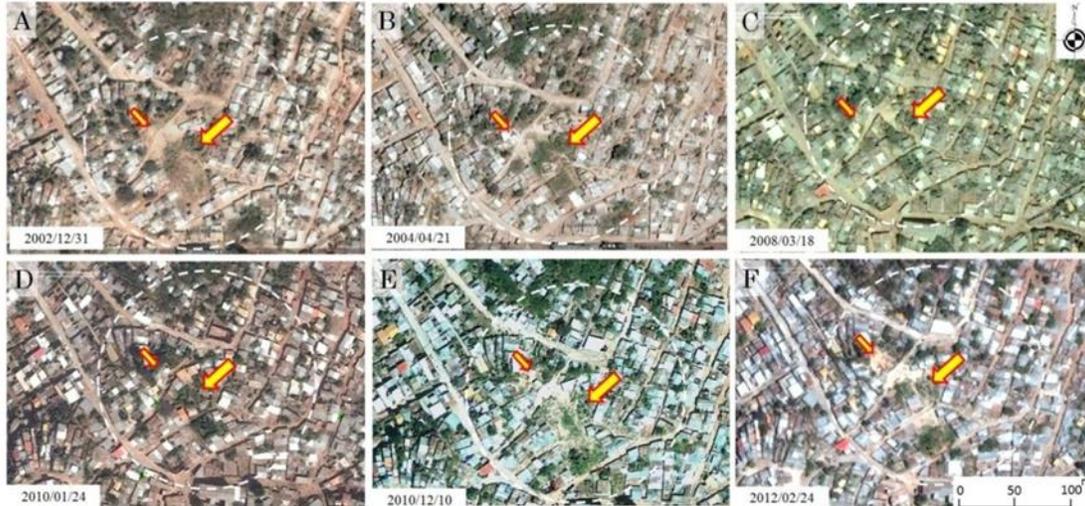


Figura 177. Proceso de geomorfología de la Colonia Campo Cielo
 (Las flechas marcan los sitios del movimiento del suelo, usamos las fotos por Google Earth).
 La figura 178 indica el rastro y el resultado del movimiento de tierra.



Figura 178. Las grietas por los deslizamientos de tierra (izquierda de la foto) y las formas de los deslizamientos unan tras otra continuamente (derecha de la foto).

Además la Figura 179 indica el proceso del movimiento de tierra de la Etapa-1 hasta la Etapa-7.

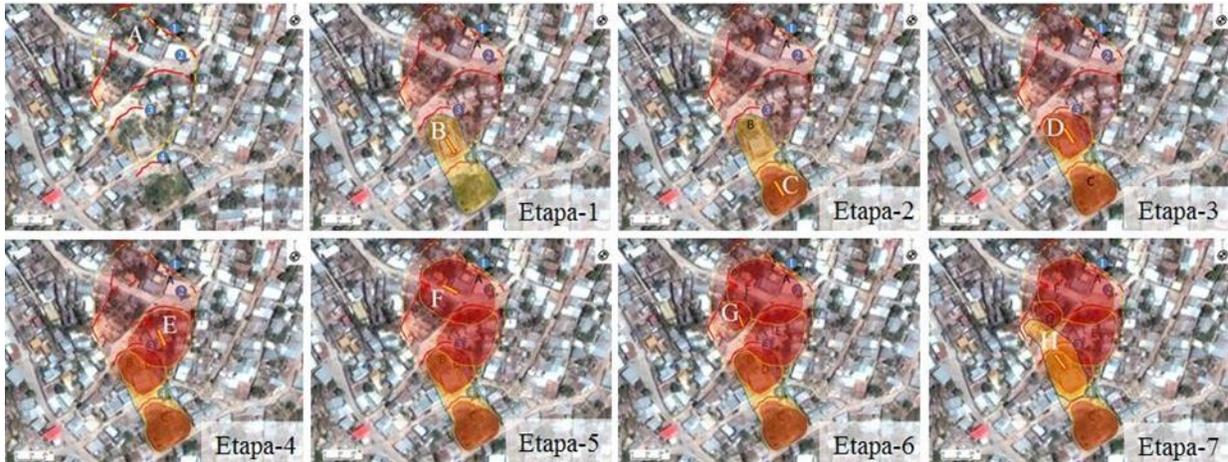


Figura 179. Proceso del movimiento de tierra.

- Etapa-1: El bloque del B fluctuaba como el flujo del suelo.
- Etapa-2: Después, el bloque del C se ha deslizado.
- Etapa-3: Después, el bloque del D se ha deslizado.
- Etapa-4: Después, el bloque del E se ha deslizado.
- Etapa-5: Después, el bloque del F se ha deslizado.
- Etapa-6: Después, el bloque del G se ha deslizado.
- Etapa-7: Después, el bloque del H fluctuaba como el flujo del suelo.

Estos movimientos de la tierra han ocurrido durante la Etapa-1 hasta la Etapa-5 por casi veinte minutos el 1 de septiembre de 2010. Dos horas después ha surgido la Etapa-6 (mensaje personal de Ing. Rubén Hernández, fecha 8 de febrero 2013). La figura 180 indica los bloques de los deslizamientos de tierra resultados del análisis del proceso del deslizamiento de tierra.



Figura 180. La foto a vista de pájaro alrededor de la Colonia Campo Cielo, por Google Earth. Una serie del movimiento de tierra tiene los factores interiores de aguas subterráneas, geología de toba, y también tiene los factores exteriores de las aguas pluviales y las modificaciones del suelo.

Medidas y Tareas Futuras:

Investigación

Con el fin de saber el estado del deslizamiento de tierra alrededor de la Colonia Campo Cielo, necesitamos analizar dentro del área de 500 x 450 m y hacer el plan de la obra del área de 160 m x 175 m (Figura 181).



Figura 181. El área de la investigación para el futuro de la Colonia Campo Cielo.

Medición de la tierra y el plan de las perforaciones

En la Figura 182 el campo del área es de 160 m x 175 m, la cual cubre la región del deslizamiento de tierra. Mientras necesitamos hacer las secciones de los deslizamientos de tierra (Figura 179).

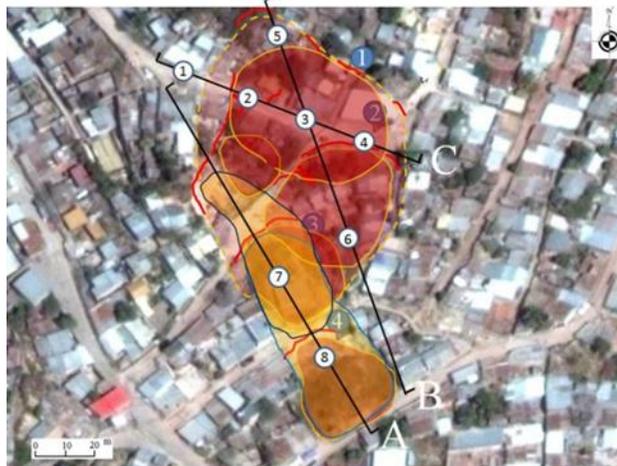


Figura 182. El plan de las líneas de los perfiles corte longitudinal y los puntos de los sondeos.

- La línea A: la escala de un ducentésimo (1:200), 130 metros de longitud, como objetivo analizar el deslizamiento de tierra y hacer el plan de la obra.
- La línea B: la escala de un ducentésimo (1:200), 90 metros de longitud, como objetivo analizar el deslizamiento de tierra.
- La línea C: la escala de un ducentésimo (1:200), 135 metros de longitud, como objetivo analizar el deslizamiento de tierra y hacer el plan de la obra.

Hacer la prospección eléctrica y la prospección sísmica sobre las líneas entre A, B y C.

- El punto 1: Sondeo-1, como objetivo saber los estados del suelo y la roca fuera del deslizamiento de tierra que ha supuesto, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.

- El punto 2: Sondeo-2, como objetivo saber la profundidad del límite del deslizamiento de tierra, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- El punto 3: Sondeo-3, como objetivo saber la profundidad del límite del deslizamiento de tierra, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- El punto 4: Sondeo-4, como objetivo saber la profundidad del límite del deslizamiento de tierra, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- El punto 5: Sondeo-5, como objetivo saber los estados del suelo y la roca fuera del cuerpo del deslizamiento de tierra que ha supuesto, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- El punto 6: Sondeo-6, como objetivo saber la profundidad del límite del deslizamiento de tierra, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- El punto 7: Sondeo-7, como objetivo saber la profundidad del límite del deslizamiento de tierra, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- El punto 8: Sondeo-8, como objetivo saber la profundidad del límite del deslizamiento de tierra, diez metros de profundidad que confirmar tres metros de la roca como el fundamento.
- Después perforar todos sondeos, usarlos para observar el nivel de las aguas subterráneas.

Observación del movimiento del suelo:

- Este lugar de la Colonia Campo Cielo presenta estabilidad relativa con excepción de que el sitio-1 de la Figura 161 como el terreno pendiente que está erosionando.
- Cuando se observó el estado del suelo este presento movimiento por lo que se puede medir el equipo de la inclinación dentro de la perforación y otra manera de medir un desplazamiento de la superficie de la tierra como la distancia de una grieta. Después de la investigación detallada, hacer el plan de la observación del movimiento del suelo.

Secciones

Experimentación:

- 1) Ensayo de esfuerzo cortante triaxial para saber resistencia al esfuerzo cortante (ángulo de fricción interna) y cohesión.
- 2) Pruebas de corte directo para saber el ángulo de fricción interna y cohesión con suelo obtenido por las perforaciones.
- 3) Experimentaciones para obtener los valores numéricos como densidad de suelo (ρ), contenido de humedad (ω), clasificación de suelos, limite liquido (ω_L), limite plástico (ω_P), índice de plasticidad (IP), pH de suelo, ángulo de fricción interna (ϕ) y cohesión (c), permeabilidad, etc.

Obras: Las obras para las medidas del deslizamiento de tierra tienen dos tipos de las obras generalmente entre la obra de controlar y la obra de frenar, por ejemplo:

la obra del terraplén para controlar al deslizamiento y la obra del pilote para frenar el deslizamiento de tierra (Figura 183).

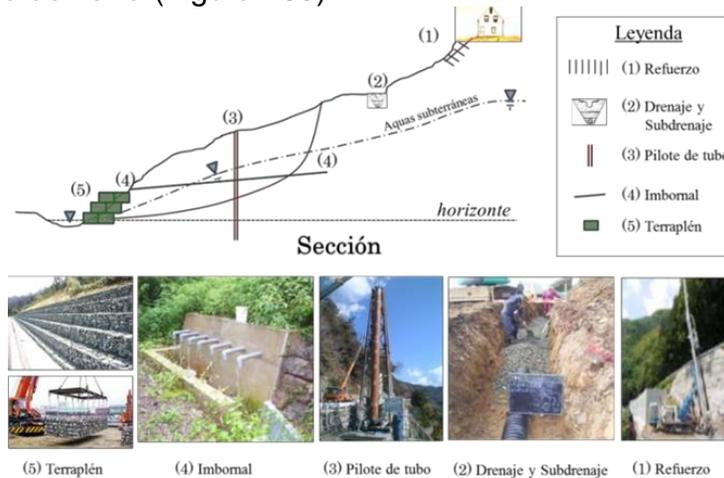


Figura 183. Los ejemplos de las obras para controlar y frenar el deslizamiento de tierra. Las obras de controlar al deslizamiento

1) Drenaje

Dos tipos para evacuar el agua libre como ser el canal de drenaje y el subdrenaje (Figura 184).

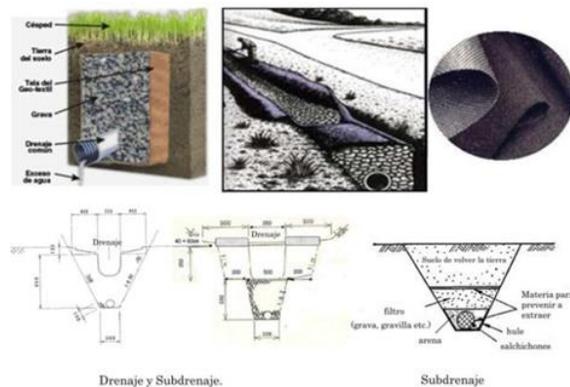


Figura 184. Imagen de la obra del drenaje superficial (Arriba: un ejemplo del subdrenaje).

El subdrenaje es adecuado para evacuar. La figura 185 indica las obras de los drenajes que son método de una gran seguridad.

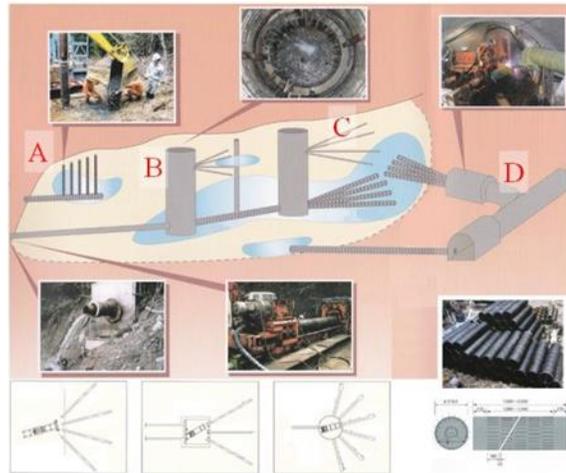


Figura 185. Imagen de las obras de los drenajes.

A: Pozos con filtro de gravas, B: Pozo,
C: perforaciones horizontales, D: Túneles.

2) Vegetación

Después de estabilizar la superficie para tender una red, hacer la vegetación (Figuras 186, 187 y 188).

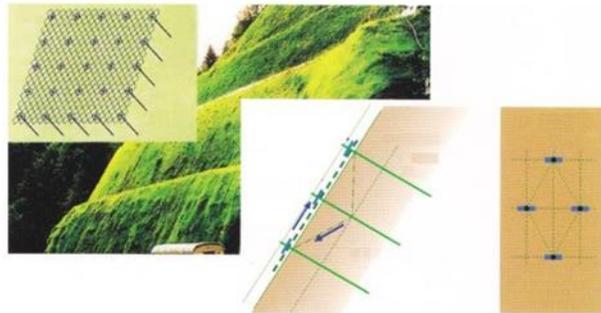


Figura 186. Ejemplo de la obra de la vegetación (por "Tecco" red).



Figura 187. Ejemplo de la obra de la vegetación (con los marcos de hierro).

La figura 188-A indica las imágenes de las obras para vegetación. Estas obras necesitan suelo y piedras como el terraplén, adecuada para las estaquillas de madera solamente sin la placa y/o la caja. La Figura 188-B indica los ejemplos los marcos de maderas como el tipo de 1 metro y el tipo de 2 metros. Ambos marcos de madera tienen 50 centímetros de ancho. Si es necesario hacer la obra con la situación actual.

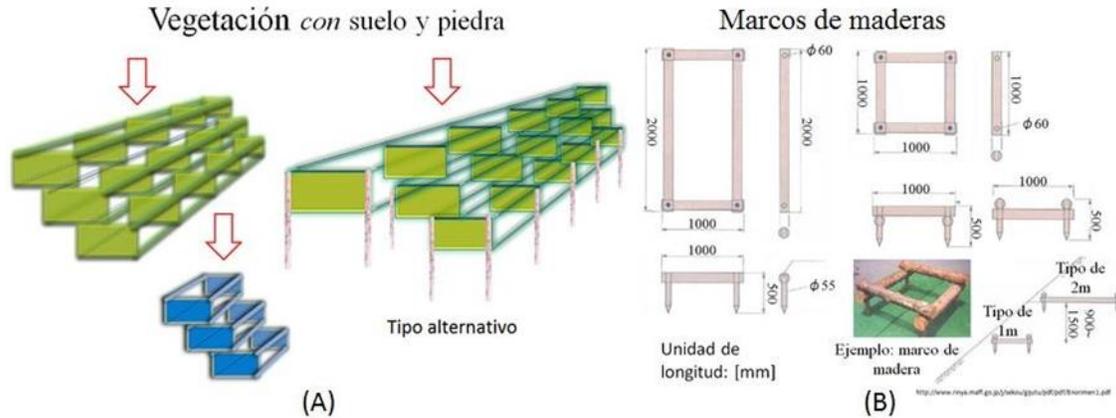


Figura 188. La obra de la vegetación.

(A: imágenes de las obras, B: marcos de maderas para vegetación)

3) Terraplén

La Figura 189 indica los ejemplos de las obras de los gaviones. Los salchichones son adecuados contra el terreno con pendiente que está erosionando, unas zanjas verticales.



Figura 189. Ejemplos de las obras de los gaviones (cestos de las piedras).

4) Refuerzo

La figura 190 indica los ejemplos del diseño del refuerzo usando las varillas de acero con un diámetro de una pulgada. Es mejor más grande del diámetro del corte del metal. Según las circunstancias, hacemos "micro pile" como el tubo de acero sobre la obra del refuerzo.

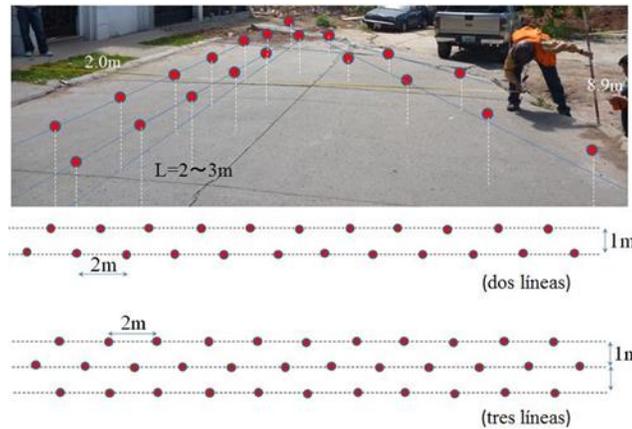


Figura 190. Ejemplos del diseño del refuerzo
(En la plata: dos líneas y tres líneas)

Las obras de frenar al deslizamiento:

1) Pilote: Las obras de los pilotes de tubos son muy eficientes contra el deslizamiento de tierra (Figura 191).



Figura 191. Ejemplo de las obras de los pilotes de tubos.

2) Ancla: La figura 192 indica la obra del ancla y el proceso de la obra.

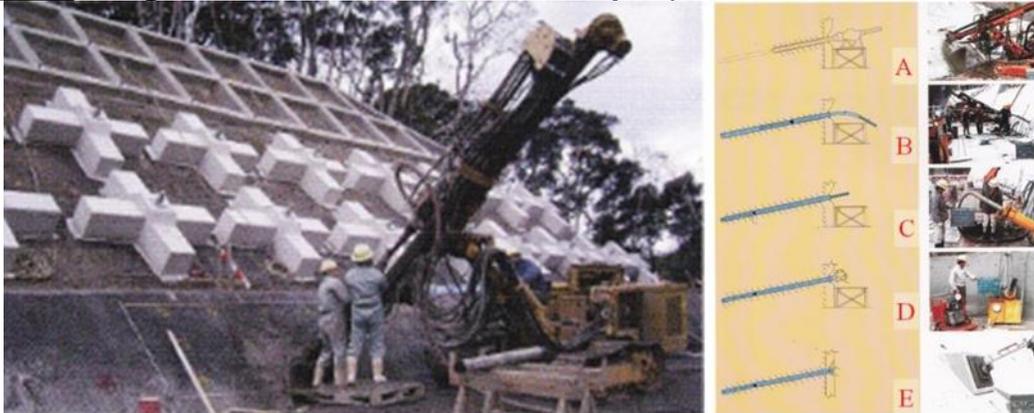


Figura 192. Ejemplo de la obra del ancla.

A: perforación, B: inserción del tendón del ancla, C: inyección de "leche" del cemento, D: tensión del ancla, E: fijación del ancla.

Conclusiones:

- Cuando la Colonia Campo Cielo fue azotada por una lluvia torrencial, es posible que el deslizamiento de tierra estuvo haciendo movimiento como las partes de los bloques continuamente después ha surgido el alud de fango y piedras por veinte minutos.

- Es necesario saber la profundidad y la dirección del movimiento del deslizamiento de tierra para hacer el plan de la obra. Además es necesario saber los estados del suelo del deslizamiento de tierra, especialmente sobre la característica dinámica de la arcilla del deslizamiento.

Agradecimiento: Manifestamos nuestro agradecimiento a Srta. Diana Muñoz, Sr. Luis Gerardo Aguirre, Sr. Hugo Daniel Medina Mejía, Sr. David Ricardo D’Cuire Galeano, Srta. Yolanda Lizeth Fletes Ramos, Sr. Victor Manueles, Sr. Eduardo Andrés Sánchez Flores, Sr. Roberto Elías Granados Chahín (UNAH) e Ing. Rubén Hernández (FACC) por su disposición en facilitar información referente al deslizamiento de tierra en la comunidad de la Colonia Campo Cielo, Tegucigalpa, Honduras. Al Rector de la UPI Ing. Luis Eveline. (FACC: Fondo de Adaptación al Cambio Climático)

CONCLUSIONES

Las áreas susceptibles a deslizamientos se pueden estimar con base a los factores físicos asociados con la actividad de deslizamiento: la historia de deslizamientos pasados, la roca firme, la calidad de pendiente y la hidrología. No es posible predecir de dónde y cuándo han de ocurrir los deslizamientos, aún con la mejor información disponible. Sin embargo, es posible identificar áreas susceptibles a deslizamiento. Este documento ha discutido algunos de los conceptos relacionados con la susceptibilidad a los deslizamientos: los diferentes tipos de deslizamientos, la naturaleza relativa de la zonificación del peligro de deslizamiento; su relación con las actividades de desarrollo; y zonas donde los efectos de los deslizamientos están siendo observados. El punto esencial ha sido demostrar la importancia de considerar los deslizamientos al inicio del estudio de planificación y de proporcionar una técnica que se pueda usar en todas las etapas del proceso de planificación. Se destaca las diferentes preguntas que deben ser formuladas en las diferentes etapas de la planificación. Se pueden generar muchas respuestas del uso de la zonificación del peligro de deslizamiento en cada etapa del estudio de planificación. Todo esto permitirá tener un conocimiento práctico de los términos, conceptos y de las importantes consideraciones relacionadas con deslizamientos y con la cartografía del peligro de deslizamiento. Las secuelas del huracán Mitch han demostrado tanto la existencia de muchos procesos de geodinámica externa como de zonas susceptibles de provocar desastres de gran magnitud. El desconocimiento de ello hace o hará que los desastres derivados de tales circunstancias parezcan súbitos e imprevisibles, por lo que sus efectos serán mayores.

Aunque la mayor parte de los desastres desencadenados por el Mitch corresponden a procesos hidrológicos, el de mayor efecto ha sido provocado por un fenómeno combinado de derrumbe y colada de detritos (Ciudad del Ángel) lo que pone de manifiesto la alta sensibilidad de muchas regiones del país para provocar este tipo de desastres geodinámicas.

El conocimiento de los fenómenos o procesos potencialmente catastróficos, especialmente los derivados de deslizamientos, derrumbes, crecidas, etc. es

indispensable para cualquier programa de prevención y debería ser una tarea prioritaria en la reconstrucción y en los planes de desarrollo de Tegucigalpa.

La mayoría de fenómenos observados han sido efecto o subproducto de la reactivación o aceleración de grandes deslizamientos, casi siempre desconocidos. A pesar de que existen soluciones técnicas a muchos de los problemas geodinámicas y torrenciales, sus costos son por lo general inalcanzables y hasta injustificables para economías como la hondureña. Por ello, más que en el tratamiento de los peligros, debe ponerse énfasis en la educación, la prevención y la planificación. Un plan o un proyecto nacional concertado pueden ser más útil que una serie de trabajos dispersos o de efecto local. Así, por ejemplo, muchas zonas de alto peligro pueden ser evacuadas y compensadas mediante un programa de colonización y ocupación racional del territorio en áreas de menor densidad o poco explotadas, siempre que se respeten los criterios de equilibrio ecológico y de áreas de conservación.

RECOMENDACIONES

Es necesario crear y desarrollar un programa nacional para el estudio y la prevención de los problemas de inestabilidad de masas y fenómenos torrenciales o hidrológicos asociados. Este programa deberá tener una naturaleza sostenida y sistemática y con base en una cartografía integrada de peligros.

Es indispensable incorporar al factor riesgo geodinámica e hidrológico en los planes, políticas y proyectos de desarrollo, crecimiento urbano, ordenamiento territorial y manejo ambiental. Sólo un conocimiento previo de los fenómenos potencialmente catastróficos y su vigilancia continua pueden permitir una adecuada prevención. La prevención de desastres es un factor fundamental del desarrollo duradero y sostenible.

Es recomendable crear una instancia especializada y suficientemente autónoma para abordar el estudio, evaluación y prevención de fenómenos de inestabilidad. El estudio y auscultación de los peligros geodinámicas requiere del establecimiento de una base topográfica confiable, actualizada y a escala apropiada (por lo menos en 1/25,000), por lo que se sugiere iniciar un programa para actualizar y completar el recubrimiento topográfico de la ciudad. Las modernas técnicas de restitución de cartas topográficas a partir de fotos aéreas constituyen la mejor alternativa para ello. Esta base topográfica, obviamente, servirá también como instrumento para la planificación y gestión territorial, los catastros, el diseño y control de infraestructura, etc.

Otro instrumento que se hace necesario es la carta geológica nacional, que debería ser actualizada y completada por lo menos a la escala 1/50,000. Esta carta, además de servir como base para una carta nacional de peligros tendrá utilidad para la evaluación y explotación de recursos naturales y el manejo ambiental. Todos estos instrumentos deben alimentar un banco nacional (sistema de Ordenamiento de la AMDC, SINAGER y SINIT) de datos, valioso y útil para la prevención y de planificación. Los casos críticos de inestabilidad requieren de un programa de auscultación y vigilancia. En función de los recursos del país, los métodos geodésicos parecen los más accesibles. Se hace necesario introducir la noción y la práctica del drenaje de terrenos en pendiente como una forma de prevenir y mitigar los efectos de fenómenos torrenciales y otros asociados a

inestabilidades. El manejo integral de cuencas y la explotación racional de recursos son parte de la lucha contra los desastres y de evitar la aceleración de deslizamientos o la extensión de los procesos erosivos.

Se hace imperativo iniciar campañas de educación para la población y de sensibilización de autoridades, con miras a crear y desarrollar una mayor conciencia de riesgo y prevención. En este aspecto el rol de UPI y de los medios de comunicación es fundamental. La difusión de los conceptos correctos referidos a peligros y desastres, el uso de una terminología adecuada y un trabajo sostenido de preparación para situaciones de emergencia y de programas de prevención es indispensable.

La Prensa, al igual o más que la población, requiere de una educación apropiada sobre la prevención y la gestión de desastres, con el fin de evitar las alarmas infundadas, la desinformación, el caos o el aprovechamiento de las situaciones de crisis que tienen efectos nefastos sobre la economía, la organización social y el comportamiento colectivo.

Los desastres tienen una secuela positiva en términos de reconstrucción de obras, de toma de conciencia, de cambios de actitud. Esta situación debiera ser aprovechada para iniciar programas sistemáticos de prevención, para revisar, repensar y redefinir parámetros técnicos de diseño y construcción de infraestructura, planes directores y programas de ordenamiento territorial y manejo ambiental. Resulta preocupante que muchos puentes y otras obras se reconstruyan según los mismos modelos y normas anteriores al desastre del Mitch. Se hacían necesarias las evaluaciones técnicas para redefinir los principios de diseño y de ubicación de obras.

Es necesario elaborar cartillas informativas sobre los fenómenos de inestabilidad, de fácil comprensión, destinadas a la población en general, explicando que muchas grietas, puntos de agua y otras manifestaciones de movimiento son parte de dichos fenómenos y que deben ser observados por la misma población. Las mismas cartillas deberán contener información sobre los lugares de construcción (no en bordes de ríos o al pie de volcanes, por ejemplo) e indicaciones sobre las formas de prevención.

REFERENCIAS

- Brabb E.E., Herrod B.L. (1989). "Landslides: Extent and economic significance": Proc., 28
- International Geological Congress: Symposium on landslides, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 385 p.
- Collins, B., Znidarcic, D. (1997). "Triggering Mechanisms of Rainfall Induced Debris Flows".
- Simposio Panamericano de Deslizamientos, pp. 277-286.
- Hungre, O. (1995). "A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches". Canadian Geot. J., pp. 610-623.
- Hutchinson J. N. (1968). "Mass Movement". Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold New York, pp. 688-695.

- Hutchinson J.N. (1988). "Morphology and geotechnical parameters or landslides in relation to geology and hydrogeology". Fifth International Symposium on landslides, Lausanne, pp. 3-35.
- IAEG Commission on Landslides (1990). "Suggested nomenclature for landslides". Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, pp.13-16.
- Leroueil S., Locat J., Vaunat J., Picarelli L., Lee H, Faure R. (1996) "Geotechnical characterization of slope movements". Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides, Trondheim, pp 53-74.
- Nicholson D.T., Hencher S. (1997) "Assesing potential for deterioration of engineered rock slopes".
- The Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment. Athens, pp 911-917.
- Popescu, M.E. (1996) "From landslide causes to landslide remediation" Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides, Trondheim, pp.75-93.
- Skempton A.W. Hutchinson J.N. (1969). "Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations". Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Mexico City. State of the art. Volume 2, pp. 291-340.
- Transportation Research Board (1996). "Landslides investigation and mitigation", Special report 247. Washington, 675 p.
- Varnes D.J. (1958). "Landslides types and processes". Special report 29: Landslides and engineering practice (E.B. Eckel, Ed.) HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-47.
- Varnes D.J. (1978). "Slope movement types and processes". Special report 176
- Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), Research Council, Oxford University, pp.11-33.
- Wyllie D.C., Norrish N.I. (1996). "Stabilization of rock slopes". Landslides investigation and mitigation.
- Edward J. Tarbuck y Frederick K.Lutgens (2005): Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física, 686pp., Pearson Educación.
- Campbell, R.H. Landslide Maps Showing Field Classifications, Point Dume Quadrangle.
- Carrara, A., and Merenda, L. "Landslide Inventory in Northern Calabria, Southern Italy" in Geological Society of America Bulletin, vol. 87 (1976), pp. 1153-1162.
- Cotecchia, V. "Systematic Reconnaissance Mapping and Registration of Slope Movements" in Bulletin of the International Association of Engineering Geology. no. 17 (1978), pp. 5-37.
- DeGraff, J.V. "Regional Landslide Evaluation" in Environmental Geology, vol. 2 (1978), pp. 203-214.

Propuesta Curricular

- Ingeniería Civil
- Ingeniería Ambiental
- Ingeniería en Geología ¡Nueva!
- Ingeniería en Diseño Industrial ¡Nueva!
- Ingeniería en Energía Renovable

- Ingeniería Financiera
- Ingeniería en Tecnología de la Información y Comunicación

- Técnico en Topografía y Catastro
- Técnico en Geología
- Diplomados Especializados en temas innovadores

Matriculate YA!



UPI

Formando una Nueva Generación
de de Ingenieros



Encuentranos



Japan International
Cooperation Agency



uni>ersia

