

Proyecto:

RESILIENCIA CLIMÁTICA DE DURÁN:

DISEÑANDO ESTRATEGIAS DE

ADAPTACIÓN PARA RIESGOS

HIDROCLIMÁTICOS

“RESCLIMA DURÁN”



Gobierno Autónomo
Descentralizado
Municipal del Cantón
Durán



Durán
Resiliente

PROGRAMA ESTRÁTÉGICO PARA EL DESARROLLO
DE COMUNIDADES URBANAS Y RURALES



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA



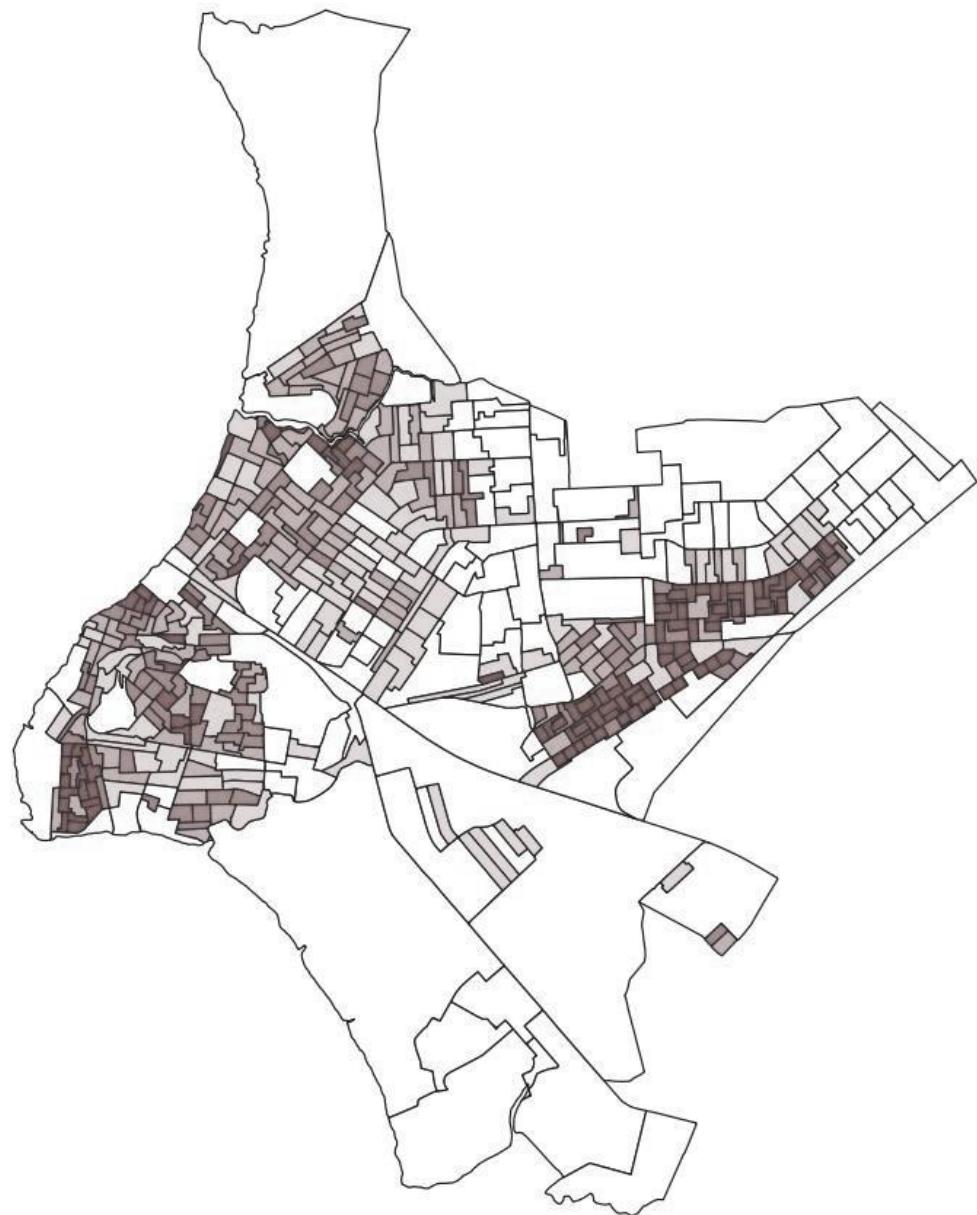
ESPOL
“Impulsando la sociedad del conocimiento”



Centro Internacional del Pacífico para
la Reducción del Riesgo de Desastres



Centro de Visión
y Robótica



**PRIMER INFORME DE AVANCE
RESCLIMA DURÁN**

2018

CONTENIDO

Acerca de los Directores

Acerca de los Co-autores

Presentación

CAPITULO 1

Introducción

Antecedentes

Análisis Histórico

CAPITULO 2

Clima Urbano

Introducción

Metodología

Procesamiento de la Información
Estadísticas de Posición y tendencia central

Prueba de tendencia Mann-Kendall

Prueba de la suma de rangos de Wilcoxon

Diagrama Ombrotérmico

Calculo de la Emisividad

Resultados

Análisis de tendencias

Análisis de diferencias de medias

Análisis de Diagrama Ombrotérmico

Análisis de índices Climáticos

Clasificación vegetal del Suelo,
cálculo de emisividad superficial

Análisis de Estacionalidad mensual

Conclusiones

Referencias

CONTENIDO

CAPITULO 3

Inundaciones

Introducción

Metodología

Procesamiento de la Información

Modelacion en Storm Water

Management Model (SWMM)

Inconsistencias en la información

Resultados Parciales

Conclusiones

Referencias

CAPITULO 4

Deslizamientos

Introducción

Marco geológico y área de estudio

Metodología

Resultados

Levantamiento geológico en el cerro
del Tres

Cerro Las Cabras

Cerro los Almendros

Cerro de la Cantera

Cerro San Enrique

Levantamiento geológico de cerro
Grande

Levantamiento Geomecánica

Resistencia a compresión simple

Conclusiones preliminares

Referencias

CONTENIDO

CAPITULO 5

Islas de Calor

Introducción

Metodología

Selección de equipos

Selección de muestreo aleatorio

Resultados

Parámetros de entrada para Urban

Weather Generator (UWG)

Mapas de entidades geométricas

Morfología urbana y Propiedades de materiales de construcción

Conclusiones

Referencias

CAPITULO 6

Análisis de Vulnerabilidad

Introducción

Vulnerabilidad

Enfoques sobre Vulnerabilidad y Cambio Climático

Vulnerabilidad en el Ecuador

Vulnerabilidad Durán

Marco Institucional

Contexto de las Políticas

Sectores Clave en Riesgo

Indicadores e Índices de la Vulnerabilidad

Metodología

Ponderación de variables sin categorías

Ponderación de variables con categorías

Precipitación (spi)

CONTENIDO

Ponderaciones de variables de
Sensibilidad Física
Exposición
Sensibilidad
Capacidad Adaptativa
Índices

Resultados

Discusión y Conclusiones

Proyecciones

CAPITULO 7

Plataforma Tecnológica y Red

Sensorial Urbana

Introducción

Objetivos

Materiales y Métodos

Resultados Parciales

Series de tiempo provenientes de
estaciones meteorológicas

Adaptadores

Registro de estaciones

meteorológicas

Ingreso de datos

Discusión

Capas vectoriales

Ingreso de datos

Visualización de la capa

Discusión

Capas rasters

Discusión

Datos de movilidad

Referencias

ACERCA DE LOS DIRECTORES



Mercy Borbor Córdova, Ph.D

Directora General del Proyecto
Docente e Investigadora
Coordinadora de Investigación
Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales

Oceanógrafa de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, realizó sus estudios de maestría y doctorado en State University of New York. Experta en cambio climático, ha estado involucrada en varios proyectos de investigación orientados al estudio de Salud del Océano. Ganadora de una beca FULBRIGHT y una beca para sus estudios postdoctoral en National Center for Atmospheric Research.

María del Pilar Cornejo, Ph.D

Co-Directora General del Proyecto
Directora Centro Internacional del Pacífico para la Reducción del Riesgo de Desastres
Decana Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales



Oceanógrafa de profesión, realizó sus estudios de maestría en Oregon State University y su doctorado en Meteorología y Oceanografía Física en University of Miami. Ha ejercido en cargos ministeriales como Subsecretaria de Gestión de Riesgo y actualmente es la Directora del Centro Internacional del Pacífico para la Reducción de Riesgos de Desastres, CIP-RRD. Miembro de National Meteorological and Hydrological Service Directorate, representante de todas las Universidades ecuatorianas. Experta en Riesgos costeros.



Raúl Mejía, M.Sc.

Director Componente Clima Urbano
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Coordinador Regional en Guayaquil

Ingeniero Estadístico de la Universidad Central del Ecuador y Master en Gestión y Auditorías Ambientales de la Universidad de Catalunya. Ha ejercido en la coordinación y evaluación de actividades de planificación, desarrollo organizacional, administración y Modelación Científica. Ha participado en proyectos de investigación científica. Fue director subrogante del Proyecto de Investigación “Índices ENOS” 2013 y director del Proyecto de Investigación “Vigilancia y Modelación Climática para la Predictabilidad del Dengue”

ACERCA DE LOS DIRECTORES



Mijail Arias Hidalgo, Ph.D

Director Componente Inundaciones

Docente e Investigador

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Experto en Recursos Hídricos, graduado de Ingeniero Civil en la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Realizó sus estudios de maestría y doctorado en Ciencias e Ingeniería Hídrica en los Países Bajos. Ha ejercido como Ingeniero Fiscalizador de Proyectos Hidráulicos y Viales, entre ellos el Proyecto Hidroeléctrico Calope. Ha colaborado en varios proyectos de Investigación y en el 2013 fue Asesor en Recursos Hídricos para el Programa de Control de Inundaciones de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.



Guillermo Soriano Idrovo, Ph.D

Director Componente Islas de Calor

Docente e Investigador

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Experto en Transferencia de Calor y Eficiencia Energética en Edificios. Ingeniero mecánico graduado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Culminó su maestría en Georgia Institute of Technology y su doctorado en Texas A&M University. Actualmente es el Director del Centro de Energías Renovables y Alternativas. Miembro de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánico y de la Red de Energía REDU. Ganador de una beca FULBRIGHT y galardonado como Assistant excepcional enseñanza por Texas A&M University



Eddy Sanclemente Ordoñez, Ph.D

Director Componente Islas de Calor

Docente e Investigador

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Doctor en Ciencias del Planeta Tierra en la Universidad de Nice Sophia-Antipolis, Francia. Realizó su maestría en Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente en Dinámica de Sistemas y Peligros Geológicos. Graduado de Ingeniero en Geología e Ingeniero en Electricidad especialidad Potencia en la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Participó en el Estudio Geofísico del Margen Ecuatoriano, en el área de geofísica y tectónica como parte de su tesis doctoral. Maneja los idiomas inglés, francés, portugués y alemán.

ACERCA DE LOS DIRECTORES



Daniel Ochoa Donoso, Ph.D

Director Componente Plataforma Tecnológica
Docente e Investigador
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Ingeniero en Computación graduado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, realizó sus estudios doctorales en Ciencias Computacionales en la Universidad de Ghent. Director del Centro de Visión y Robotica de la ESPOL. Ha realizado consultorías para el Centro de biotecnología Flanders en Bélgica, TELCONET y ANDEC. Investigador durante 2008-2010 en el Departamento de Telecomunicaciones y Procesamiento de Informacion en la Universidad de Ghent.

Indira Nolivos Alvarez, Ph.D

Directora Componente Estrategias de Resiliencia
Docente e Investigadora
Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales



Doctora en Ingeniería de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Libre de Bruselas y magister en Ingeniería de los Recursos Hídricos -Programa Interuniversitario entre la Universidad Católica de Lovaina y la Universidad Libre de Bruselas. Docente en niveles de grado y postgrado. Actualmente coordina la red nacional de investigación sobre la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) y participa como investigadora asociada en los proyectos: Ecuador VLIRNetwork, financiado por VLIR, Bélgica.



Ronald Villafuerte Arias, Msc.

Director Comunicación y Medios Audiovisuales
Docente
Escuela de Diseño y Comunicación Visual

Licenciado En Diseño y Producción Audiovisual, Magíster En Comunicación Pública de la Ciencia y Tecnología y magister en Diseño y Gestión de Marca de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Director de Fotografía de Campaña Publicitaria G y G Jeans. Productor y Director de Videos de Sensibilización de Bucay – Cumandá, KARISMA. Ha realizado Talleres de Iluminación y Realización Audiovisual en Estados Unidos. Profesor de Materia Integradora de la Carrera de Licenciatura en Diseño y Producción Audiovisual.

ACERCA DE LOS CO-AUTORES

En orden alfabético

Ángel Valdiviezo, Ing.

Jefe de Gestión Técnica y Análisis de Riesgos
Gobierno Autónomo Descentralizado de Durán, Dirección General de Gestión de Riesgos

Antonella Bermudez, Ing.

Analista de Gestión Técnica y Análisis de Riesgos
Gobierno Autónomo Descentralizado de Durán, Dirección General de Gestión de Riesgos

Ashley Casierra, Ing.

Analista de Investigación
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales

David Altamirano, M.Sc.

Profesor
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

David Matamoros, Ph.D.

Profesor
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Diego Siguenza, M. Sc.

Profesor
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Gabriel Mantilla, Ing.

Data Science
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y Escuela Superior Politécnica del Litoral

José Macías, M. Sc.

Analista Técnico del Laboratorio de Ensayos Térmicos
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Centro de Energía Renovables y Alternativas

Massimo Palmee, Ph.D.

Profesor
Universidad Católica del Norte, Chile

Mónica López, Ing.

Analista de Laboratorio
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Oswaldo Bayona, Ing.

Analista de Investigación
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Centro de Visión y Robótica

ACERCA DEL EQUIPO DE SOPORTE TÉCNICO

En orden alfabético

Andrea Vega, Lcda.

Asistente Administrativa | FIMCBOR – ESPOL

Ángel Clavijo

Estudiante Ingeniería en Geología | ESPOL – FICT

César Enderica

Estudiante Ingeniería Oceánica | ESPOL – FIMCBOR

Galo Castillo

Estudiante Ingeniería en Computación | ESPOL – FIEC

Jeremy Ger

Estudiante Ingeniería Oceánica | ESPOL – FIMCBOR

Jaqueline Litardo

Estudiante Ingeniería Mecánica | ESPOL – FIMCP

Jennifer Malavé

Estudiante Ingeniería en Geología | ESPOL – FICT

John Padilla

Estudiante Ingeniería en Geología | ESPOL – FICT

Karla Córdova

Estudiante Ingeniería Oceánica | ESPOL – FIMCBOR

Koraima Zambrano

Estudiante Ingeniería en Geología | ESPOL – FICT

María Belén Guaranda

Estudiante Ingeniería en Computación | ESPOL – FIEC

Melanie Jara

Estudiante Ingeniería Civil | ESPOL – FICT

Nelly Díaz

Estudiante Ingeniería Oceánica | ESPOL – FIMCBOR

Rommel Caiza

Estudiante Ingeniería Oceánica | ESPOL – FIMCBOR

Viviana Lauirido

Estudiante Ingeniería en Computación | ESPOL – FIEC

Los últimos tres años han sido declarados los más cálidos del registro moderno. El reporte sobre el estado del clima en el 2017 (emitido por la Sociedad Americana de Meteorología, <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/publications/bulletin-of-the-american-meteorological-society-bams/state-of-the-climate/>), lo confirma y además menciona que algunos indicadores climáticos alcanzaron valores extraordinarios, estableciendo nuevos records, entre ellos, el aumento del nivel del mar. Las ciudades y sus gobiernos autónomos descentralizados (GADs) enfrentan eventos climáticos inundaciones, deslizamientos e islas urbanas de calor, que impactan la productividad de la ciudad y el bienestar de sus ciudadanos. Las ciudades costeras y estuarinas enfrentan mas desafíos, porque además se suman las inundaciones por aumento del nivel del mar, que pueden ocurrir durante las mareas extraordinarias del mes o ya de manera permanente. El manejo del riesgo en el contexto del cambio climático se ha vuelto un elemento crítico de la planificación de Ciudades Resilientes ante eventos de desastre y de cambios climáticos. Antes estos retos se hace necesario un nuevo enfoque colaborativo entre los GADs y la Academia y centros de investigación, que permita evaluar los riesgos y desarrollar estrategias de las ciudades y de sus pobladores ante los eventos climáticos.

En este contexto, nació la iniciativa denominada Resiliencia Climática para Durán (RESCLIMA DURAN), entre el Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Durán y el Centro Internacional del Pacífico para la Reducción del Riesgo de Desastres (CIP-RRD) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, para en forma conjunta evaluar tres amenazas climáticas: Inundaciones, deslizamientos e Islas de Calor. Con esta evaluación se identificarán las mejores estrategias para que la ciudad de Durán, a través de sus instituciones municipales y actores claves, pueda conocer, difundir y posteriormente implementar medidas para reducir su vulnerabilidad antes los eventos extremos climáticos, y aumentar la resiliencia en su accionar a partir del conocimiento de los peligros climáticos y también de las acciones de la ciudadanía y los diferentes actores que conforman la ciudad de Durán. En este documento, se presentan los principales avances en la evaluación de las amenazas, la vulnerabilidad de la población y su capacidad de respuesta, aplicando diferentes métodos técnicos y científicos, dentro de un diálogo participativo con los actores institucionales que usarán esta información para su planificación municipal.

María del Pilar Cornejo R. de Grunauer
Directora del Centro Internacional del Pacífico para la Reducción de Riesgo

INTRODUCCIÓN



Fuente:EL UNIVERSO

Mercy Borbor Córdova & Ashley Casierra Tomalá

Antecedentes

Objetivo General del Proyecto

Diseñar estrategias de resiliencia para Duran, reduciendo la vulnerabilidad de la población frente a eventos de desastres en el contexto de la variabilidad y el cambio climático

Las ciudades son más vulnerables a los impactos del cambio climático debido a sus altas densidades, concentración de poblaciones vulnerables, efecto de islas de calor urbana, limitada infraestructura en asentamientos informales (IPCC, 2007), (IPCC, 2014b) Los estudios de riesgos a desastres señalan que las áreas urbanas pueden causar o contribuir a riesgos intensos (desastres) y extensivos (desastres de menor impacto y cotidianos). Y que los riesgos urbanos se suelen acumular a través del tiempo cuando los centros urbanos se expanden sin la infraestructura, servicios y manejo del uso del suelo (IIED, 2012)(Center for Environmental Assessments, 2016) (Lu & Stead, 2013).

Desafortunadamente este es un problema de muchas ciudades costeras en Ecuador, debido al crecimiento de los asentamientos

humanos informales, esto compromete la posibilidad de procesos de planificación urbana y aumenta el riesgo de desastre de dichas poblaciones que son vulnerables. Esta problemática se ve exacerbada y magnificada en los centros urbanos por los eventos de variabilidad (El Niño) y el cambio climático. Este es el escenario de Durán, con una población de 235,769 habitantes, ha sufrido inundaciones, deslizamientos y efectos indirectos sobre la salud de su población, generando una pesada carga económica en la administración pública local (Censos 2010, Riesgos XX).

El cantón Durán en la provincia del Guayas, descansa sobre las riberas orientales de los ríos Babahoyo y Guayas, y forma parte de la conurbación de Guayaquil y Samborondón. La ciudad de Durán está atravesada por grandes canales naturales (esteros) y artificiales, los mismos que conforman la red de drenaje pluvial en el área urbana.



"Resiliencia representa la habilidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a amenazas para resistir, absorber, acomodar y recuperar de los efectos de una amenaza a tiempo y de una manera eficiente, incluyendo la preservación y restauración de sus elementos esenciales estructurales y sus funciones" (UNISDR, 2010)

Aproximadamente el 95% del cantón Durán se encuentra asentado sobre suelos poco cohesivos de origen aluvial, mientras el 5 % restante yace sobre las rocas en los cerros testigos que son característicos de su orografía estas características condicionan el surgimiento de amenazas naturales. Por otro lado factores sociales e institucionales aumentan el riesgo a desastres, como el incremento de la población, la ocupación inadecuada del territorio, la localización de la infraestructura en zonas peligrosas, las condiciones de pobreza de la población, las debilidades institucionales y las políticas del desarrollo (Moser & Ekstrom, 2010). La falta de planificación de la ciudad ha provocado que los daños asociados a fenómenos naturales tales como inundaciones, deslaves, intensifiquen sus efectos adversos en sectores vulnerables de Durán. Para abordar esta problemática el Municipio de Durán, a través de la Dirección de Gestión de Riesgos conjuntamente con la Escuela Superior Politécnica del Litoral ha desarrollado la presente propuesta en el marco del concepto de resiliencia al cambio climático. Revisando definiciones encontramos:

"Capacidad de un sistema social o ecológico de absorber una alteración sin perder ni su estructura básica o sus modos de funcionamiento, ni su capacidad de auto-organización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio" (IPCC, 2007)

"Resiliencia es el producto de gobierno, empresas, poblaciones e individuos con una fuerte capacidad de adaptación. Se refiere a la capacidad de mantener las funciones principales del sistema frente a las amenazas, y sus impactos especialmente en las poblaciones vulnerables" (IIED, 2012)

Por otro lado, la definición de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres afirma que "Resiliencia representa la habilidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a amenazas para resistir, absorber, acomodar y recuperar de los efectos de una amenaza a tiempo y de una manera eficiente, incluyendo la preservación y restauración de sus elementos esenciales estructurales y sus funciones" (UNISDR, 2010)

Por otro lado se define la Vulnerabilidad como el grado o nivel en un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático. La vulnerabilidad es una función de la exposición a la amenaza, la susceptibilidad del sistema a la misma y la capacidad adaptativa para actuar o responder (IPCC, 2007)

La zonificación de las áreas más expuestas a los fenómenos de origen natural como terremotos, inundaciones, sequías y deslizamiento es un instrumento indispensable para elaborar planes de prevención, mitigación y preparación ante desastres, así como para reducir la vulnerabilidad de la población potencialmente afectada.



En Ecuador, es una política de estado contribuir a mejorar la ordenación del territorio y la gestión de la exposición en las zonas inundables, todo ello conforme lo estipula la Constitución de la República en su Título VII Régimen del Buen Vivir. El marco legal nacional (COTAD) busca desarrollar planes territoriales (PDOT) en materia de suelo y urbanismo, protección civil, costas, aguas, medio ambiente, integrando métodos que determinan la vulnerabilidad estructural, económica, institucional o social y proponer estrategias y planes para adaptación a los procesos de cambio global.

La zonificación de las áreas más expuestas a los fenómenos de origen natural como terremotos, inundaciones, sequías y deslizamiento es un instrumento indispensable para elaborar planes de prevención, mitigación y preparación ante desastres, así como para reducir la vulnerabilidad de la población potencialmente afectada. La reducción de la vulnerabilidad debe ser, por lo tanto, en forma explícita, un propósito del desarrollo, entendiendo como desarrollo el mejoramiento no sólo de las condiciones de vida sino de la calidad de vida y el bienestar social, cuyo objetivo general debe ser la atención de las necesidades del hombre y su entorno y el crecimiento con calidad.

En esta propuesta de investigación se busca desarrollar un trabajo de coproducción científica entre el Gobierno Municipal de Duran, el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI), la Escuela Superior Politécnica del Litoral

Subsecuentemente se busca construir Ciudades resilientes, es decir “que la ciudad o el sistema urbano tenga la habilidad para sobreponerse a una amplia gama de disturbios y estrés” (ref)(Romero-Lankao, Gnatz, Wilhelmi, & Hayden, n.d.). En el caso de Duran, consideraremos el concepto de resiliencia en relación a la amenazas urbanas y a la reducción de riesgos de desastre UNISDR Strategic Framework 2016-2021,” 2016 , pero muy ligado a la gobernanza de la ciudad y sus instituciones (IIED, 2012). En esta propuesta de investigación se busca desarrollar un trabajo de coproducción científica entre el Gobierno Municipal de Duran, el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI), la Escuela Superior Politécnica del Litoral y la participación de investigadores internacionales para establecer estrategias y medidas de adaptación que reduzcan el riesgo a las inundaciones, deslizamientos de tierra, e islas de calor, aumentando la resiliencia de la ciudad y toda la comunidad, teniendo en consideración participación diferentes actores claves en el proceso de determinación de vulnerabilidades, establecimiento de prioridades en las medidas y selección de indicadores para monitoreo, y evaluación de las medidas de adaptación para la ciudad.

Análisis Histórico de Inundaciones y Deslizamientos

Los datos analizados corresponden a reportes presentados por la base de DesInventar (www.desinventar.com) que incorpora datos de la Secretaría de Gestión de Riesgo (SGR), Junta Provincial de la Defensa Civil, Diarios y Canales de televisión Nacionales

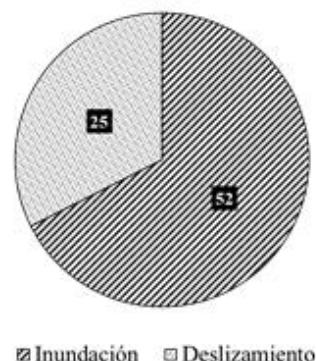


El inventario histórico de desastres ocasionados por eventos de inundación y deslizamientos en Durán cuenta con 77 reportes desde el año 1970 hasta el 2018 en el cantón Durán. De estos, 52 se asocian a inundaciones y 25 a deslizamientos que corresponde al 68% y 32% respectivamente.

En el año 2016 y 2017, se suscitaron indicaciones de gran magnitud debido a que las fuertes lluvias ocasionaron el desborde del río Bulu Bulu y varios canales de drenaje. Varios sectores rurales se padecieron los impactos de este evento como las Zanjas, La Virginia, La Victoria, El Guayabo, San Mateo, San Antonio, El Gallinazo, Pocos Palos, entre otros. En 2016 cerca de 2740 personas fueron afectadas y 88 hectáreas de cultivo de arroz se perdieron y en 2017 alrededor de 740 personas se vieron perjudicadas, se reportaron viviendas destruidas y perdidas de grandes extensiones de zona agrícola y camaronera. No se reportaron fallecidos.

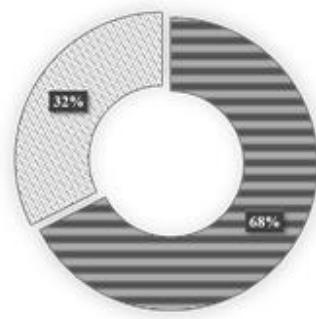
Desde 1970 hasta marzo 2018 se han reportado 52 eventos asociados a inundaciones y 25 a deslizamientos que corresponde al 68% y 32% respectivamente

Ocurrencia de Eventos en Cantón Durán (1970 – 2018)



■ Inundación ■ Deslizamiento

Ocurrencia porcentual de Eventos en Cantón Durán (1970 – 2018)



■ Inundación ■ Deslizamiento

Figura 1.1. Ocurrencia de eventos de Inundaciones y deslizamientos en el cantón Durán desde enero 1970 hasta enero 2018.
Fuente: Desinventar, SGR, Diarios Nacionales

Eventos Inundaciones

Las inundaciones en Durán se producen principalmente por el represamiento de aguas lluvias, taponamiento de canales de desagüe, colapso de sistema de drenaje, relleno inadecuado, falta o colapso de alcantarillado, nivel freático alto, aumento y desbordamiento de ríos como el Babahoyo, Bulu Bulu y Taura.

Los deslizamientos son ocasionados por lluvias, inestabilidad de taludes y taponamiento de canales naturales de drenaje.

Las inundaciones en Durán se producen principalmente por el represamiento de aguas lluvias, taponamiento de canales de desagüe, colapso de sistema de drenaje, relleno inadecuado, falta o colapso de alcantarillado, nivel freático alto, aumento y desbordamiento de ríos como el Babahoyo, Bulu Bulu y Taura. Los principales sectores afectados son 5 de junio, Una sola fuerza, Ferroviaria, Hermano Gregorio I y II, El Gallinazo, 16 de octubre, Oramas González, Roberto Gilbert, Magdalena, El Recreo, Luz María, Panorama y Primavera 2 y varias zonas rurales. Entre los impactos acaecidos se encuentra la evacuación de familias de sus casas, afectaciones en las viviendas, riesgo de contraer enfermedades vectoriales y apariciones de plagas, picaduras de víboras, perdida de bienes, suspensión de servicios básicos y clases, pérdida de cosechas, colapso de pozos sépticos, entre otros.

Los meses de febrero y marzo reportan una mayor ocurrencia de inundaciones, 43% y coinciden con la época lluviosa con niveles de precipitación acumulada más altos del año.

Eventos Deslizamientos

Los deslizamientos son ocasionados por lluvias, inestabilidad de taludes y taponamiento de canales naturales de drenaje. Las viviendas ubicadas cerca del cerro Las Cabras son los más afectados, sectores como Los Almendros, Mirador 2, Una Sola Fuerza, Las Terrazas, San Antonio y Santa Teresa han padecido los impactos de este evento que ha dejado personas damnificadas, viviendas destruidas por los deslaves de material pétreo y roca que ingresan a las casas, pérdida de bienes y enseres, amenazas de rompimiento de muros de contenciones de ríos y desbordamientos.

Durante los meses de marzo y abril se registran el mayor porcentaje de ocurrencia de estos movimientos de masa, 22%.

**Ocurrencia de Eventos en Cantón Durán
1970 – 2018**

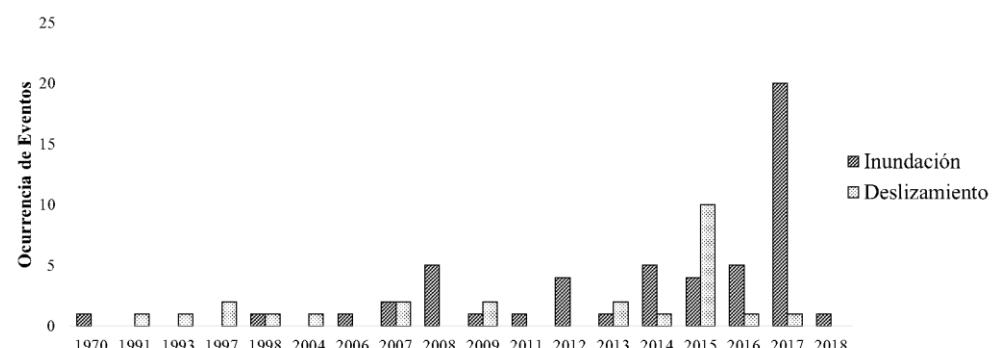


Figura 1.2. Ocurrencia histórica anual de eventos de Inundaciones y deslizamientos en el cantón Durán desde enero 1970 hasta enero 2018.

Fuente: Desinventar, SGR, Diarios Nacionales

Clima Urbano



Fuente: Autores

Gabriel Mantilla & Raúl Mejía

Introducción

Es provvisorio reconocer que el clima ya está cambiando y sus impactos se están sintiendo según lo declarado por los expertos del IPCC, en su quinto informe del año 2017 [1]. Y que en las próximas décadas se concebirá un agravamiento inevitable del cambio climático. Cáceres et. al, afirma que en Ecuador las temperaturas medias, así como las extremas tienen una tendencia creciente en el tiempo, atribuyendo las causas aún desconocidas, y que por el momento será difícil de definir [2], manera global que no es por menos a nivel regional y local. En concreto, los sectores más vulnerables son las áreas urbanas donde se concentra la mayor masa poblacional, que en un futuro se verá incrementada. Planteando desafíos para las entidades Gubernamentales, en disminuir los potenciales riesgos que se pudieran generar por los efectos del cambio climático. En términos de riesgos, una persona, sistema u objeto se verá vulnerable al no poder contar con las herramientas necesarias para enfrentar los desastres naturales, perdidas sociales y económicas que se pudieran generar.

Objetivo General

Evaluar y comparar el comportamiento climatológico de la precipitación, temperatura mínima y máxima absoluta para las ciudades de Guayaquil, Durán y Milagro. Para ello se utilizará información en episodios diarios medidas en las estaciones meteorológicas ubicadas en cada ciudad.

Bajo estos términos, el Gobierno Municipal de Durán, se ha visto interesado en analizar estos riesgos que se pudieran generar a futuro en la ciudad metropolitana, desarrollando un trabajo de coproducción científica junto con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) y la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Para promover estrategias y medidas de adaptación que reduzcan el riesgo de inundaciones, deslizamientos de tierra e islas de calor, aumentando la resiliencia de la ciudad y su comunidad. Esta propuesta se suscribió en febrero de 2018 bajo contrato con ESPOL, en un proyecto de investigación denominado “Resiliencia climática de Durán: Diseñando estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA). El área de estudio tiene un alcance desde la zona urbana y rural en la ciudad de Guayaquil y Milagro, estando en las cercanías de Durán. Para el proyecto se propusieron evaluar 3 amenazas específicas; Deslizamientos de Tierra, Islas de calor e Inundaciones, siendo las Islas de calor el tema principal de este informe.

Objetivos Específicos

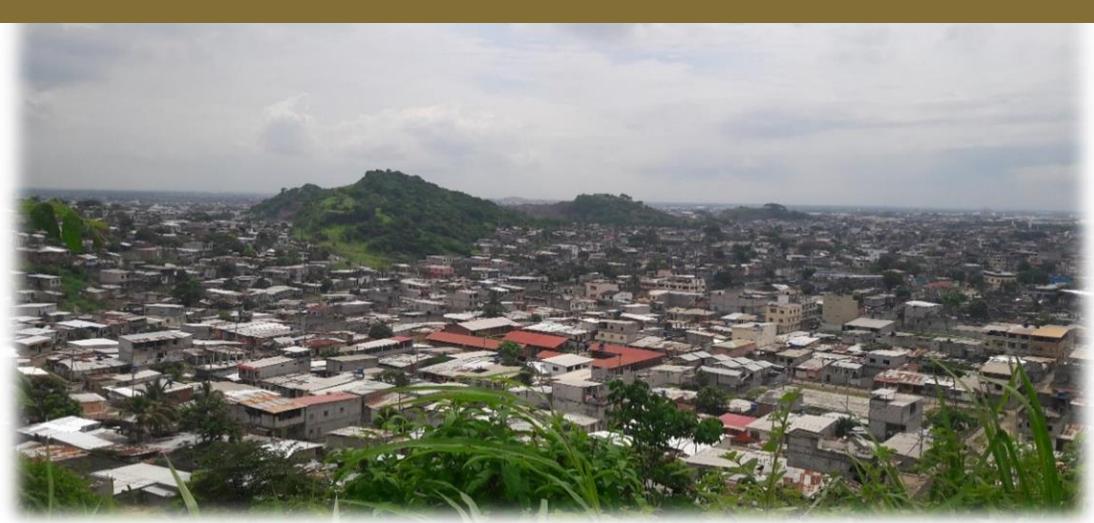
Desarrollo de base de datos en días de precipitación, temperatura del aire mínima y máxima para las estaciones de: Divino Niño en Durán periodo agosto de 2014 - mayo de 2018, Guayaquil Aeropuerto periodo enero 2008 – mayo de 2018, y Milagro periodo enero de 2008 – mayo de 2018.

Calculo de tendencias lineales y prueba de diferencias de medias para las 3 estaciones meteorológicas.

Diagrama Ombrotérmico para la precipitación y las temperaturas por estación meteorológica.

Calculo de índices climáticos por estación meteorológica (Número de días en un año con lluvias mayor a 20 mm, número de días en un año con lluvias mayor al extremo superior normal, porcentaje de días con temperaturas mínimas mayor al percentil 90, número de días en un año con temperaturas mínimas mayores a 20 C°).

Clasificación vegetal del suelo, calculando la emisividad superficial en la zona metropolitana de Durán.



Fuente:Autores

Metodología

Para el análisis estadístico se utilizó el software libre de programación R [3]. El software produce imágenes de alta calidad, una vez ordenados los datos gracias a la librería ggplot [4]. A medida que se van exponiendo los métodos, se especifica que librería se implementó en su respectivo análisis. Las series de tiempo fueron provistas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, mientras que para el análisis de sensores remotos se utilizó información de reanálisis recogida de distintas fuentes globales tales como la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Para el análisis es necesario contar con una base de datos depurada para el análisis de clima, se desarrolló una base de datos en días

desde enero de 2008 hasta mayo de 2018, 11 años y 5 meses. Se propuso inicialmente trabajar con la estación Taura que se encuentra en la zona rural en las cercanías de la ciudad de Durán y Milagro, pero al no contar con información actualizada, se utilizó la estación Milagro en Ingenio Valdez que consta en las bases de datos del INAMHI, mientras que la estación de referencia es la de Guayaquil Aeropuerto, ubicada en el Aeropuerto Simón Bolívar en Guayaquil. La estación en Durán está ubicada en el cuartel número 4 del Cuerpo de Bomberos a la altura de la Iglesia Divino Niño. A continuación, se muestra la respectiva descripción de cada estación.

Tabla 2.1. Coordenadas de las estaciones meteorológicas

Código	Nombre	Lugar	Longitud	Latitud	Altitud	Tipo
M0056	Divino Niño Durán	Durán	-79.8334	-2.1695	7	Automática
M5133	Guayaquil Aeropuerto	Guayaquil	-79.88333	-2.1533	5	Convencional
M0037	Milagro Ingenio Valdez	Milagro	-79.59916	-2.1155	13	Convencional

Procesamiento de la Información

Para las estaciones convencionales, el personal del INAMHI, registra los datos de modo diario que son proporcionados por los observadores de cada estación, el observador toma la medición a las 7 de la mañana aproximadamente, y luego por dictado se informa a las oficinas del INAMHI el valor de cada variable (Precipitación, Temperatura Mínima y Máxima). Mientras que, para la estación automática en Durán, se extrae por descarga directa de la memoria ubicada en el registrador de datos en periodos minútales. Luego utilizando el software Vaisala HydroMet Systems (QCD101-R116) se transforman los datos recodificados por la estación automática, a archivos de Excel. Se procesan los datos en el software R, obteniendo el acumulado diario de Precipitación, desde las 7:00 am del día anterior, hasta las 7:00 am del día actual. Para las temperaturas, se obtiene el valor mínimo registrado de la temperatura mínima del día, y el valor máximo registrado de la temperatura máxima del día. Se verifica que no existan valores sospechosos que superen los rangos históricos de la variable, para con estos datos generar una base de datos en día para las 3 variables atmosféricas.

La estación del Divino Niño Durán cuenta con registros de precipitación desde el 27 de agosto de 2014, hasta la actualidad, y para las temperaturas desde el 1 de enero de 2015 hasta la actualidad.

Estadística de Posición y tendencia central

Se realizaron diagramas de cajas por variable (temperatura y precipitaciones), para conocer la variabilidad interanual del análisis de tendencia, y la variabilidad entre estaciones para el análisis de diferencias de medias. Los diagramas de cajas pertenecen a las estadísticas de posición [5], son una gráfica donde se visualizan los datos ordenados de menor a mayor entre el 25%, 50% y 75% denominados cuartiles. Para el análisis también se usaron percentiles, pertenecientes a las medidas de posición representando un porcentaje de observaciones dado [6]. Los diagramas de cajas están compuestos por rectángulo o caja donde se concentra la mayor dispersión de los datos, conocido como rango intercuartílico, también figuran dos bigotes en los extremos siendo el mínimo y el máximo observado.

Además, podemos observar los valores atípicos que se muestran afuera del rango intercuartílico. Para el análisis también se usaron percentiles, pertenecientes a las medidas de posición. En los diagramas de cajas para el análisis de tendencias, se visualiza una línea recta de color azul, representando la línea de tendencia a lo largo del periodo de análisis. La línea de tendencia es obtenida por la regresión lineal de una de las medidas de tendencia central como es la media, y el vector de fechas. Para obtener la media, se promedian los valores observados diarios de cada año.

Prueba de tendencia Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall es usada para analizar los datos recolectados cronológicamente en el tiempo, y conocer si los valores están incrementando o disminuyendo en las precipitaciones o temperaturas. Es posible que el análisis de vea afectado por la poca cantidad de años que cuentan las series. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un periodo de al menos 30 años, para el uso de periodos estándares de caracterización del clima de una región siendo comparables con otros, permitiendo conocer tendencias, fases de oscilación de periodos largo y cambios climáticos [7]. La prueba no paramétrica de Mann-Kendall, trabaja para todas las distribuciones incluso bajo el supuesto de no normalidad, aunque no debería existir correlación serial [8]. La prueba Mann-Kendall estacional en cambio tiene en cuenta la estacionalidad de la serie [9], cabe recalcar que se implementaron ambas pruebas de modo mensual, (frecuencia de 12 meses) utilizando la librería trend en R, con las funciones mk.test y smk.test [10].

Prueba de la suma de rangos de Wilcoxon

La prueba no paramétrica Wilcoxon para dos muestras independientes, fue diseñada para comparar dos muestras pareadas, es decir en nuestro enfoque, la estaciones en diferentes ubicaciones geográfica midieron en el mismo día diferentes variables atmosféricas, la hipótesis nula asume que la diferencia

entre las observaciones de temperatura o precipitación es igual a cero [11]. Al ser una prueba no paramétrica es implementable en datos con ausencia de normalidad, se utilizó la librería stats del software R, a través de la función wilcox.test para el respectivo análisis [12].

Diagrama Ombrotérmico

El diagrama Ombrotérmico, es una gráfica de doble entrada que compara la serie estacional de la precipitación media y temperatura media en un mismo gráfico, donde los ejes izquierdo y derecho contienen los intervalos de medición de cada variable. Es necesario indicar que la función diagwl del paquete climatol [13], necesita las series listas para la elaboración del gráfico. La función utiliza la mínima absoluta de la temperatura mínima diaria de cada mes, el promedio mensual de cada mes para; la precipitación diaria, temperatura mínima y máxima diaria. García analizó las características climáticas en los sectores corológicos de vegetación en las cuencas de Duero y del Tajo, realizando un estudio de las características ómbricas de la zona [14].

Cálculo de la Emisividad

La Emisividad es la radiación térmica emitida por la superficie del suelo debido a su temperatura, con esto se refiere a la ecuación ENB. La emisividad es usada para determinar la temperatura de la superficie en combinación con el índice de área foliar (LAI) y el índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI). Según el manual de SEBAL [15], se puede obtener la emisividad a través de las expresiones matemáticas siguientes:

$$\text{ENB}=0.97 + 0.0033 \times \text{LAI} ; \text{LAI} < 3 \text{ y } \text{NDVI} > 0$$

$$\text{ENB}=0.98 ; \text{LAI} \geq 3 \text{ y } \text{NDVI} > 0$$

$$\text{ENB}=0.99 ; \text{NDVI} \leq 0$$

El índice de área foliar y el índice de vegetación de diferencias normalizadas fueron obtenido a partir de información de sensores remotos en periodos diarios desde el 1 de enero de 2008 hasta 31 de mayo de 2018, a una escala 5 km de resolución, derivado de la NOAA Climate Data Record (CDR) de Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Surface reflectance [16-17].

Voogt realizó un estudio de clima urbano, indicando que las mejoras en resolución espectral provistas por la nueva generación de satélites basados en sensores, provee una mejora en los cálculos de parámetros radioactivos de superficie como la emisividad, y asegura que son apropiados para el uso de modelos atmosféricos [18].

Para el análisis se depuran correctamente las imágenes de reanálisis (NDVI y LAI) en el software R utilizando la librería raster [19], para luego extraer las series de tiempo de los índices utilizando las coordenadas anteriormente descritas en la tabla 1, de las estaciones meteorológicas de Guayaquil, Durán y Milagro. Luego se calcula la emisividad por estación usando las series obtenidas de NDVI y LAI según la ecuación 1, que por consiguiente será promediada a meses. Se visualizará el índice ENB en series de tiempo y una gráfica de isolíneas de contorno usando la función filled.contour de librería graphics [20].

Resultados

Análisis de tendencias

Análisis de tendencias para las precipitaciones

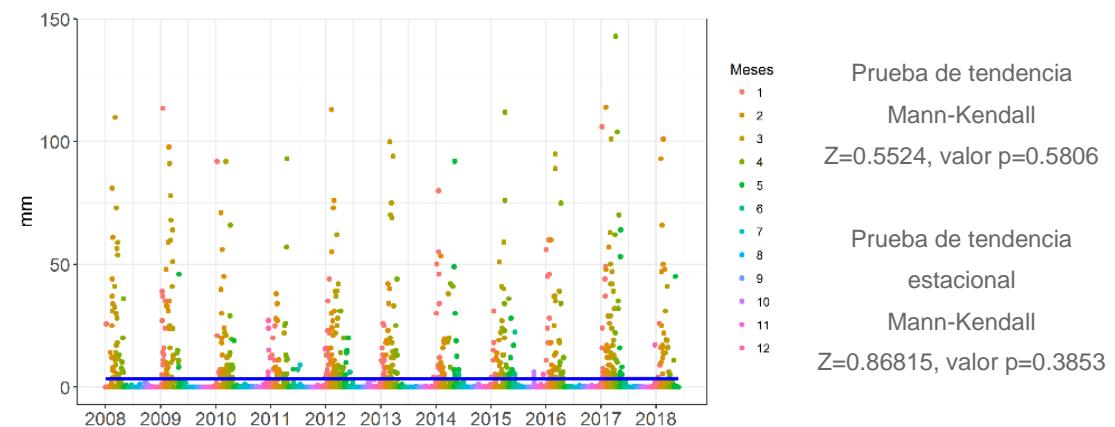


Figura 2.1 Tendencias lineales por Año para la precipitación.
Guayaquil Aeropuerto (Enero 2008 – mayo 2018)

Podemos observar en la grafica 1, que las precipitaciones en la estación de Guayaquil, no presenta un patrón de tendencia a incrementar o disminuir, la prueba de Mann-Kendall tiene un valor p mayor a la región de rechazo 0.05, por tanto, podemos apegarnos a la idea de que los datos provienen de una población con relaciones independientes e idénticamente distribuidas. Del mismo modo si tomamos en cuenta la estacionalidad en los 12 meses, podemos decir que la prueba cumple con el mismo criterio, el valor p es mayor que la región de rechazo.

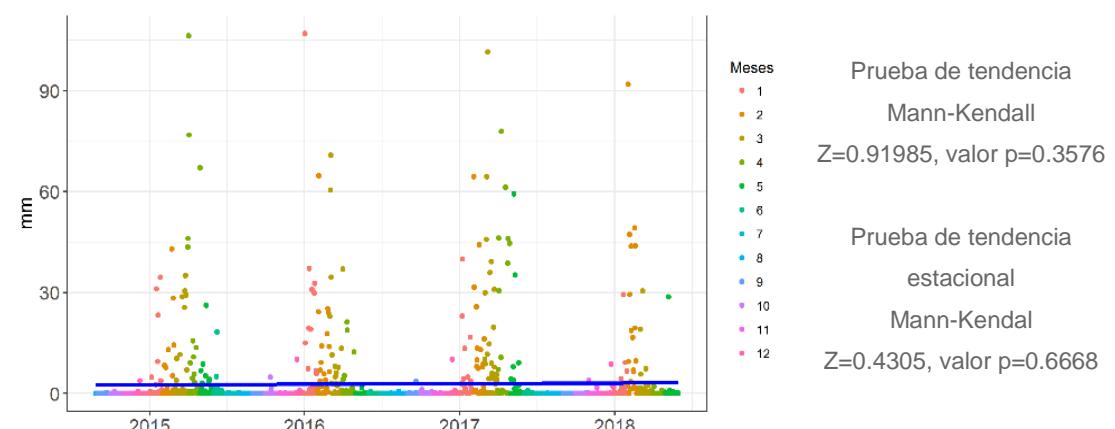
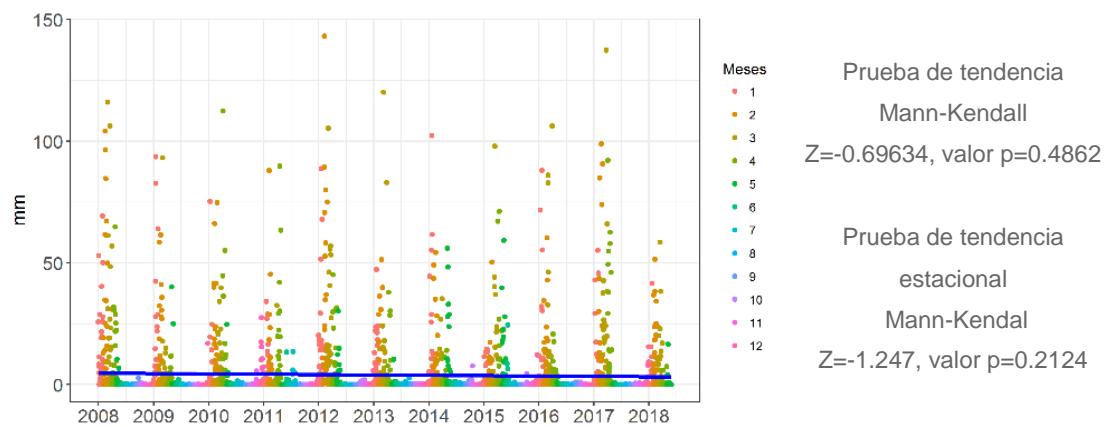


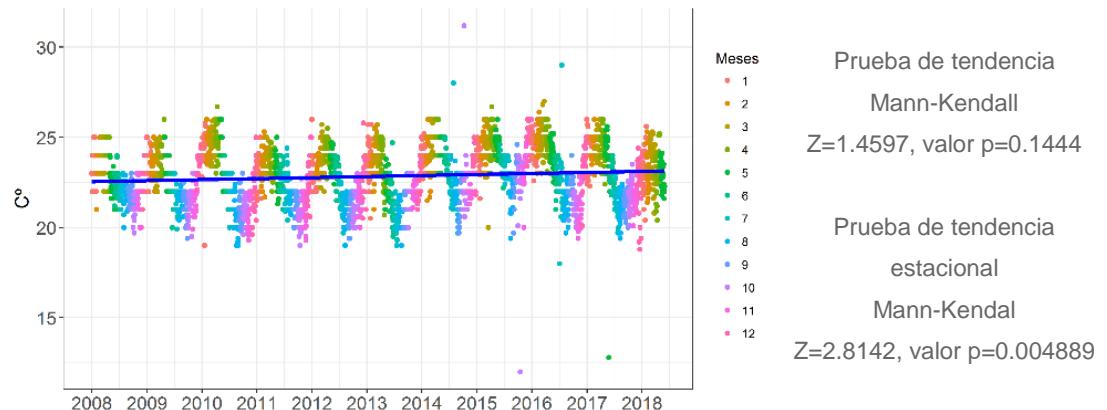
Figura 2.2 Tendencias lineales por Año para la precipitación
Divino Niño Durán (agosto 2014 – mayo 2018)

Podemos observar de la grafica 2, que las precipitaciones registradas en la estación en Durán no presentan un patrón tendencial a lo largo de los años, esto lo podemos confirmar con la prueba de Mann-Kendall con y sin tomar en cuenta el patrón estacional, dado que el valor p es mayor que la región de rechazo 0.05.



Podemos observar de la grafica 3, que las precipitaciones registradas en la estación de Milagro no presentan un patrón creciente o decreciente a lo largo del periodo evidente. Las pruebas de tendencia Mann-Kendall y Mann-Kendall estacional presentan un valor p mayor al nivel de significancia 0.05.

Análisis de tendencias para las Temperaturas mínimas



De la grafica 4 podemos observar un ligero aumento en la línea de tendencia lineal para la variable temperatura mínima. Sin tomar en cuenta el patrón estacional de la serie, la prueba de Mann-Kendal estacional muestra un valor p menor a la región de rechazo, en contradicción con la prueba Mann-Kendall con un valor p mayor a 0.1.

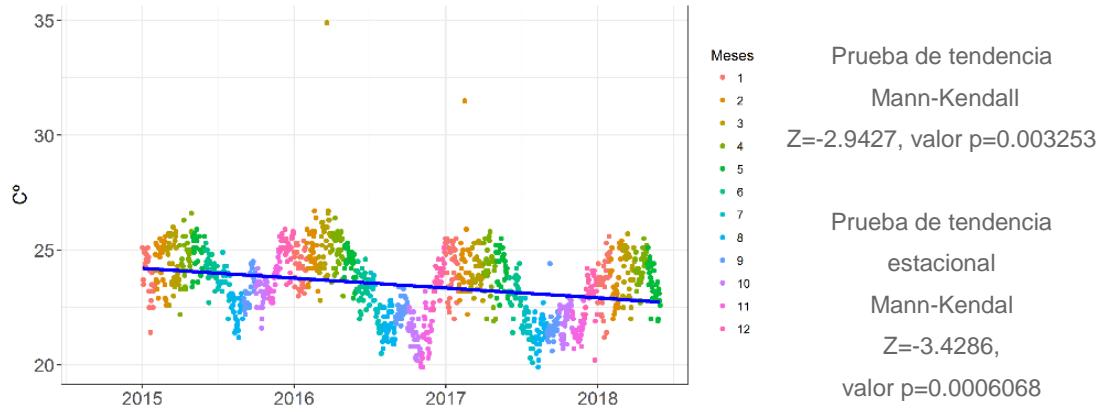


Figura 2.5. Tendencias lineales por Año para la temperatura mínima.
Divino Niño Durán (enero 2015 – mayo 2018)

En la grafica 5 podemos ver el comportamiento de las temperaturas mínimas registradas en la estación de Durán, con una tendencia ligera a disminuir. Ambas pruebas de análisis de Tendencia Mann-Kendall muestran que el valor p es menor que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, siendo esta que existe tendencia de datos monótonos.

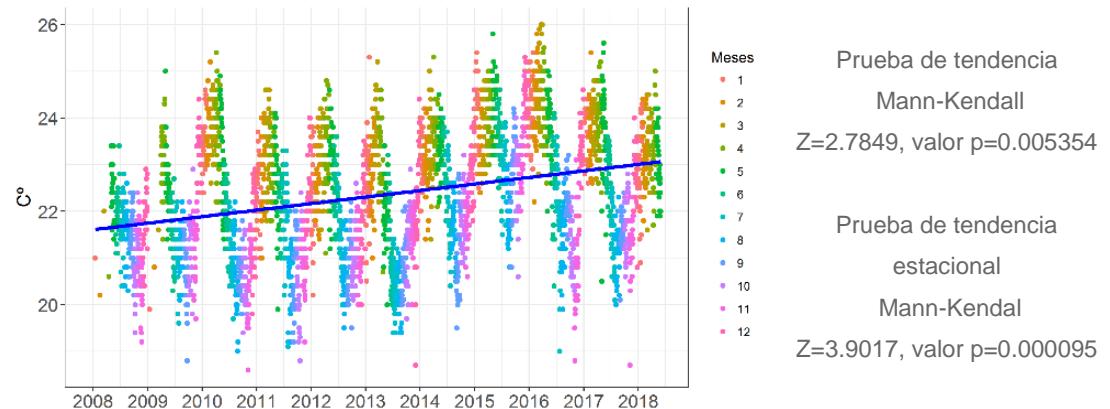


Figura 2.6. Tendencias lineales por Año para la temperatura mínima.
Milagro Ingenio Valdez (enero 2008 – mayo 2018)

En la grafica 6 podemos observar que los datos en la estación de Milagro temperatura mínima en un periodo de 11 años presentan un patrón marcado con tendencia creciente. Las pruebas de Mann-Kendall y Mann-Kendall estacional muestran un valor p menor que la región de rechazo, rechazando la idea de que los datos tienen relaciones independientes e idénticamente distribuidos.

Análisis de tendencias para las temperaturas máximas

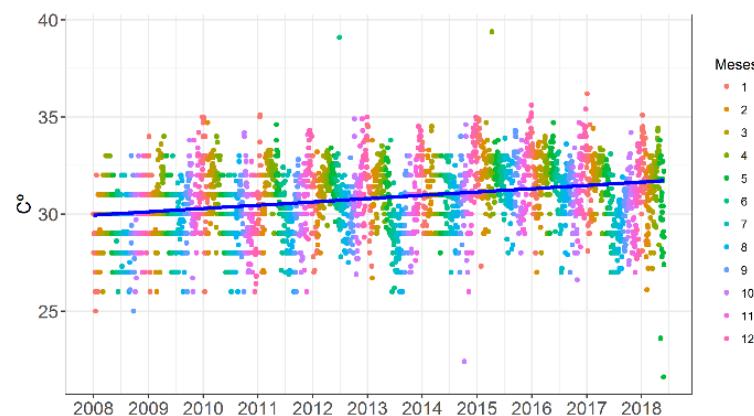


Figura 2.7 Tendencias lineales por Año para la temperatura máxima.
Guayaquil Aeropuerto (enero 2008 – mayo 2018)

De la Figura 2.7, podemos observar que las temperaturas máximas diarias tienen un patrón a incrementar, confirmando la idea de que los datos tienen correlación dependiente entre si dado que el valor p de ambas pruebas es menor que la probabilidad 0.05.

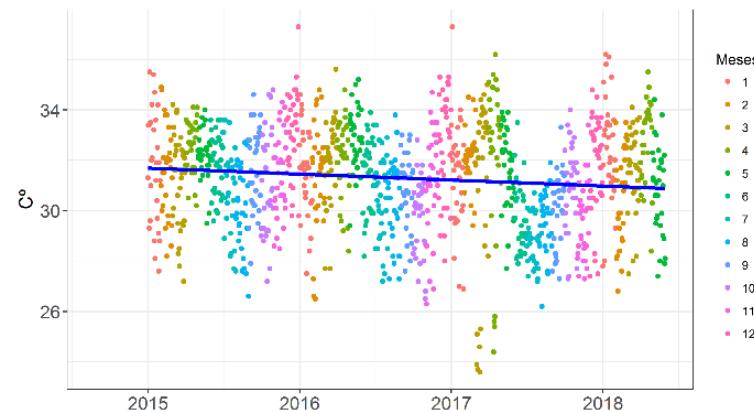


Figura 2.8 Tendencias lineales por Año para la temperatura máxima.
Divino Niño Durán (enero 2015 – mayo 2018)

En la Figura 2.8 podemos observar una pendiente ligeramente negativa para la curva de regresión lineal. Aunque las pruebas de tendencia Mann-Kendall y Mann-Kendall estacional rechazan la hipótesis nula dado el hecho que el valor p es menor a la región de rechazo 0.05.

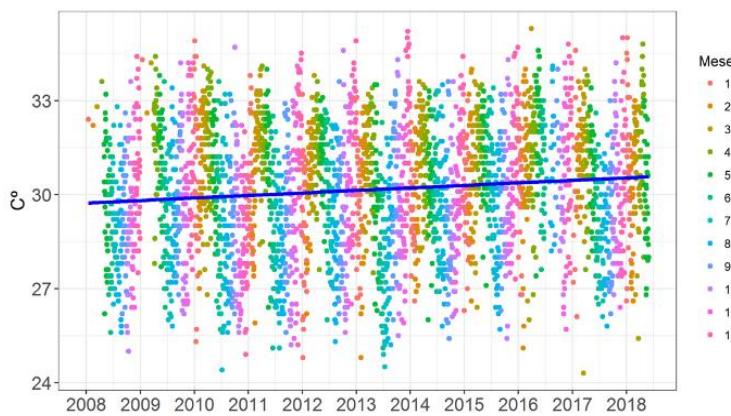


Figura 2.9 Tendencias lineales por Año para la temperatura máxima.
Milagro Ingenio Valdez (enero 2008 – mayo 2018)

De la Figura 2.9 podemos ver el comportamiento de las temperaturas registradas en la estación de Milagro, siendo la línea de tendencia un comportamiento ligero a incrementar, pero rechazamos la idea de que exista tendencia monótona en los datos, debido a que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula con una probabilidad mayor a 0.05

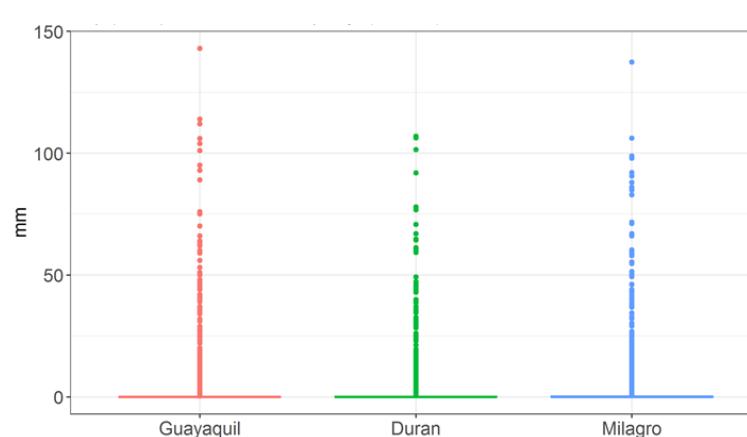


Figura 2.10 Diagrama de Cajas de precipitaciones.
Guayaquil Aeropuerto, Divino Niño Durán y Milagro Ingenio Valdez
(2014 – 2018)

Promedios (mm)
Guayaquil=3.58
Durán=2.87
Milagro=3.53

Si el tamaño de la muestra es representativo de la población, la prueba Wilcoxon tendrá mayor potencia para detectar si existe o no diferencias en las muestras, debido a que el intervalo de confianza es más estrecho. La hipótesis nula de la prueba asume que ambas muestras pertenecen a la misma población. La prueba de Wilcoxon crea una clasificación agrupada de todas las diferencias observadas entre las dos mediciones dependientes. En la grafica 10 podemos observar que las cajas se centran muy cerca del valor 0, la prueba de Wilcoxon entre las observaciones de precipitación de Guayaquil y Durán muestra un valor mayor a la región de rechazo, por tanto, no podemos rechazar ni aceptar la hipótesis nula. Con respecto a la prueba de Wilcoxon realizada entre Guayaquil – Milagro y Milagro – Durán, podemos concluir que la probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula es menor al intervalo de confianza, por tanto, existe evidencia estadística de que las observaciones de Guayaquil y Milagro no pertenecen a la misma población. Del mismo modo Milagro y Durán.

Análisis Diferencias de Medias

Análisis Diferencias de Medias Temperatura Mínima

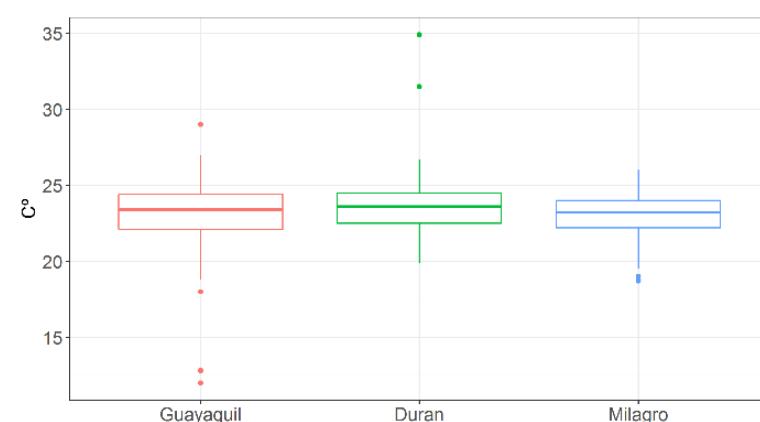


Figura 2.11 Diagrama de Cajas de temperaturas mínimas.
Guayaquil Aeropuerto, Divino Niño Durán y Milagro Ingenio Valdez
(2014 – 2018)

Prueba de Suma de rangos
Wilcoxon (Guayaquil ~ Duran)
V=175770, valor p=0

Prueba de Suma de rangos
Wilcoxon (Guayaquil ~ Milagro)
V=404570, valor p=0

Prueba de Suma de rangos
Wilcoxon (Milagro ~ Duran)
V=80258, valor p=0

Promedios (°C)
Guayaquil=23.25
Durán=23.49
Milagro=23.03

En la grafica podemos ver que las cajas que la dispersión de las cajas se centra cerca de los 25 grados Celsius. Mientras que la prueba de Wilcoxon muestra que las observaciones registradas por las estaciones de Guayaquil, Durán y Milagro no pertenecen a poblaciones idénticamente distribuidas. Puede existir confusión debido a que las medias son similares, pero la prueba mide la diferencia que existe entre las observaciones diarias.

Análisis Diferencias de Medias Temperatura Máxima

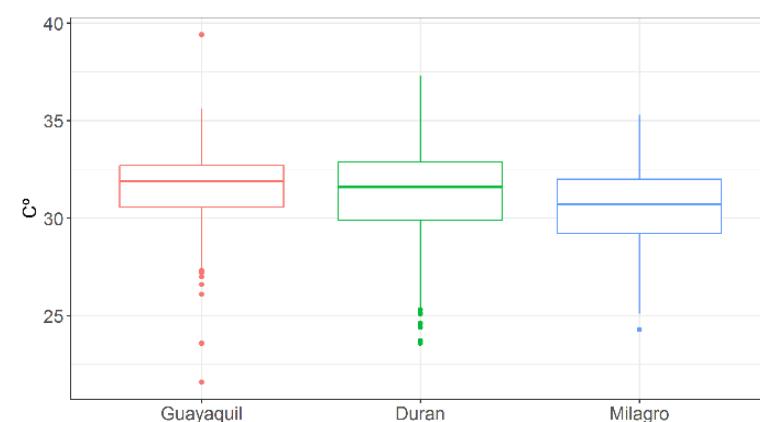


Figura 2.12. Diagrama de Cajas de temperaturas máximas. Guayaquil Aeropuerto, Divino Niño Durán y Milagro Ingenio Valdez (2014 – 2018)

Prueba de Suma de rangos
Wilcoxon (Guayaquil ~ Duran)
V=272110, valor p=0.8634

Prueba de Suma de rangos
Wilcoxon (Guayaquil ~ Milagro)
V=476650, valor p=0

Prueba de Suma de rangos
Wilcoxon (Milagro ~ Duran)
V=78684, valor p=0

Promedios (°C)
Guayaquil=31.5
Durán=31.3
Milagro=30.5

De la grafica 12, podemos observar que las temperaturas máximas registradas tienen observaciones que se dispersan en un rango intercuartílico no mayor a 4 grados Celsius. La prueba de Wilcoxon para las muestras de Guayaquil y Durán muestra un valor p menor que la región de rechazo 0.05, podemos concluir que los datos pertenecen a poblaciones idénticas, mientras que para el caso de Guayaquil – Milagro y Milagro duran, rechazamos la idea de que las muestras pertenezcan a poblaciones idénticamente distribuidas.

Análisis Diagrama Ombrotérmico

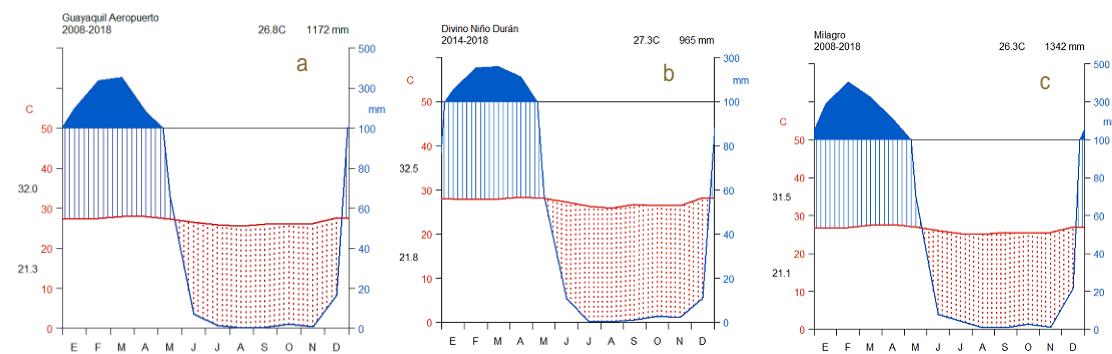


Figura 2.13. Diagramas Ombrotérmico de precipitación y temperaturas.
 a. Guayaquil Aeropuerto, b. Divino Niño Durán, c. Milagro Ingenio Valdez

En la grafica 13, podemos ver los diagramas para las 3 estaciones meteorológicas, las grafican muestran el mismo patrón estacional de precipitaciones, empezando la época lluviosa en diciembre y terminando mayo, en consecuencia, se produce una concentración de lluvias en 7 meses aproximadamente 1172, 965 y 1342 para las estaciones de Guayaquil, Duran y Milagro. Además, podemos comprobar que 5 de los 12 meses son secos o muy secos. Los rangos de precipitación van desde 0 a aproximadamente 300 milímetros de agua. Las temperaturas más frías en la ciudad de Durán en promedio se dan a los 21.8°C en agosto, y la del más cálida de 32.5°C en diciembre (Guayaquil la más fría 21.3 en agosto y 32°C la más cálida, Milagro la más fría 21.1°C en agosto y 31.5°C la más cálida en abril). El promedio global anual para las estaciones de Guayaquil, Durán y milagro bordean los 26.8°C, 27.3°C y 26.3°C.

Análisis de Índices Climáticos

Tabla 2.2. Análisis de índices climáticos, Guayaquil Aeropuerto (2008-2018)

Años	Días en un año con lluvias mayor a 20 mm	Días en un año con lluvias mayor máximo normal (105.87 mm)	Días en un año con temperaturas mínimas mayor al percentil 90 (%)	Días en un año con temperaturas mínimas mayor a 23°C
2008	19	1	21%	77
2009	24	1	20.5%	75
2010	17	0	18.1%	123
2011	11	0	18.9%	69
2012	27	1	11.7%	69
2013	15	0	11.2%	70
2014	14	0	17.3%	141
2015	16	1	21.1%	189
2016	16	0	10.4%	140
2017	29	3	12.9%	118
2018	12	0	11.9%	42

De la tabla 2, podemos observar que el año 2009, hubieron 24 días con lluvias mayor a los 20 mm, en el mismo año hubieron alrededor de 20% de temperaturas mínimas mayor al percentil 90. En el 2012 hubo 27 días con lluvias mayores a los 20 mm, del mismo modo en el 2017, con 29 días. Con respecto al análisis del numero de días mayores al máximo normal, en el 2017 existieron 3 días atípicos que estuvieron sobre la normal.

Tabla 2.3. Análisis de índices climáticos, Divino Niño Durán (2015-2018)

Años	Días en un año con lluvias mayor a 20 mm	Días en un año con lluvias mayor máximo normal (82.06 mm)	Días en un año con temperaturas mínimas mayor al percentil 90 (%)	Días en un año con temperaturas mínimas mayor a 23.6°C
2015	16	1	14%	120
2016	15	1	10.1%	101
2017	22	1	11.2%	63
2018	9	1	12.6%	46

En la tabla 3, podemos ver el conteo de los índices climáticos para la ciudad de Durán, si en el 2015 un año con 120 días con temperaturas mínimas mayor a la mediana observada (23.6°C). Mientras que en el 2017 hubo 22 días con lluvias mayores a los 20 milímetros de agua. En el 2018 se observa que 12.6 días estuvieron mayores que el percentil 2017, siendo un año extremadamente caliente al igual que la representación de Guayaquil.

Tabla 3.4. Análisis de índices climáticos, Milagro Ingenio Valdez (2008-2018)

Años	Días en un año con lluvias mayor a 20 mm	Días en un año con lluvias mayor máximo normal (106.99 mm)	Días en un año con temperaturas mínimas mayor al percentil 90 (%)	Días en un año con temperaturas mínimas mayor a 22.4°C
2008	35	1	45.6%	3
2009	19	0	35.6%	43
2010	20	1	12.9%	97
2011	14	0	11%	50
2012	29	1	12.8%	58
2013	18	1	10.4%	63
2014	20	0	13.7%	96
2015	17	0	14.5%	201
2016	15	0	13.7%	160
2017	28	1	23%	99
2018	13	0	14.6%	62

En la tabla 4 podemos apreciar, que, en los años 2008, 2012 y 2017 hubo la mayor cantidad de días con lluvias mayores a los 20 milímetros de agua. En el 2008 fue el año con mayor numero de días mayores al percentil 90 (45.6%). Mientras que el análisis del numero de días en un año con temperaturas mínimas mayores a la mediana, fueron 201 días en el 2015, para la ciudad de Milagro. Este comportamiento se ve reflejado en las estaciones de Guayaquil y Durán.

Clasificación vegetal del Suelo, cálculo de emisisvidad superficial

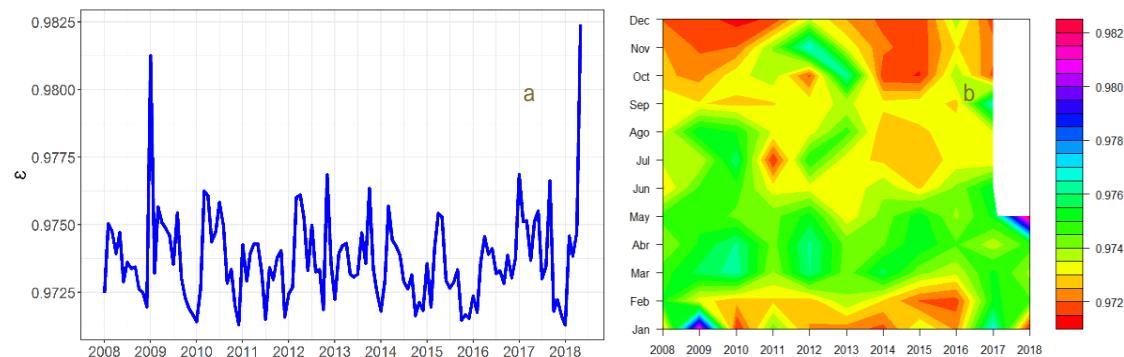


Figura 2.14. Clasificación vegetal del suelo en Durán (2008-2018)

- a. Serie de Tiempo de la Emisividad
- b. Isolíneas de contorno relleno de la Emisividad

La grafica 2.14a muestra el comportamiento de la serie de tiempo de la emisividad en la estación de Durán. Existiendo un pico importante en el mes de enero de 2009 y mayo de 2018, esta energía se puede visualizar en la gráfica de isolíneas (Figura 2.14b), con un color azul que va aumentando a roza.

Análisis de la estacionalidad mensual

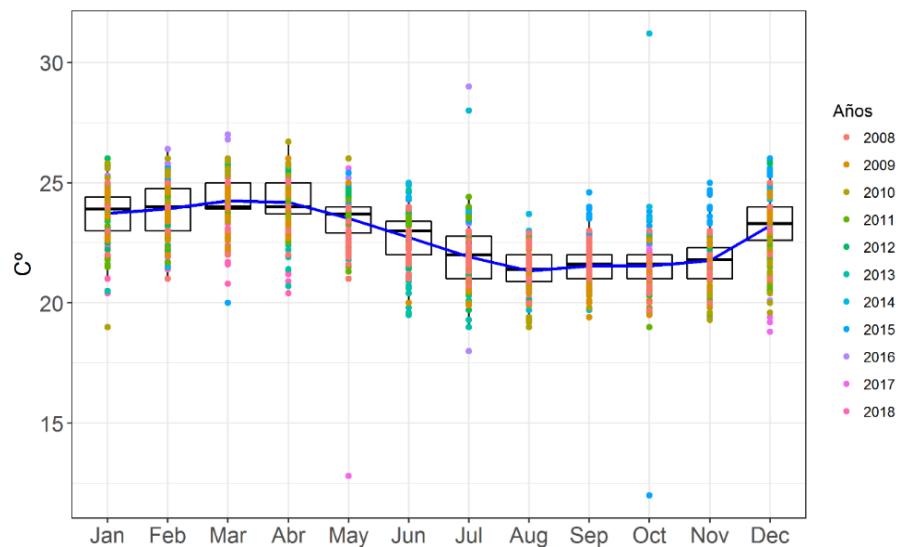


Figura 2.15 Diagramas de Paneles de la Estación Guayaquil Aeropuerto
(Temperatura Mínima, enero 2008 – mayo 2018)

En la Figura 2.15, podemos ver el comportamiento de las temperaturas mínimas agrupadas en meses, aunque los datos son días, se puede observar cómo mes a mes existen diferencias en las temperaturas. El patrón se repite mes a mes, mostrándose un patrón estacional en la serie con un periodo de 12 meses.

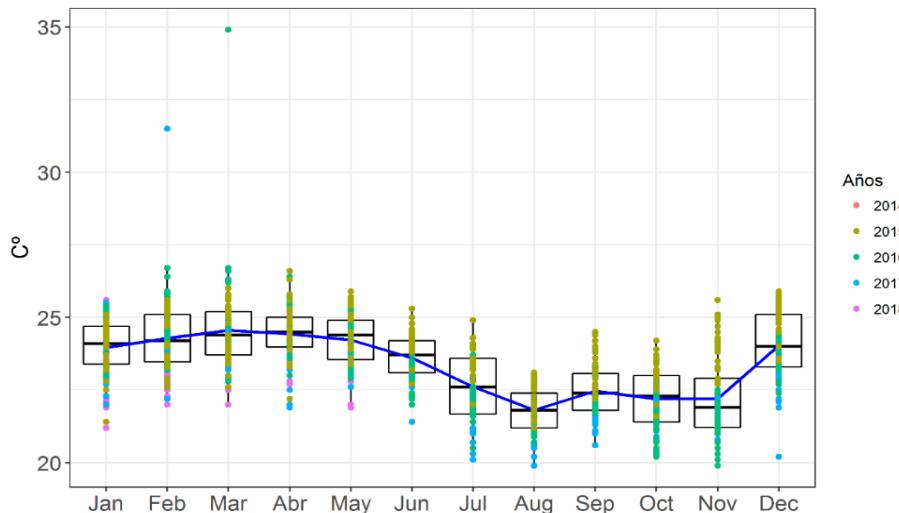


Figura 2.16. Diagramas de Paneles de la Estación Divino Niño Durán
(Temperatura Mínima, enero de 2015 – mayo 2018)

En la gráfica 16, podemos ver que, en Durán, las temperaturas presentan un patrón estacional similar al patrón de Guayaquil, incrementándose las temperaturas desde el mes de enero a mayo, e disminuyendo de julio a octubre. Existe un valor atípico en el mes de marzo de 2016.

Conclusiones

Podemos concluir que las estaciones presentan un patrón de tendencias crecientes para la variable de temperatura mínima en la estación de Milagro, y decreciente en la estación de Durán, también podemos observar una tendencia creciente para las temperaturas máximas en la estación de Guayaquil Aeropuerto. Con respecto a las lluvias no se muestra un patrón tendencial en los datos en ninguna de las 3 estaciones meteorológicas.

La hipótesis nula del contraste postula que las muestras proceden de poblaciones con la misma distribución de probabilidad; la hipótesis alternativa establece que hay diferencias respecto a la tendencia central de las poblaciones y puede ser direccional o no.

Con respecto al análisis de las poblaciones con la misma distribución de probabilidad (Wilcoxon) entre las muestras de las 3 estaciones, podemos rechazar la idea de que las observaciones de las muestras pertenecen a poblaciones idénticamente distribuidas. Además, podemos agregar que las medias globales son similares y la conclusión podría llegar a confundirse. Es mejor entender los resultados conociendo la hipótesis alternativa, esta establece que hay diferencias de las muestras respecto a la tendencia central de las poblaciones. Entonces si rechazamos la hipótesis nula, podemos suponer que hay diferencias entre las muestras.

El análisis de los diagramas Ombrotérmico, nos muestra comportamientos similares para el patrón estacional de los datos, representado 7 meses lluviosos con un acumulado promedio aproximado de 1172, 965 y 1342 milímetros de agua para las estaciones de Guayaquil, Durán y Milagro.

El análisis de los índices climáticos muestra que los años 2012 y 2017 fueron los años con mayor cantidad de días lluviosos para las 3 estaciones. Y el año 2015 con la mayor cantidad de días con temperaturas mínimas mayores a la mediana.

Con respecto al análisis de sensores remotos para la obtención de la emisividad, podemos concluir que los meses de febrero a junio con respecto a los 12 meses del año, existe mayor proporción de radiación térmica emitida en la ciudad metropolitana, siendo los picos en enero de 2009 y mayo de 2018.

El patrón estacional de las temperaturas mínimas es similar para Guayaquil Aeropuerto y Divino Niño Durán, incrementándose las temperaturas en los meses de enero a mayo, y disminuyéndose de julio a octubre.

Referencias

- [1] R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- [2] Wickham H (2009). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-0-387-98140-6, <http://ggplot2.org>.
- [3] Luis Cáceres, Raúl Mejía, Gonzalo Ontaneda, 1998. Evidencias del cambio climático en Ecuador. Bull. Inst. fr. Études Andines.
- [4] Elizabeth Carabine, Alberto Lemma, 2017. El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC.
- [5] Robert McGill, John W. Tukey & Wayne A. Larsen (1978) Variations of Box Plots, *The American Statistician*, 32:1, 12-16, DOI: 10.1080/00031305.1978.10479236
- [6] Galton, F. (1885a). Some results of the Anthropometric Laboratory. *J. Anthropol. Inst.*, 16, 275-287.
- [7] Organización Meteorológica Mundial, R. Hocke, 2017. Reglamento técnico: Volumen I – Normas meteorológicas de carácter general y normas recomendadas.
- [8] Hirsch, R., J. Slack and R. Smith, (1982): Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resour. Res.*, 18, 107-121.
- [9] Hirsch, R.M. and J.R. Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 20(6):727-732
- [10] Thorsten Pohlert, 2018. Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection.
- [11] Myles Hollander and Douglas A. Wolfe (1973). Nonparametric Statistical Methods. New York: John Wiley & Sons. Pages 27–33 (one-sample), 68–75 (two-sample).
- [12] R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

- [13] Jose A. Guijarro, 2018. Climate Tools (Series Homogenization and Derived Products).
- [14] Leopoldo García Sancho, 1988. La vegetación Liquénica Ornitocoprófila de Espolones en el alto sistema central Español.
- [15] Idaho, 2002. Surface Energy Balance Algorithms for Land.
- [16] Claverie, Martin, Eric Vermote and NOAA CDR Program (2014): NOAA Climate Data Record (CDR) of Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR), Version 4. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.7289/V5M043BX.
- [17] Eric Vermote, Chris Justice, Ivan Csiszar, Jeff Eidenshink, Ranga Myneni, Frederic Baret, Ed Masuoka, Robert Wolfe, Martin Claverie and NOAA CDR Program (2014): NOAA Climate Data Record (CDR) of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Version 4. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.7289/V5PZ56R6.
- [18] L.A. Voogt, T.R. Oke, 2002. Thermal remote sensing of urban climates.
- [19] Robert J. Hijmans, Jacob van Etten, Joe Cheng, Mattiuzzi M., Sumner M., Greenberg J.A., Perpinan O., Bevan A., Racine E. B., Shortridge A., Ghosh A., 2017. Geographic Data Analysis and Modeling.

INUNDACIONES



Fuente: EL UNIVERSO

Mijail Arias Hidalgo, David Matamoros Camposano & Melanie Jara

Introducción

El GAD Municipal de Durán, en aras de reducir la vulnerabilidad y el riesgo, frente a varias amenazas que afectan a sus habitantes, suscribió en febrero de 2018 un contrato con ESPOL. El proyecto se denomina: “Resiliencia climática de Durán: Diseñando estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA). En ese marco, se han pre establecido 3 amenazas a ser evaluadas: i) deslizamientos de tierra; ii) islas de calor; y, iii) inundaciones. Siendo éstas últimas sobre las cuales tratará el presente informe. Las inundaciones en la zona urbana del GAD de Durán obedecen a diversos factores, principalmente, precipitaciones, y mareas, siendo en ambas un factor fuertemente incidente, las áreas bajas de la ciudad; por ejemplo, el sector de El Recreo. Asimismo, zonas aledañas a los diversos canales que cruzan el casco urbano, tales como: Estero Matanzas, Estero San Enrique, y 5 de Junio, así como estrangulamientos y otros cambios

bruscos de sección transversal, a lo largo de estos canales.

Materiales y Métodos

A fin de realizar la simulación del estero San Enrique, se empleó el software de libre licencia SWMM (v5.1.012) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA; Rossman et al., 1971). El software no es una herramienta de diseño sino de evaluación del comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje de aguas lluvias; y requiere de información fundamental para establecer el escenario en el cual se desarrollará el análisis. Esto incluye los eventos de precipitación y marea como elementos generadores de caudales, la geometría de los conductos de flujo (ca(nales, tuberías, etc.) y las características físicas (rugosidad

El cantón Durán se encuentra, sobretodo en su casco urbano y en promedio, a 5 metros sobre el nivel del mar, con una variación de entre menos de 3 metros (riberas Guayas) hasta 60 metros en los cerros que se encuentran en la zona.

área de inundación, cotas de invert, pozos de inspección), y las características fisicas de las cuencas de drenaje (rugosidad, coeficiente de escorrentía, pendiente promedio, longitud de recorrido de flujo, entre otros).

Procesamiento de la Información

Serie de tiempo de la marea

El nivel de marea es uno de los factores que influye en el comportamiento hidráulico de un sistema de drenaje que descarga en un río sujeto a dicha marea como es el caso de los sistemas del Cantón Durán. Esta influencia puede afectar al patrón de inundación que se podría producir en determinadas áreas de drenaje de dicho sistema. El cantón Durán se encuentra, sobretodo en su casco urbano y en promedio, a 5 metros sobre el nivel del mar, con una variación de entre menos de 3 metros (riberas Guayas) hasta 60 metros en los cerros que se encuentran en la zona. Las pendientes resultantes en la zona varían entre 0% y 472% (zona de los cerros) con un valor promedio de 3.8%; valores obtenidos a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT – DTM) suministrado por el GAD de Durán.

La información de marea utilizada para el análisis corresponde a la estación Guayaquil – Río Guayas, ubicada al frente del Malecón (coordenadas WGS84/UTM 624852, 9756637), referenciada al IGM. No obstante, para determinar los valores de marea correspondientes al cantón Durán se tomó en cuenta la pendiente media del río.

Según el plan maestro de AAPP, AASS y alcantarillado pluvial de Guayaquil (Interagua 2010), para secciones aguas arriba del punto de medición, se debería considerar un aumento de 1.8 cm a los valores de marea por cada kilómetro recorrido. La distancia existente entre el mareógrafo y el área de influencia de las descargas principales del Cantón Durán varían entre 1 km y 7 km aguas arriba del mareógrafo de la ciudad de Guayaquil. Se ha considerado una situación crítica para el análisis del sistema de aguas lluvias de Durán, considerando un aumento de 12 cm a los niveles registrados en Guayaquil.

La serie de tiempo de marea fue calculada empleando las funciones de distribución de eventos extremos de Gumbel (estándar y G2-Generalized Extreme Value tipo 1), Log-normal, Pearson III, Log-Pearson III y Ln-Pearson III (Gráfico 1) a fin de establecer la distribución que mejor se ajuste a los datos.

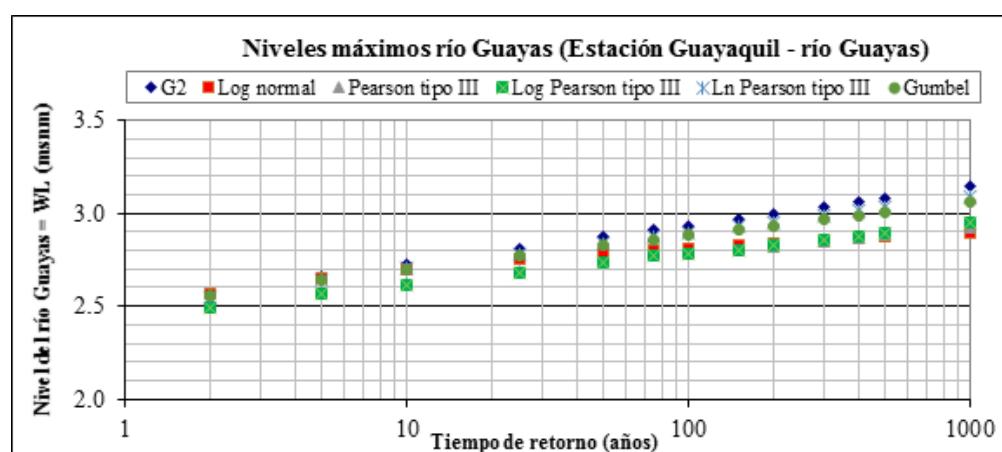


Figura 3.1 Funciones de distribución de eventos extremos para distintos períodos de retorno

Finalmente, se eligió la distribución de Gumbel dado que sus valores son una especie de “promedio aproximado” del conjunto de distribuciones. Los niveles de marea para los diferentes períodos de marea se muestran en la tabla 1. Los valores de Durán han sido corregidos según lo mencionado en párrafos anteriores.

Tabla 3.1. Niveles de marea en Guayaquil y Durán para distintos períodos de retorno

T (años)	Guayaquil	Durán
2	2.59	2.71
5	2.65	2.77
10	2.68	2.80
15	2.70	2.82
20	2.70	2.83
25	2.71	2.83

Para determinar la marea de diseño, se empleó la siguiente ecuación establecida por Interagua (2010):

$$Z_{(t=horas)} = A \cdot \operatorname{seno} \left[\left(t - t_p + \frac{1}{4 \cdot f} \right) \cdot (2 \cdot \pi \cdot f) \right] + (P - A)$$

Donde,

A : Amplitud

P : Pleamar

t_p : Tiempo al pico (1 hora)

f: Frecuencia (1/T)

La pleamar utilizada en la formula, para el presente informe, corresponde al período de retorno de 2 años; la frecuencia, al inverso del tiempo que transcurre entre dos pleamares o dos bajamares; la amplitud, al promedio de las amplitudes correspondientes a una pleamar de 2.71 y el tiempo al pico, el tiempo en horas que toma en llegar al nivel de marea máximo.

Una vez reemplazados los valores en la formula, se obtuvo la siguiente gráfica:

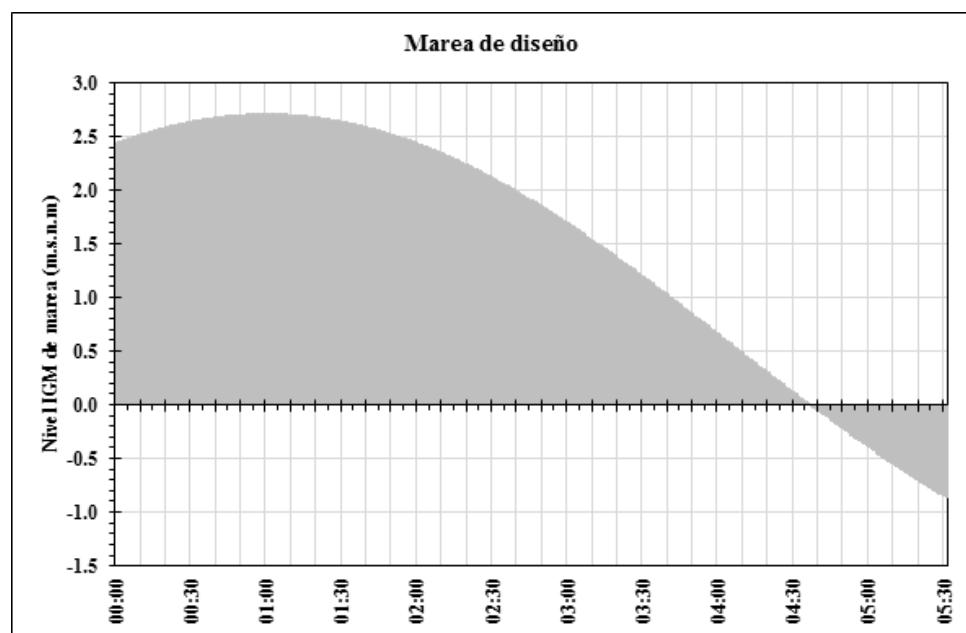


Figura 3.2 Serie de tiempo para el nivel de marea para un período de retorno de 2 años extremos para distintos períodos de retorno

Los valores obtenidos de la gráfica fueron ingresados en el programa para simular una marea con período de retorno de 2 años.

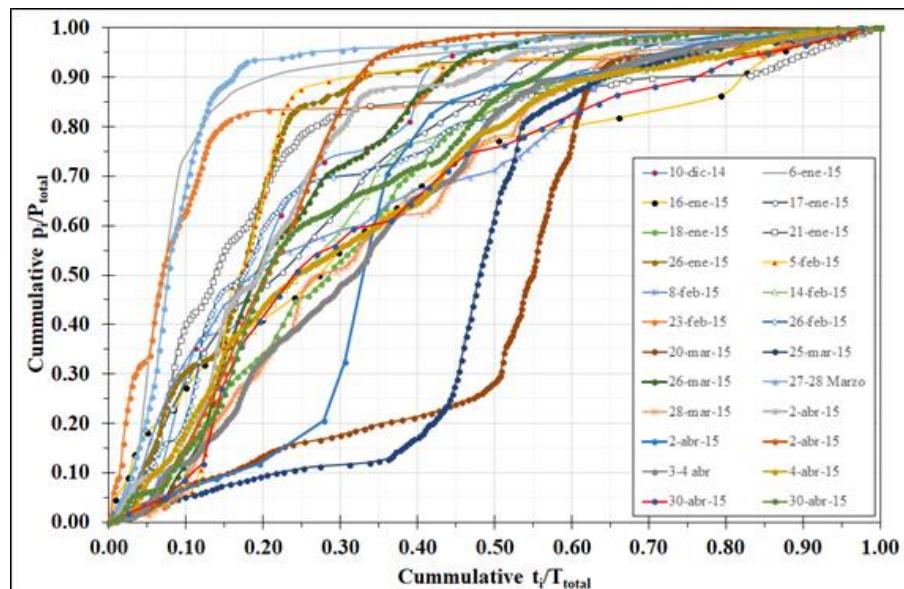
Serie de tiempo de precipitación

En relación con los eventos de precipitación, el INAMHI proporcionó información de 10 estaciones meteorológicas: Durán (M1255), Milagro (M037), Naranjal (M176), Ingenio San Carlos (M218), Guayaquil (M0075), La Capilla (M0476), Puerto Inca (M0477), Ingenio Aztra (M1095), Guayaquil Radio Sonda (M1096) y Guayaquil-Aeropuerto (M056).

A fin de observar una tendencia en los incidentes de precipitación para la zona de estudio, se realizó un análisis para todos aquellos entre el 10 de diciembre del 2014 y el 30 de abril del 2015 empleando únicamente los datos de la estación de Durán.

Los eventos restantes fueron excluidos en vista de que presentaban inconsistencias o posibles datos erróneos en las series de tiempo.

Los sucesos de lluvia estudiados presentaron una duración menor a 6 horas, y en promedio 3 horas con 40 minutos. Cada uno fue graficado a manera de curvas normalizadas (Gráfico 3), colocando en el eje de las Y la relación de precipitación acumulada al minuto de lluvia para la lluvia total; y en el eje de las X, la relación del tiempo acumulado al minuto de lluvia para el tiempo total de duración de lluvia, como se observa en el gráfico 3.



A partir de todas las curvas generadas, se obtuvo un evento de lluvia típica denominado Lluvia Típica I (Gráfico 4), cuya ecuación se muestra en el gráfico a continuación:

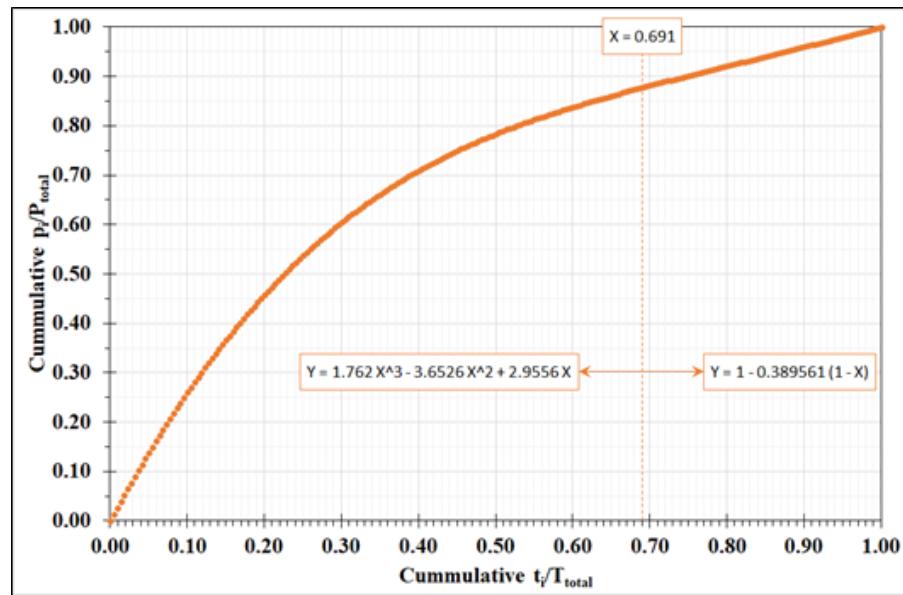


Figura 3.4. Curva y ecuaciones para la Lluvia típica I.

Con la finalidad de ajustar la curva a los eventos, se emplearon dos funciones polinómicas de 3er y 1er orden, donde la de 3er orden rige hasta el 70% de la duración total del evento de lluvia; mientras que, la función de 1er orden gobierna a partir del 70% en adelante.

Para emplear las ecuaciones correspondientes, es necesario determinar la precipitación y el tiempo total para el período de retorno planteado, 2 años.

Debido a la poca información útil que presenta la estación de Durán, se hizo uso de las estaciones más cercanas. Empleando el análisis probabilístico de Gumbel, se calculó las precipitaciones para distintos períodos de retorno (Tabla 2). A partir de los valores obtenidos para un período de retorno de 2 años, se elaboró un mapa con dichos puntos, se interpoló la precipitación, obteniéndose un valor de 105.13 mm/d para la ciudad de Durán.

Tabla 3.2. Precipitación máxima diaria anual para distintos períodos de retorno

Estación	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años
Milagro (M0037)	103.11	128.99	146.13	167.78	183.84
Guayaquil Aeropuerto (M0056)	94.06	126.57	148.10	175.30	195.48
Guayaquil (M0075)	91.71	110.40	122.76	138.39	149.99
Naranjal (M0176)	29.62	56.31	73.99	96.32	112.89
Ingenio San Carlos (M0218)	113.92	197.33	252.56	322.34	374.10
La Capilla (M0476)	86.17	109.11	124.31	143.50	157.74
Puerto Inca (M0477)	96.06	128.20	149.48	176.37	196.32
Ingenio Aztra (M1095)	101.26	133.47	154.79	181.74	201.73
Guayaquil Radio Sonda (M1096)	106.42	143.36	167.82	198.72	221.65

Una vez aplicadas las ecuaciones, se obtuvo la precipitación al minuto para una lluvia de 3 horas y 56 minutos de duración (Gráfico 5). En otras palabras, una lluvia típica I, la cual fue introducida en el programa para realizar la simulación.

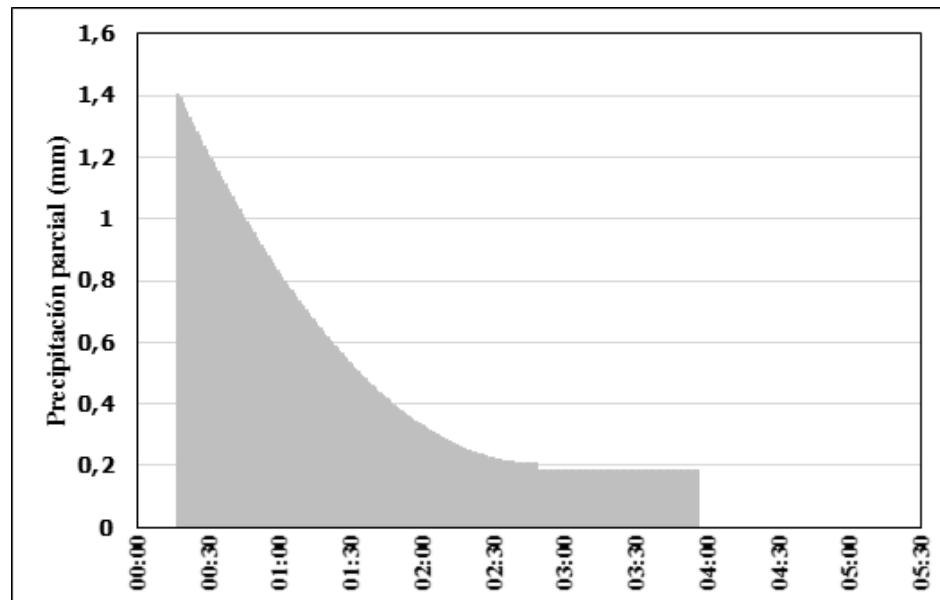


Figura 3.5. Serie de tiempo para la precipitación, de 3 horas 56 min de duración en Durán

Modelación en Storm Water Management (SWMM)

Secciones transversales del estero San Enrique

En lo que respecta a la definición de la geometría del canal San Enrique, se utilizó información primaria, facilitada por el Departamento de Obras Públicas del GAD de Durán; y secundaria, tomada de un trabajo de titulación presentado en la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, de la Universidad de Guayaquil, durante el año 2016. A partir de estas fuentes, se logró definir 34 secciones transversales en una longitud aproximada de 6.2 km que tiene el estero San Enrique. El abscisado fue tomado a partir de la desembocadura, en

dirección hacia aguas arriba; mientras que las secciones fueron definidas aguas abajo dado que el software lo demanda de esa manera.

Para cada sección, se tomó en consideración los bancos laterales, simulando así los terrenos aledaños al estero. En la tabla 3 se presentan las secciones definidas y en las imágenes 1 y 2, el perfil longitudinal del canal y su digitalización en el software. Cabe indicar que para efectos de simulación, se consideró inundación a aquellos tirantes de agua, superiores a 20 cm, considerando a este valor como un alto de acera estándar.

Tabla 3.3. Geometría de las secciones transversales del estero San Enrique

0+324	X	0.00	20.00	23.90	28.50	31.00	33.10	38.10
	Z	3.50	3.21	1.70	0.04	-0.08	3.10	3.50
0+637	X	0.00	20.00	23.90	28.50	31.00	33.10	38.10
	Z	3.50	3.27	1.76	0.10	-0.02	3.16	3.50
0+843	X	0.00	94.00	97.00	103.00	106.00	318.50	-
	Z	3.43	3.11	0.65	0.65	3.11	4.68	-
0+966	X	0.00	75.00	78.00	84.00	87.00	266.67	-
	Z	3.52	2.83	0.55	0.55	2.83	4.64	-
1+066	X	0.00	40.50	43.50	49.50	52.50	182.00	-
	Z	3.62	2.41	0.48	0.48	2.41	4.57	-
1+160	X	0.00	130.50	133.50	139.50	142.50	291.50	-
	Z	3.52	2.68	0.40	0.40	2.68	4.69	-
1+266	X	0.00	127.33	130.33	136.33	139.33	321.67	-
	Z	3.45	2.83	0.51	0.51	2.83	4.80	-
1+366	X	0.00	90.50	93.50	99.50	102.50	322.00	-
	Z	3.37	3.15	0.69	0.69	3.15	5.02	-
1+466	X	0.00	61.00	64.00	70.00	73.00	264.50	-
	Z	3.44	3.18	0.87	0.87	3.18	5.08	-
1+583	X	0.00	59.33	62.33	68.33	71.33	221.67	-
	Z	3.46	3.08	0.92	0.92	3.08	4.47	-
1+766	X	0.00	56.00	59.00	65.00	68.00	195.00	-
	Z	3.46	3.25	0.54	0.54	3.02	4.22	-
1+909	X	0.00	51.00	54.26	60.79	64.05	193.72	-
	Z	3.47	3.58	0.69	0.69	3.26	4.31	-
2+010	X	0.00	3.40	6.84	13.73	17.18	132.18	-
	Z	3.65	3.40	0.67	0.67	3.11	4.30	-
2+219	X	0.00	56.75	60.62	68.38	72.25	205.50	-
	Z	3.73	3.33	0.40	0.40	2.90	13.04	-
2+329	X	0.00	82.00	86.15	94.48	98.63	275.97	-
	Z	3.92	3.48	0.15	0.15	3.13	15.84	-
2+466	X	0.00	110.67	114.77	122.97	127.07	296.07	-
	Z	4.00	3.68	0.356	0.356	3.42	14.83	-
2+627	X	0.00	87.00	90.88	98.63	102.50	190.83	-
	Z	3.81	3.59	0.47	0.47	3.36	3.60	-
2+766	X	0.00	54.00	57.99	65.98	69.97	176.63	-
	Z	3.64	3.30	0.60	0.60	2.94	3.52	-
2+866	X	0.00	48.00	52.11	60.34	64.45	167.95	-
	Z	3.61	3.57	0.47	0.47	3.20	3.82	-
3+149	X	0.00	92.00	94.35	95.36	99.68	102.30	122.30
	Z	3.92	3.13	1.28	0.49	1.47	3.03	3.47

... Continuacion Tabla 3.3.

3+998	X	0.00	53.40	55.75	56.76	61.08	63.70	83.70
	Z	3.33	3.14	1.29	0.239	1.47	3.04	3.48
4+041	X	0.00	21.67	24.12	26.22	28.67	50.00	-
	Z	4.00	3.21	0.38	0.38	3.11	3.45	-
4+216	X	0.00	57.50	59.15	70.77	72.42	147.17	-
	Z	3.76	3.23	0.55	0.55	3.18	3.73	-
4+291	X	0.00	92.50	93.95	103.70	105.15	177.90	-
	Z	3.84	3.06	0.65	0.65	2.93	4.32	-
4+425	X	0.00	79.00	80.23	88.15	89.38	144.24	-
	Z	3.82	3.27	0.77	0.77	3.18	3.90	-
4+902	X	0.00	50.84	52.12	61.95	63.22	133.49	-
	Z	3.01	2.86	0.10	0.10	3.01	3.84	-
4+975	X	0.00	144.00	145.47	152.51	153.98	203.98	-
	Z	3.92	3.31	0.519	0.519	3.32	3.4	-
5+100	X	0.00	130.83	131.85	138.09	139.10	183.27	-
	Z	3.83	3.37	0.325	0.325	3.26	3.83	-
5+175	X	0.00	169.75	170.77	177.21	178.23	236.23	-
	Z	3.83	3.39	0.768	0.768	3.27	3.81	-
5+525	X	0.00	99.93	101.03	107.96	109.05	176.32	-
	Z	3.68	3.06	0.448	0.448	3.01	3.73	-
5+625	X	0.00	36.50	37.66	43.52	44.68	144.68	-
	Z	3.58	3.21	0.045	0.045	3.07	3.21	-
5+750	X	0.00	47.00	48.09	53.81	54.90	117.90	-
	Z	3.08	3.10	0.852	0.852	3.30	3.72	-
5+983	X	0.00	71.27	72.16	78.28	79.16	135.53	-
	Z	3.68	2.99	0.54	0.54	3.13	3.62	-
6+159	X	0.00	48.11	49.02	55.26	56.17	66.17	-
	Z	3.98	3.21	0.75	0.75	3.07	3.30	-

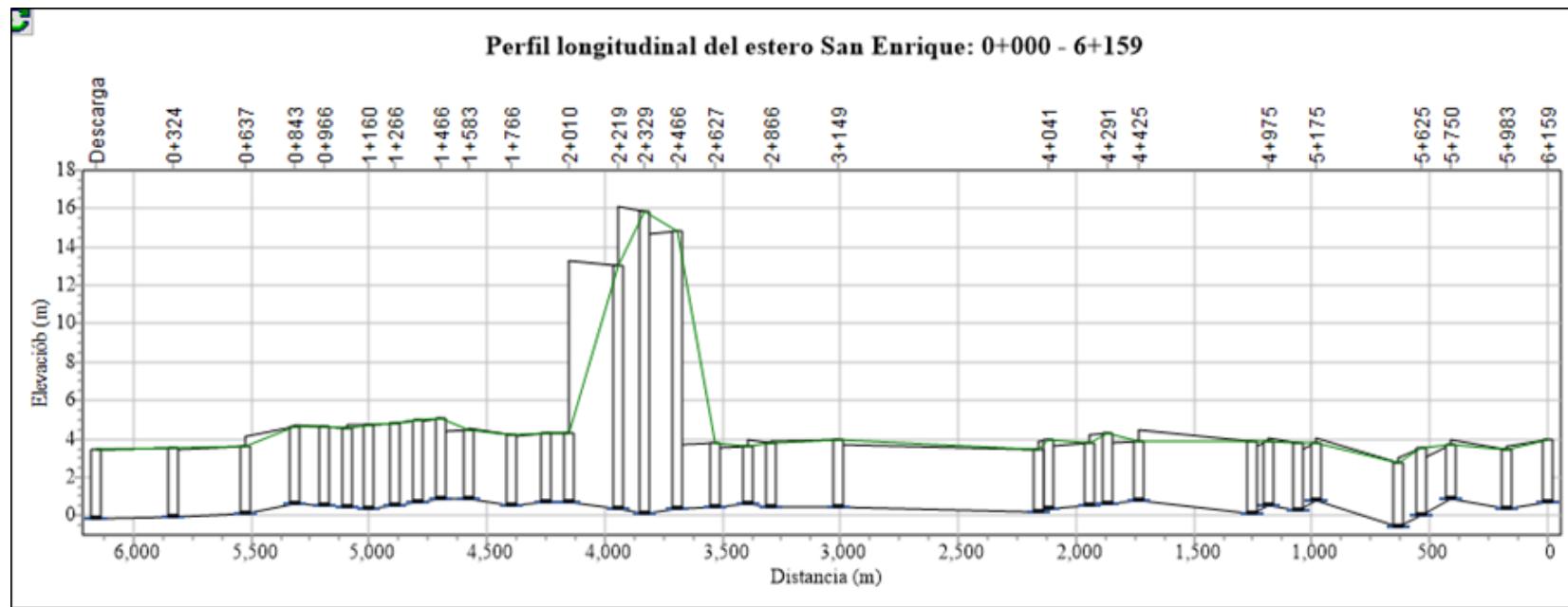


Figura 3.6. Perfil longitudinal del Estero San Enrique: 0+000 – 6+159

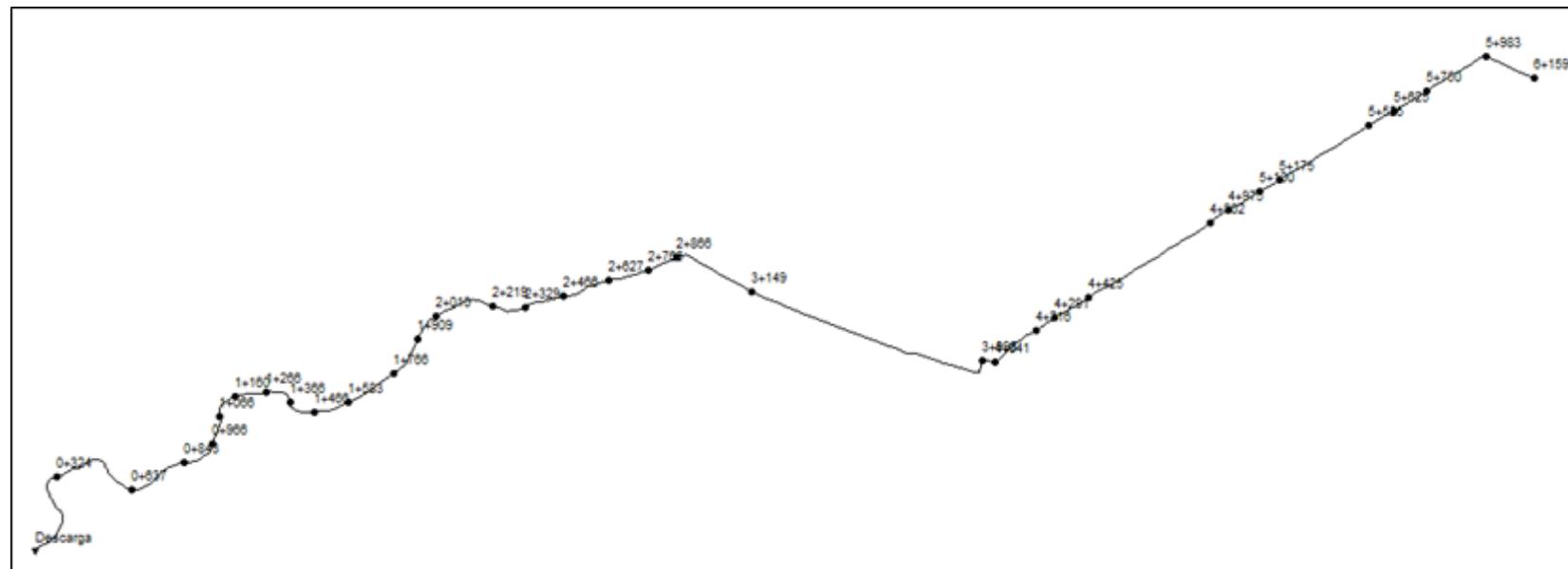


Figura 3.7. Secciones del estero digitalizadas en SWMM

Coeficiente de rugosidad de Manning

El valor del coeficiente de rugosidad de Manning en canales naturales abiertos depende de factores tales como su geometría, el grado de obstrucciones que puede tener, la densidad y tipo de vegetación observada, y la formación de meandros en el recorrido de flujo.

El valor del coeficiente de rugosidad de Manning en canales naturales abiertos depende de factores tales como su geometría, el grado de obstrucciones que puede tener, la densidad y tipo de vegetación observada, y la formación de meandros en el recorrido de flujo. Para la determinación del valor final de rugosidad en cada sección, se basó en los valores propuestos por Ven T. Chow (1959), Benson & Dalrimple (1967) y Aldridge & Garrett (1973) para canales rectos de ciertas características; y dichos valores fueron corregidos mediante una metodología propuesta por Cowen (1956) que considera la siguiente fórmula que ha sido aplicada como criterio de diseño por el U.S. Department of Transportation (1984):

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

En donde,

n: Coeficiente corregido de rugosidad de Manning para la sección transversal de canal abierto.

n_b: Coeficiente base de un canal natural recto, uniforme y sin irregularidades.

n₁: Valor añadido para corregir las irregularidades superficiales en función de la relación ancho- profundidad.

n₂: Valor añadido que considera las variaciones en tamaño y forma de la sección transversal.

n₃: Valor añadido para corregir por las obstrucciones que puedan existir a lo largo del canal.

Puesto que a la fecha del estudio no hay medición de la granulometría del material de fondo que conforma el Estero San Enrique, por datos generales de información secundaria (Acosta et al., 2016) y por observación directa (durante una salida de campo en Mayo pasado), se determinó que el material de fondo del estero varía entre un suelo arenoso limoso fino y un suelo arcilloso arenoso en una longitud aproximada de 2 km desde la desembocadura al Río Guayas. En el resto de la longitud del canal, se observó una mayor intervención antropogénica y que el estero ha sido canalizado en una geometría más uniforme, con un material de fondo que podría contener un suelo arenoso gravo arcilloso (influencia de material de relleno en los bancos del canal).

Considerada la información anterior, se estableció que el coeficiente base de rugosidad de Manning (*n_b*) para el Estero San Enrique se distribuye así:

- Tramo 0+000 (desembocadura) – 1+900 (vía entrada a Feria Durán): 0.025 a 0.033
- Tramo 1+900 – 6+159 (El Recreo, Vía Durán – Babahoyo): 0.035 a 0.050

En un canal, si la relación ancho-profundidad es pequeña, se puede producir un mayor efecto erosivo que ocasionaría la formación de mayor irregularidad en los taludes del canal



Figura 3.8. Tipo de suelo del estero San Enrique en las proximidades a la desembocadura



Figura 3.9. Tipo de suelo del canal San Enrique

En un canal, si la relación ancho-profundidad es pequeña, se puede producir un mayor efecto erosivo que ocasionaría la formación de mayor irregularidad en los taludes del canal. Ven T. Chow (1959) y Benson & Dalrymple (1967) sugieren que para dichos casos el valor de n_1 podría asumirse en 0.02.

De acuerdo con Aldridge & Garrett (1973), el estero San Enrique, podría considerarse así:

- Tramo 0+000 (desembocadura) – 2+866 (frente a Centro Comercial): Tramo de irregularidad entre moderada y severa que corresponde a bancos de riachuelos naturales ondulados y lodosos. El valor de n1 para esta condición varía entre 0.006 y 0.011.
- Tramo 2+866 – 6+159 (El Recreo, Vía Durán – Babahoyo): Tramo más correspondiente a un canal construido que presenta una irregularidad entre menor y moderada que se compara a canales que tienen rugosidad y taludes moderadamente erosionados. El valor n1 para esta condición varía entre 0.005 y 0.010.

En el caso de la corrección debido a las variaciones del tamaño y forma de las secciones transversales (n2), Aldridge & Garrett (1973), sugieren que el estero San Enrique podría considerarse así:

- Tramo 0+000 (desembocadura) – 1+900 (vía entrada a Feria Durán): Las secciones transversales en este tramo se alternan frecuentemente entre pequeñas y grandes, el flujo principal cambia ocasionalmente de lado a lado del canal. El valor n2 para esta condición varía entre 0.010 y 0.015.
- Tramo 1+900 – 2+866 (frente a Centro Comercial): Las secciones transversales en este tramo se alternan ocasionalmente entre pequeñas y grandes. El valor n2 para esta condición varía entre 0.001 y 0.005.

- Tramo 2+866 – 6+159 (El Recreo, Vía Durán – Babahoyo): Las secciones transversales en este tramo sufren cambios graduales o no cambian del todo. El valor n2 es de 0, o no necesita ser considerado en este tramo.

Las obstrucciones en los canales corresponden a palizada, pedruscos, escombros, pilas de puentes que alteran el patrón de flujo e incrementan la rugosidad. De acuerdo con Aldridge & Garrett (1973), el estero San Enrique, podría considerar el efecto de las obstrucciones así:

- Tramo 0+000 (desembocadura) – 1+900 (vía entrada a Feria Durán): El nivel de obstrucciones en este tramo puede ser considerado despreciable ya que el mismo es mucho menor al 5% de la sección transversal. El valor n3 para esta condición varía entre 0 y 0.004.
- Tramo 1+900 – 2+866 (frente a Centro Comercial): El nivel de obstrucciones en este tramo puede ser considerado menor ya que el mismo ocupa entre el 5 y 15% de la sección transversal. El valor n3 para esta condición varía entre 0.005 y 0.015.
- Tramo 2+866 – 6+159 (El Recreo, Vía Durán – Babahoyo): El nivel de obstrucciones en este tramo puede ser considerado apreciable ya que el mismo ocupa entre el 15 y 50% de la sección transversal debido a la presencia de cruces (puentes) frecuentes y escombros. El valor n3 para esta condición varía entre 0.020 y 0.030.

Las obstrucciones en los canales corresponden a palizada, pedruscos, escombros, pilas de puentes que alteran el patrón de flujo e incrementan la rugosidad

El nivel de vegetación en toda la longitud del estero-canal puede ser considerado entre medio y grande ya que se observan matorrales en los taludes del canal cuya altura no excede la mitad de la altura de flujo



Figura 3.10. Obstrucciones en el canal

Toda la longitud del estero-canal San Enrique está cubierta de vegetación. Según Aldridge & Garrett (1973), se podría considerar el efecto de la vegetación en el estero San Enrique de la siguiente manera:

- Tramo 0+000 (desembocadura) – 6+159 (El Recreo, Vía Durán – Babahoyo): El nivel de vegetación en toda la longitud del estero-canal puede ser considerado entre medio y grande ya que se observan matorrales en los taludes del canal cuya altura no excede la mitad de la altura de flujo, eventualmente se observan árboles de mediana altura en los bancos del canal y también se observa eventualmente vegetación en el fondo. El valor n_4 para esta condición varía entre 0.010 y 0.030.



Figura 3.11. Vegetación en el canal San Enrique

La información mínima que requiere el software para realizar la simulación es: el diámetro, la longitud, el coeficiente de rugosidad, la distancia del invert de la tubería a la base del pozo en ambos extremos y la cota de la base del pozo de inspección

Finalmente, el efecto de la sinuosidad del recorrido (meandros) también fue evaluado para corregir el coeficiente de rugosidad de Manning. Se lo determinó para cada tramo calculando la relación entre la longitud real del canal comparado con la longitud de la línea recta que une el inicio y el final del canal. De acuerdo con Aldridge & Garrett (1973), se podría considerar la sinuosidad del recorrido de flujo en el estero San Enrique de la siguiente manera:

- Tramo 0+000 (desembocadura) – 0+637: La relación de sinuosidad en este tramo varía entre 1.21 y 1.25 lo que corresponde a un nivel de sinuosidad apreciable. Por lo tanto, el valor m para esta condición es de 1.15.
- Tramo 0+637 – 6+159 (El Recreo, Vía Durán – Babahoyo): La relación de sinuosidad en este tramo varía entre 1.00 y 1.17 lo que corresponde a un nivel de sinuosidad menor. Por lo tanto, el valor m para esta condición es de 1.00.

Tabla 3.4. Coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo con el tramo

Tramo	n_b	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n
0+000 – 0+637	0.033	0.011	0.015	0.001	0.020	1.15	0.092
0+637 – 1+909	0.033	0.011	0.015	0.001	0.020	1.00	0.080
1+909 – 2+866	0.050	0.011	0.005	0.015	0.020	1.00	0.101
2+866 – 6+159	0.050	0.006	0.000	0.025	0.020	1.00	0.101

Características de las redes de alcantarillado

Para el análisis del estero San Enrique, a más de considerar el aporte directo de agua por las lluvias, también se tomó en cuenta la contribución del caudal de aguas lluvias suministrado por las tuberías de AA.LL. El plano del alcantarillado de aguas lluvias fue proporcionado por el GAD de Durán; no obstante, hasta el momento se han considerado únicamente las redes C', C'' y B' (Imagen 8).

La información mínima que requiere el software para realizar la simulación es: el diámetro, la longitud, el coeficiente de rugosidad, la distancia del invert de la tubería a la base del pozo en ambos extremos (Imagen 7), y la cota de la base del pozo de inspección.

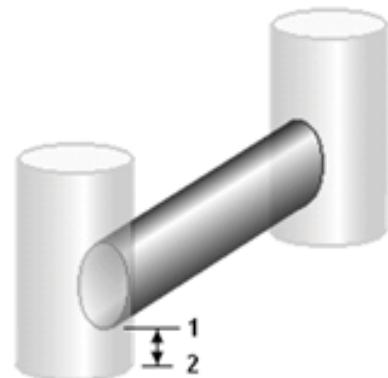


Figura 3.12 Distancia del invert de la tubería a la base del pozo (Fuente: EPA SWMM)

Dado que en los planos no se indica la cota de la base de los pozos, sino únicamente el de las tuberías, se asumió que coincidía con el invert del conducto de salida. En otras palabras, el pozo termina a la misma cota que la tubería de salida. En la imagen 4 se muestran las redes digitalizadas en el software.

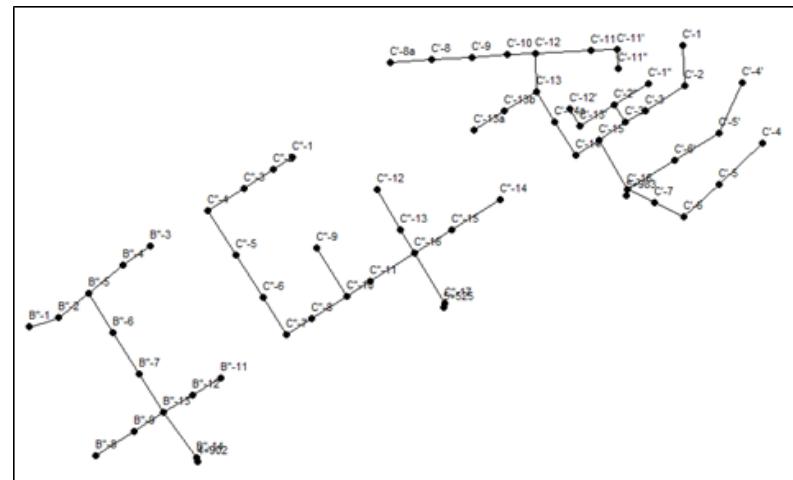


Figura 3.13 Alcantarillado de aguas lluvias - redes B'', C' y C'

Delimitación de microcuenca de drenaje

La importancia de definir las microcuenca de drenaje se debe a la necesidad de estimar qué porcentaje de agua, del total que cae a la superficie, se convierte en escorrentía o es infiltrada; y de acuerdo con eso, el volumen que recoge cada pozo de inspección

La importancia de definir las microcuenca de drenaje se debe a la necesidad de estimar qué porcentaje de agua, del total que cae a la superficie, se convierte en escorrentía o es infiltrada; y de acuerdo con eso, el volumen que recoge cada pozo de inspección.

La delimitación de las microcuenca fue realizada en base a un DEM de la zona de estudio facilitado por el GAD de Durán.

A partir de este, se trazaron perfiles longitudinales a lo largo de las calles empleando el sistema de información geográfica QGIS, con el fin de ubicar los puntos con mayor elevación. Estos sirvieron para predecir el flujo del agua y finalmente, delimitar las microcuenca. (Figura 8)

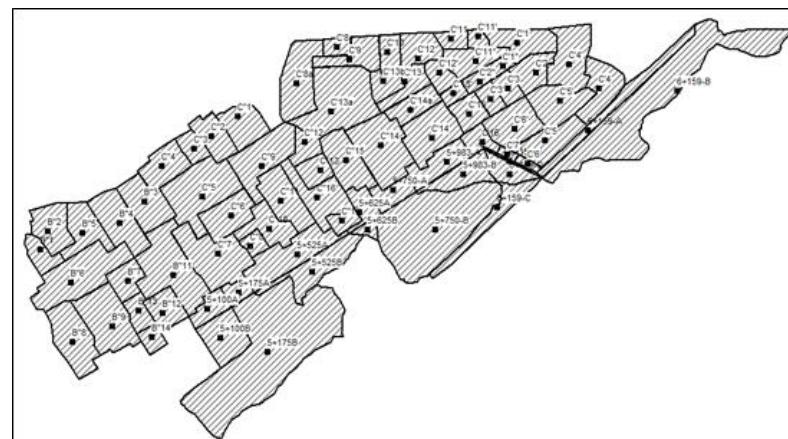


Figura 3.14. Microcuenca digitalizadas en SWMM

El uso del suelo es esencial para estimar la cantidad de agua que se infiltra. El software, SWMM, realiza este análisis empleando el método de Número de Curva. Este consiste en asignar coeficientes a cada zona conforme a sus características y grupo hidrológico para luego ponderarlos y obtener un coeficiente de escorrentía por microcuenca. Adicionalmente, el software necesita el coeficiente de rugosidad de Manning y los valores típicos para el almacenamiento por depresiones, tanto para el área permeable como impermeable.

Selección del coeficiente de rugosidad de Manning para las cuencas de drenaje

McCuen (1996) recomienda los siguientes coeficientes de rugosidad para superficies de flujo en las cuencas de drenaje y que potencialmente se encontrarían en la ciudad de Durán.

- Calles pavimentadas con asfalto: 0.011
- Calles pavimentadas con concreto: 0.012
- Superficies de relleno de escombros (cemento, piedra): 0.024
- Tierras no cultivadas desnudas: 0.05
- Pastizales naturales: 0.13
- Hierba densa: 0.24
- Árboles con poca vegetación a nivel del terreno: 0.40

Selección de los valores típicos para el almacenamiento por depresiones (overland flow)

De acuerdo con la American Society of Civil Engineers – ASCE (1992), los valores típicos para el almacenamiento inicial debido a las depresiones en la superficie son los siguientes:

- Superficies impermeables: 1.27 – 2.54 mm
- Áreas verdes (jardines, parques): 2.54 – 5.08 mm
- Pastizales y matorrales: 5.08 mm
- Residuos vegetales en áreas boscosas: 7.62 mm

Grupos hidrológicos presentes en los suelos superficiales

Uno de los parámetros que influyen la escorrentía de las aguas lluvias en los suelos superficiales es el grupo hidrológico del suelo. De acuerdo con la información suministrada por el Municipio de Durán, la mayor parte del sistema de aguas lluvias está asentada sobre material de relleno que corresponde a suelos que tienen un porcentaje de finos inferior al 10% y más del 90% de arenas gruesas a gravas, lo que corresponde a un grupo hidrológico tipo A.

Este grupo hidrológico presenta una conductividad saturada mayor a 36 mm/h. Sin embargo, los suelos superficiales (en áreas no urbanizadas) cercanos a la desembocadura del Estero San Enrique (a una distancia no mayor a 1 km) son suelos con un porcentaje de finos entre el 10% y el 40% y un porcentaje de arenas finas a medias de entre el 50% y el 90%. Estos suelos corresponden a los grupos hidrológicos B o C, con una conductividad saturada entre 1.35 y 36 mm/h.

Número de Curva (CN) para las cuencas de drenaje

En función de los grupos hidrológicos de suelo a ser encontrados y los diferentes usos de suelo que puedan encontrarse en Durán, los números de curva (con una condición de humedad antecedente tipo II) potencialmente a ser observados son:

Tabla 3.5 Número de curva en función del uso de suelo y el grupo hidrológico

Tipos de usos de suelo	Grupo hidrológico de suelo		
	A	B	C
Pastizales y matorrales en condición pobre	68	79	86
Pradera	30	58	71
Bosques de árboles pequeños con poca cobertura vegetal subyacente	45	66	77
Espacios urbanos, áreas verdes y cementerios con una cobertura vegetal inferior al 75%	49	69	79
Áreas industriales con un 72% de área impermeable o más	81	88	91
Áreas residenciales con terrenos inferiores a los 500 m ² y más del 65% de área impermeable	77	85	90
Terrenos baldíos con una cobertura vegetal inferior al 75%	60	75	83
Calles y caminos pavimentados en climas cálidos	95	95	95
Calles y caminos de tierra	72	82	87

Inconsistencias en la información

Existen inconsistencias en la información proporcionada, principalmente por el GAD de Durán en lo que respecta al plano de alcantarillado de aguas lluvias y en las secciones transversales del estero San Enrique, así como cotas de invert de tuberías que descargan en el canal, pero que estarían por debajo de la solera del mismo. Se espera desde hace varias semanas que la EMAPAD conceda una entrevista para aclarar este y otros temas de datos incongruentes o faltantes en la zona del Canal San Enrique, y otros canales.

En un canal, si la relación ancho-profundidad es pequeña, se puede producir un mayor efecto erosivo que ocasionaría la formación de mayor irregularidad en los taludes del canal

Plano de alcantarillado de aguas lluvias

En lo que concierne a los planos de AALL, en la segunda etapa del Recreo, se halla una tubería ($C'' 17 - C''$) que descarga al canal San Enrique en la abscisa 5+525 (Imagen 10). Sin embargo, su cota de descarga (-0.529 m) se encuentra por debajo de la cota máxima del canal (0.448 m) lo cual indicaría que descarga a la tierra. En caso de que la información sea auténtica, esta podría ser la causa de las inundaciones en esa red.

Del mismo modo se encuentran incoherencias en las longitudes y en los diámetros de las tuberías. El plano de AALL fue importado a QGIS para ingresar las características de los conductos. En ocasiones, al medir manualmente la distancia entre pozos de inspección, estas no coinciden con las longitudes especificadas en el plano. En tal caso se ha procedido a utilizar la longitud calculada por el SIG. En cuanto a los diámetros, se espera que al acercarse al punto de descarga, estos aumenten; sin embargo, ocasionalmente disminuyen.

En la figura 3.15 se muestra un ejemplo:



Figura 3.15. Inconsistencias en los diámetros de tubería (Primera etapa del recreo, red C')

Secciones transversales

En los archivos proporcionados por el GAD de Durán, donde consta la geometría de las secciones transversales, se observa que en algunas secciones la cota aguas arriba es menor que aguas abajo. Esto implica que tramos del estero San Enrique se encuentran en contrapendiente. Cuando lo ideal es que sea al revés para que el agua no quede retenida. Esto se ve en las abscisas 0+966 – 2+329, aproximadamente 1.5 km.

Por otra parte, también se observan grandes cambios de sección. Entre las abscisas 3+998 y 4+041 la sección transversal promedio es de 12.96 ± 0.06 m²; mientras que entre las abscisas 4+041 y 4+425, la sección transversal promedio es 29.75 ± 7.09 m². Es decir, hay estrechamiento de sección el cual deberá ser analizado para percibirse de los efectos que podría ocasionar en la red de drenaje.

Resultados parciales

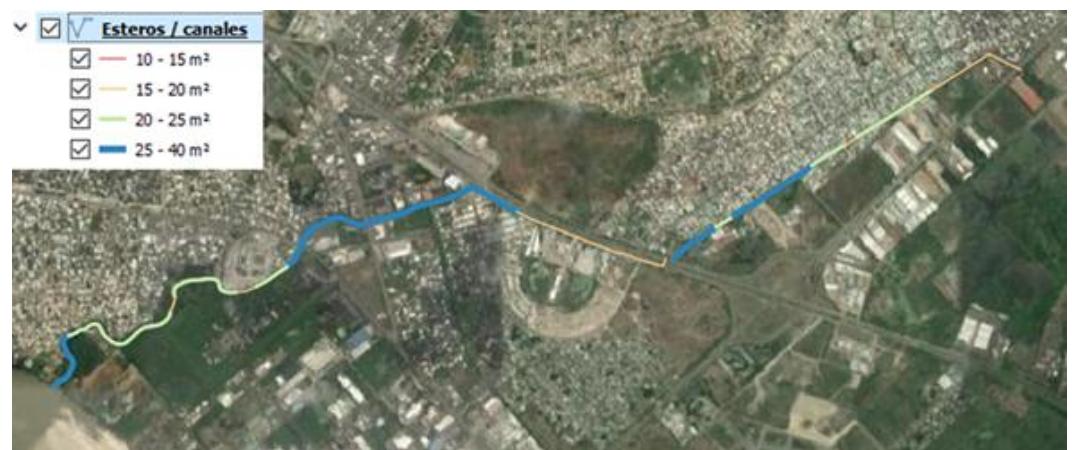


Figura 3.16. Variación del área transversal a lo largo del estero San Enrique

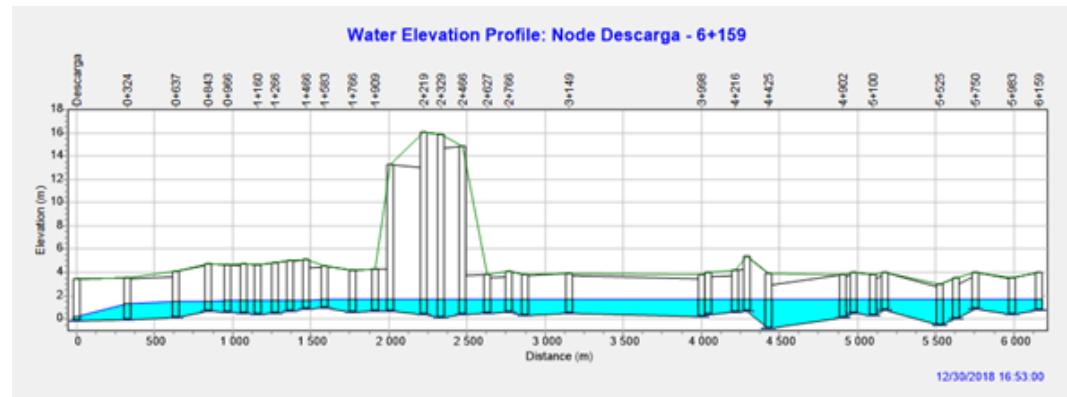


Figura 3.17. Perfil del canal San Enrique

En un canal, si la relación ancho-profundidad es pequeña, se puede producir un mayor efecto erosivo que ocasionaría la formación de mayor irregularidad en los taludes del canal

Las diversas secciones transversales del canal San Enrique se muestran en la imagen 11. Como se puede notar, el canal no mantiene su área constante. Aguas arriba (a la altura de la ciudadela El Recreo), las secciones oscilan entre 10 a 20 m². Y aumentan cuando el canal recoge mayores caudales, llegando a la vía Durán- Bolíche. No obstante, una vez que el canal (encajonado) ha pasado la vía, disminuye nuevamente a 15-20 m². Asimismo sucede en el sector bajo del canal (hasta la fábrica Mavisa-Feria de Durán). Esta serie de estrangulamientos ocasionan, no sólo pérdidas de energía, sino estancamientos en puntos críticos, que dificultan el desfogue.

En la imagen 12 se muestra un perfil longitudinal del canal San Enrique. En el perfil aparece la proyección de los cerros de Durán (abscisas 1+909 hasta 2+627). En base a la información topo-batimétrica proporcionada por el GAD de Durán, se puede notar que existen varios tramos del canal que están o trabajan a contrapendiente, posiblemente porque las limpiezas periódicas no son hechas al mismo tiempo, ni en todos los lugares, o no considerando que la pendiente general del canal es mínima, y muy susceptible a pequeños cambios. Esto ocasiona que el agua se estanke en segmentos como por ejemplo, de la abscisa 4+425 a la 4+192 (sector El Recreo).

En un canal, si la relación ancho-profundidad es pequeña, se puede producir un mayor efecto erosivo que ocasionaría la formación de mayor irregularidad en los taludes del canal

Si se incorpora la marea (no máxima) con $T = 2$ años, y sin lluvia, se puede notar que el nivel alcanza como máximo 2 msnm. En los colectores de El Recreo, sólo con este tipo de marea y su correspondiente efecto de remanso, se tienen varios colectores inundados, cuya cota, en la mayoría de los casos es 1.80 msnm. Por lo que, con una lluvia de corta duración, pero de cierta intensidad (ej. 10 mm/h), estos colectores y sumideros, junto con las calles vecinas, se inundarían. Tal situación se ve favorecida por la naturaleza de la topografía existente (pendientes muy bajas), y por la masiva presencia de vegetación a lo largo del canal.

Al momento se está corriendo la conjunción de un evento de marea, más efecto de lluvia. Sin embargo, se está procesando la información de colectores y tuberías en la parte baja del canal.

Referencias

Acosta, E., Vera, J. (2016) "Evaluación hidrológica – hidráulica de la ciudadela El Recreo etapa I en el cantón Durán para el control de inundaciones", Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

McCuen, R. et al. (1996) Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC

ASCE. (1992) Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, New York, NY

Conclusiones

Debido a la presencia de pendientes bajas y a la falta de mantenimiento, el canal San Enrique presenta una alta vulnerabilidad a inundaciones, no sólo a lo largo de su recorrido, sino en los colectores que llegan a él, principalmente por el efecto de remanso – represamiento de la conjunción marea – acumulación de caudal producido por lluvia – caudal generado desde tuberías.

Desde ya, una recomendación, es mejorar el detalle de información topográfica en cuanto a salidas de colectores (al menos 3 de ellos están bajo la solera de aquel canal), así como levantamiento con estación total (por parte del GAD de Durán) de las zonas conocidas ya como proclives a inundación.

Interagua. (2010) "Plan Maestro de AAPP, y Alcantarillado Pluvial", Interagua, Guayaquil, Ecuador, pág: 269 – 270.

U.S. Department of Transportation. (1984) Guide for selecting manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains, U.S.: Autor, pág: 3 – 13.

Deslizamientos



Fuente: EL UNIVERSO

Introducción

Las ciudades grandes son más vulnerables a los impactos del cambio climático debido a factores como la alta concentración, eventos hidroclimáticos extremos, e inadecuada infraestructura en asentamiento informales (IPCC, 2007) (IPCC, 2014b). Según los estudios de riesgo de desastres (Lu & Stead, 2013), las áreas urbanas pueden causar o contribuir a riesgos intensos (desastres) y extensivos (desastres de menor impacto y cotidianos). El incremento demográfico de zonas vulnerables se da generalmente sin planificación, lo cual genera problemas a corto y largo plazo.

Sobre esa base, la Escuela Superior Politécnica del Litoral en convenio con el GAD Municipal del Cantón Durán se encuentran realizando el proyecto “Resiliencia climática de Durán: Diseñando Estrategias de adaptación para riesgos hidro-climáticos. (RESCLIMA- DURAN)”. En el cual, en su componente 1200 tiene como objetivo realizar el análisis de amenazas por movimientos en masa (deslizamientos), siendo este el objetivo del primer informe de avance.

Los movimientos en masa son fenómenos naturales que por sus características pueden generar grandes pérdidas tanto económicas como humanas. Se estima que la probabilidad de ocurrencia y consecuencias generadas por este fenómeno aumenten durante las próximas décadas como resultado del cambio y el aumento de vulnerabilidades especialmente en zonas urbanas (Poussin, 2015) (IPCC, 2014b), partiendo de aquí la importancia de su estudio.

El cantón Durán es el segundo cantón más poblado de la provincia del Guayas, con una población de 235769 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010) y una extensión de 300,45 km². El 95% del cantón de Durán se encuentra asentado sobre suelos poco cohesivos de origen aluvial, mientras que el 5% restante yace sobre rocas en los cerros. En estos cerros se pueden observar asentamientos humanos informales, actividades de tipo extractiva y áreas de espacio comunales, siendo los asentamientos informales los elementos que presentan una mayor exposición a ser afectados por movimiento en masa (Municipio del Cantón Durán, 2015).

Objetivo General

Establecer las zonas de riesgo por movimientos en masa del Cerro del Tres y de Cerro Grande que forman parte de la urbe del Cantón Durán, mediante la obtención, análisis, procesamiento, e interpretación de datos geológicos para la elaboración de un mapa de amenaza por deslizamientos.

En el año 2009, se reporta que a causa de fuertes lluvias varias casas colapsaron, razón por la cual fueron reubicadas más de 134 familias en casas donadas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) (Diario El Tiempo, 2011).

Por lo tanto, el presente informe muestra los resultados parciales del levantamiento de información geológica y geomecánica que servirán de base para la elaboración del análisis de amenazas por movimientos en masa en los cerros del área urbana del cantón de Durán.

Marco Geológico y área de estudio

El régimen tectónico de la región costera (Figura 1), se encuentra controlado por la subducción de la cordillera de Carnegie y por la convergencia oblicua de la placa de Nazca, formando un sistema principal de fallas transpresionales que limitan las cordilleras costeras y definen la cuenca antearco.

La costa ecuatoriana (antearco) y la cordillera occidental son el resultado de la acreción de bloques oceánicos alóctonos durante el Cretácico tardío y el Eoceno (Goosens and Rose, 1973; Feininger and Bristow, 1980; Jaillard et al., 2004; Spikings et al., 2005; Vallejo et al., 2009, 2006). El antearco ecuatoriano está formado por los bloques Piñón, San Lorenzo, Pedernales-Esmeraldas y el de Santa Elena (Figura 1). Estos bloques se encuentran sobre un basamento máfico (Fm. Piñón), que está cubierto por lavas de arco de islas (Fm. San Lorenzo y Las Orquídeas) y una gruesa secuencia volcano-clástica (Vallejo et al., 2009).

El área de estudio esta conformada por los cerros del Tres y Cerro Grande; estos cerros están presentes en la zona urbana del cantón Durán, se extienden al oeste desde el margen izquierdo del Río Guayas 7 km hacia el este y se caracterizan por presentar laderas rectas con pendientes suaves hacia el sur y empinadas de este a oeste.

La geomorfología de los cerros corresponde, a cerros testigos dominados por ambientes erosivos cuyas formas son el reflejo de las estructuras geológicas principales tales como estratificación y diaclasamiento. Los Cerros de Durán, están rodeados por áreas de alto índice de flujo tectónico, lo que indica que están en una zona tectónicamente activa.

La litología en los cerros está caracterizada por rocas volcano-sedimentarias marinas y rocas sedimentarias, cubiertas por depósitos superficiales compuestos principalmente de material autóctono producto de la erosión y meteorización de las rocas preexistentes. Acorde con el léxico estratigráfico del Ecuador (Bristow & Hoffstetter, 1997) y estudios anteriores, los materiales geológicos descritos en el área de estudio corresponden a la Formación Cayo la cual representa aproximadamente un 70% del área en su sección NW, compuesta desde la base por brechas volcánicas, areniscas, wacke y en su tope menos volcánico por argilitas y pedernales de color café amarillento. El otro 30% del área de estudio corresponde a la Formación Guayaquil la cual se caracteriza por una secuencia monótona de lutitas silíceas con enriquecimiento de nódulos de pedernal color gris claro a oscuro.

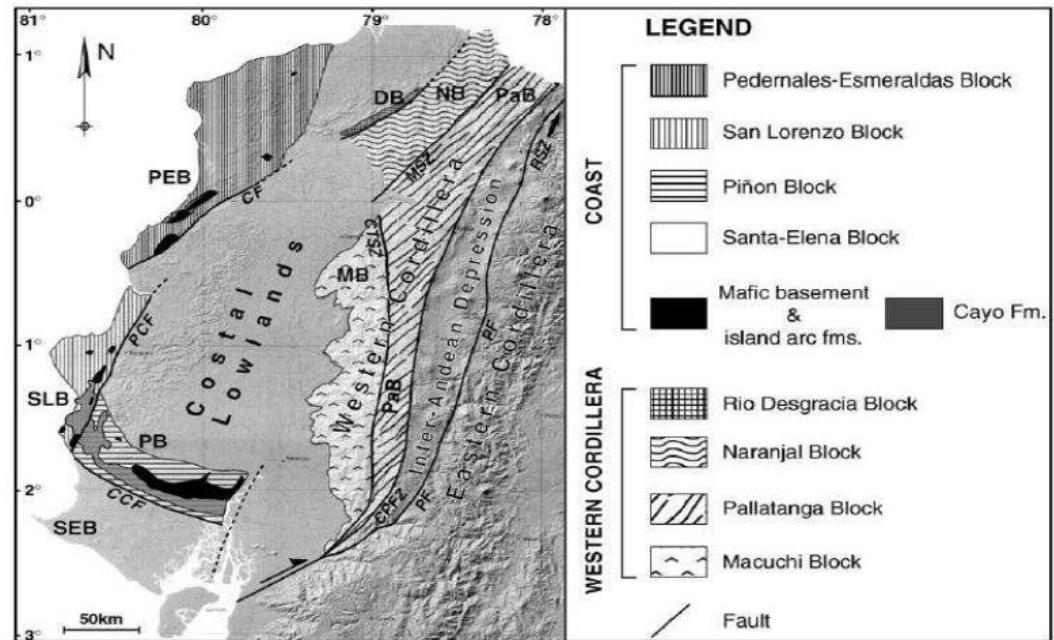


Figura 4.1 Mapa de unidades tectono-estratigráficas en el antearco ecuatoriano. Abreviaturas: CCF, Chongón-Colonche Fault; CF, Canandé Fault; CTSZ, Chimbo-Toachi Shear Zone; CPFZ, Calacalí-Pujilí Fault Zone; DB, Desgracia Block; MB, Macuchi Block; MSZ, Mulaute Shear Zone; NB, Naranjal Block; PaB, Pallatanga Block; PB, Piñon Block; PEB, Pedernales-Esmeraldas Block; PCF, Puerto Cayo Fault; PF, Pallatanga Fault; RSZ, Romeral Suture Zone; SEB, Santa-Elena Block; SLB, San Lorenzo Block. The Pallatanga Fault is the Ecuadorian along-strike extent of the Romeral Fault Zone. Background digital elevation map from Souris. (L.D.A. Luzieux et al., 2006)

Metodología

El desarrolló del componente de análisis de amenaza por movimientos en masa se llevó a cabo en tres etapas como se detallan a continuación:

- La primera etapa incluyó la recopilación y revisión de información geológica regional y local existente en los organismos estatales, compañías y colegas apropiados, para así poder estudiar informes, fotografías aéreas y mapas de interés que comprenden las características geológicas generales de la zona.
- La segunda etapa comprendió la fase de campo mediante el reconocimiento y levantamiento geológico y geotécnico en los cerros del Tres y Cerro Grande mediante diversas salidas de campo. El levantamiento geológico se basó en el reconocimiento de las unidades litológicas aflorantes, levantamiento de columnas estratigráficas y toma de datos

estructurales en el área de estudio, siguiendo las directrices de la guía geológica de campo de Robert Compton (Compton, 1970); para el levantamiento geotécnico se implementó la metodología de (González de Vallejo et al, 2002), a través de la descripción de las características de cada afloramiento, los parámetros del macizo rocoso y la caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso, donde se empleó el índice de masas de roca y análisis cinemático de las discontinuidades en formato buzamiento/Dir. Buzamiento entre rocas sedimentarias y volcánicas. Por último, la tercera etapa se integró e interpretó la información recolectada en las anteriores etapas. Para el procesamiento del levantamiento litológico, columnas estratigráficas, datos estructurales se utilizaron software libre y la elaboración del presente informe.

Resultados

Esta componente presenta los resultados obtenidos en el levantamiento geológico y geotécnico de la zona de estudio.

Levantamiento geológico en el cerro del Tres

Para realizar el levantamiento de información en el Cerro del Tres (Figura 2), este fue dividido en los cerros de acuerdo a los sectores urbanos de la siguiente manera:

- Las Cabras
- Los Almendros
- La Cantera
- San Enrique

MAPA LITOLÓGICO CERRO DEL TRES

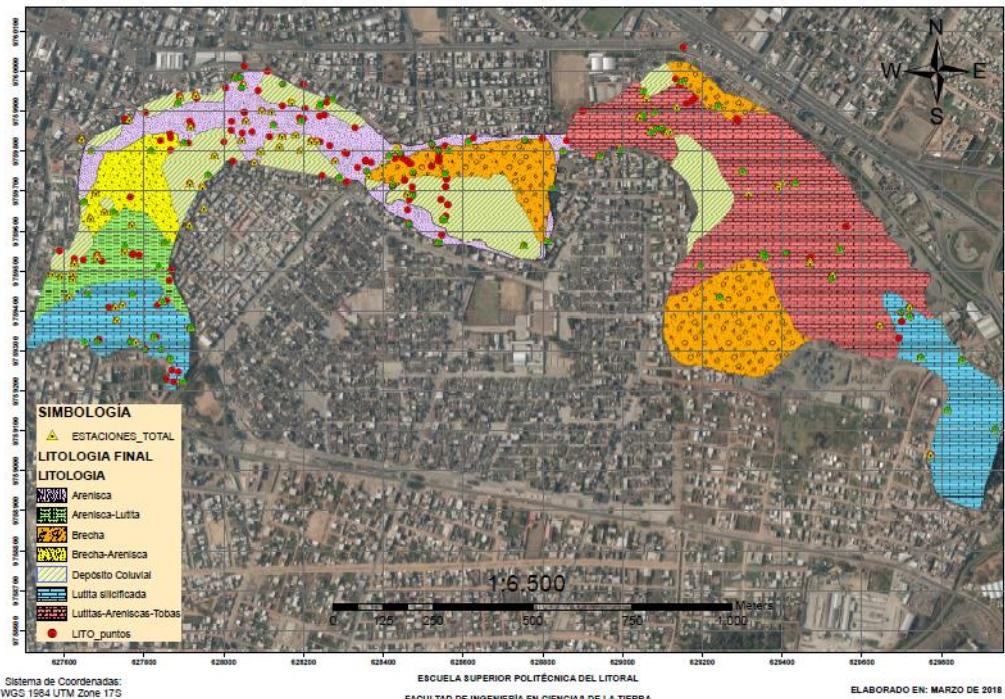


Figura 4.2 Mapa Litológico Cerro del Tres ubicado en el cantón Durán, con la simbología perteneciente a los diferentes tipos de litologías presentes en ellos y que son aflorantes, estaciones, puntos de control, y columnas estratigráficas

Cerro Las Cabras

El cerro Las Cabras ubicado al oeste de la figura 2, presenta seis litologías diferentes: 1) areniscas, que cubren un área de 61903 m² lo que representa el 18 % del área total del cerro; estas areniscas se caracterizan por ser de tamaño medio (Figura 3), de color marrón oscuro, y por tener presencia de limo de textura friable; además, presenta meteorización que le da un color oxidado. 2) Areniscas, lutitas, las cuales cubren un área del 13% del total del cerro, con aproximadamente 44656 m², estas son de color gris (lutitas) y marrón claro (areniscas). 3) Brechas, cubren una pequeña parte del cerro en comparación al resto de litologías, son de color gris oscuro y afloran principalmente a la base del cerro. 4) Brechas, areniscas, se caracterizan por intercalaciones de areniscas de grano medio fracturadas con presencia de pequeñas capas de brecha verdosa, cubriendo una cerro). 5) Depósitos Coluviales, bloque de matriz soportada arcillo-arenoso, con clastos de areniscas de grano fino-medio (figura 4), con cierta gradación de grano fino-medio, y de gradación inversa, cubriendo un área de 86801 m² (25% del cerro). 6) Lutitas silicificadas, masivas de color gris bien estratificadas y compactas; poseen pequeñas intercalaciones de limo de 10 mm a 1 cm estratificado compacto, color marrón claro, con una extensión de 61830 (17% del cerro).

En la figura 4 se observan capas compactas estratificadas paralelas de lutita silicificada de color marrón claro con presencia de pequeñas capas de limo de tamaño milimétrico. Las medidas estructurales del pliegue son sinclinal 169/10, pliegue del eje 155/24, anticlinal 290/30 y sinclinal 80/42.



Figura 4.3. Levantamiento de datos estructurales en el tope del Cerro las Cabras



Figura 4.4. Coluvial presente en la base del Cerro las Cabras



Figura 4.5. Pliegue presente en el Cerro las Cabras, detrás de la urbanización colina de Durán



Figura 4.6. Afloramiento presente en el sector Cruz de Mayo

En el sector Cruz de Mayo, Figura 5, se observaron lutitas de color gris verdoso con alta meteorización y fracturación de roca So 210/20, presencia de tres tipos de juntas diferentes: J1 275/78, J2 25/80 y J3 15/80 ademas se observa la presencia de arenas masivas de color marrón claro con meteorización esferoidal.

Como resultado se obtuvo el mapa litológico en el sector del cerro las cabras (figura 7).

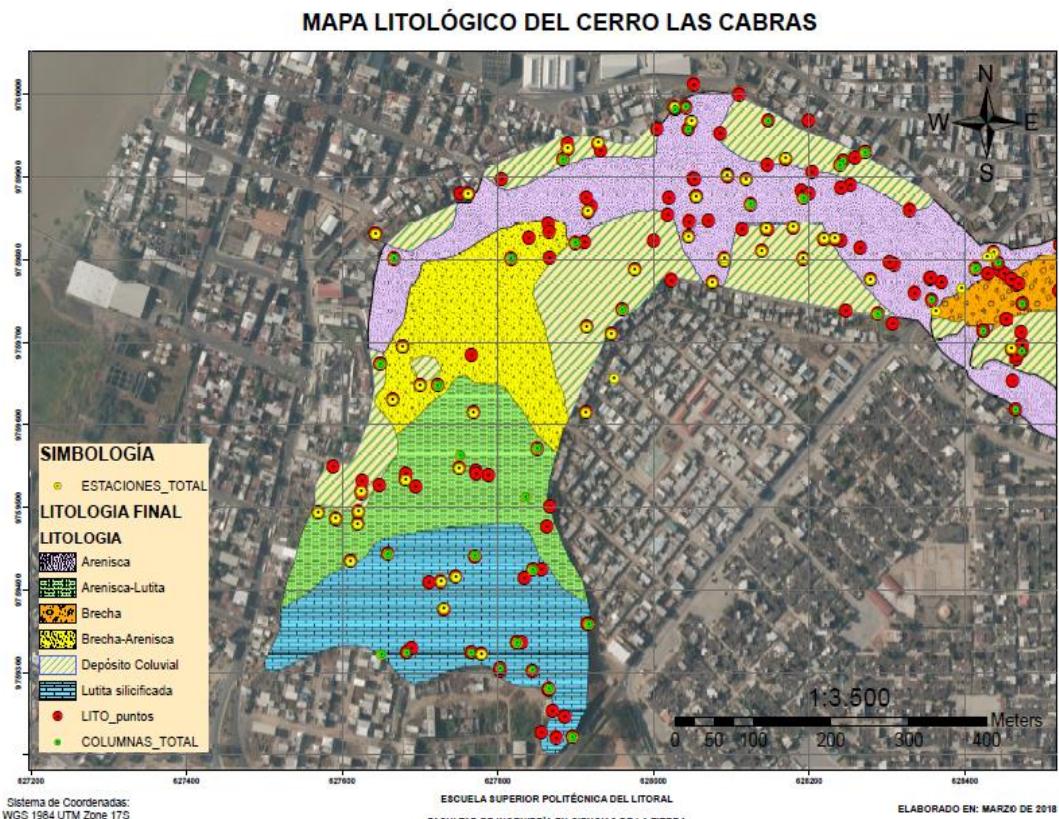


Figura 4.7. Mapa Litológico del Cerro Las Cabras, con la ubicación de columnas estratigráficas, puntos de control y estaciones

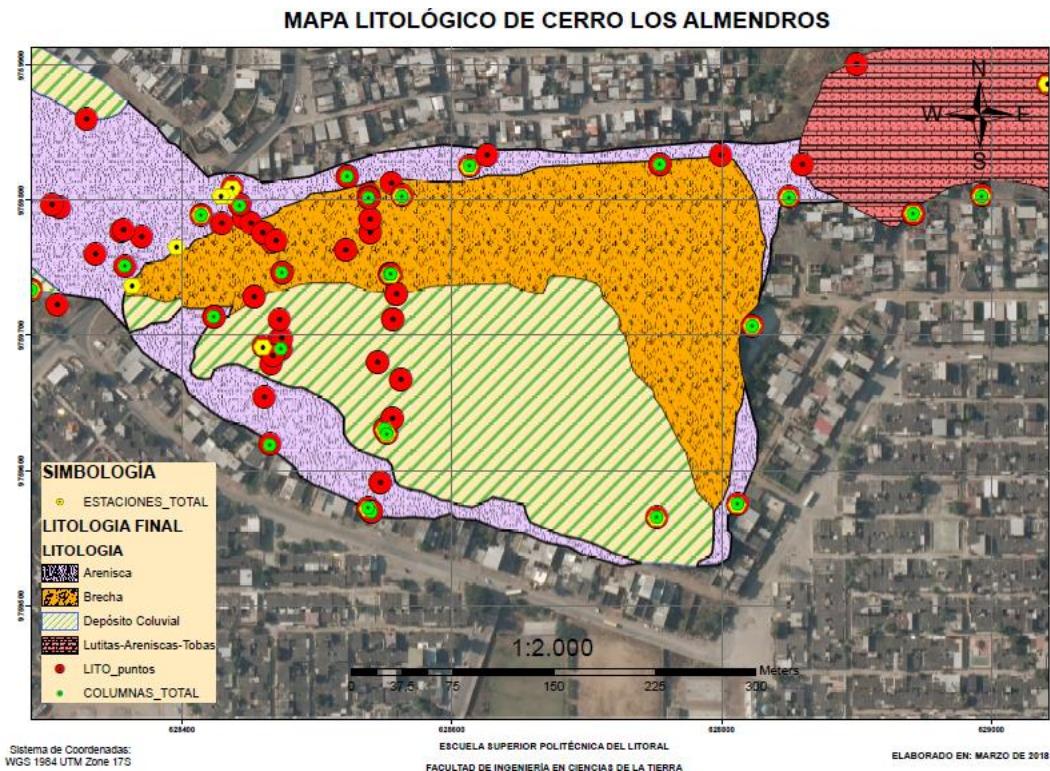
Cerro los Almendros

Ubicado en la zona central al norte de la figura 3, el cerro los Almendros presenta tres tipos de litologías 1) Areniscas, se presentan de grano fino y de grano grueso con gradación inversa, las capas son de color marrón oscuro medianamente meteorizadas. 2) Brechas, se observan gruesas de color verde grisáceo con clastos sub-angulosos de color marrón claro, con presencia de meteorización esferoidal,

se las observan en un área de 44800 m², que representan un 38% del área total del Cerro Los Almendros (Figura 8). 3) Depósitos coluviales, se extienden en un área de 46600 m² representando un 39% del área del cerro se observan materiales variados propios de las litologías observadas en el cerro con una matriz arenosa con clastos angulosos de tamaño centimétricos de color marrón claro.



Figura 4.8. Afloramiento de capas métricas de brechas con potencia decimétrica con intercalaciones de arenisca con alta presencia de meteorización esferoidal (cuadro rojo)



Como producto del levantamiento en el cerro Los Almendros se obtuvo el mapa de su composición litológica (Figura 9).

Figura 4.9. Mapa Litológico del Cerro los Almendros, con la ubicación de columnas estratigráficas, puntos de control y estaciones

Cerro de la Cantera

Ubicado al este de la figura 3, el cerro de La Cantera se extiende hasta el área del cementerio municipal. En este cerro se observan 3 litologías:

1) Lutitas, Arenicas, Tobas, estas se extienden en un área de 251275 m² representando un área de 66% del total del cerro, se caracteriza por intercalaciones de

En este cerro las estaciones presentan grandes cambios estructurales probablemente por la presencia de actividad minera por voladura de rocas.

areniscas de color marrón oscuro con presencia de capas decimétricas a centimétricos de tobas color verde y lutitas color gris oscuro, además, se observa un relleno milimétrico con cristales de sílice acompañadas de un bandeamiento a favor de la estratificación (figura 10).

2) Brechas, se observan de color marrón oscuro con clastos de tamaño milimétrico a centimétrico con presencia de intercalaciones de arena de grano medio en tramos, esta litología se extiende un área de 83960 m², representando un 22% del área total del cerro (Figura 17).

3) Lutitas Silificadas, presencia de lutitas de color gris azulado con capas decimétrica compactas silicificadas con sucesiones de limolita de color marrón, se presentan en un área de 18716 m², representando un 5% del cerro.

4) Deposito Coluvial, observados en un área de 26869 m², representan un 7% del cerro, se caracterizan por una matriz arcillosa con presencia de clastos angulosos de tamaño centimétrico, de diversos materiales.



Figura 4.10. Afloramiento del Cerro de la Cantera, con presencia de intercalaciones de lutitas, areniscas y tobas



Figura 4.11 A) Bloques de brechas de 80-30 cm presentes en el Cerro de la Cantera con capas delgadas de lutitas silicificadas de color verdoso y gris de tamaños de 10-20 cm. B) Intercalaciones presentes en la Cantera, en la parte inferior donde está colocado en lápiz se observan capas de limo de color marrón y otras de color verdoso fracturadas.

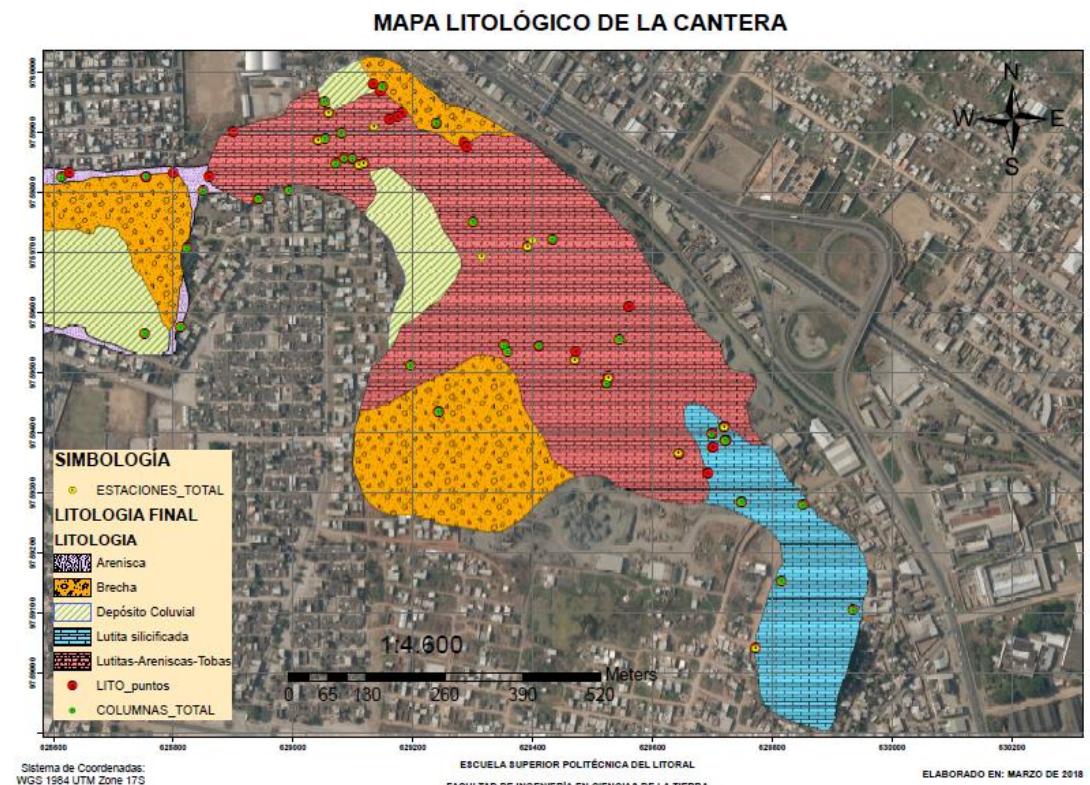


Figura 4.12. Mapa Litológico de la Cantera, con la ubicación de columnas estratigráficas, puntos de control y estaciones

Cerro San Enrique

El Cerro San Enrique está ubicado al este de la figura 2. Este cerro se caracteriza por presentar una secuencia de lutitas solidificadas, intercaladas con limolitas y tobas de color gris a crema (Figura 4.13), la estratificación se observa bien marcada

con estratos que se alternan entre 20 a 30 cm con pequeñas bandas de pedernal observables en nódulos color negro. El mapa del levantamiento efectuado en este cerro se observa en el margen derecho inferior de la Figura 4.13



Figura 4.13. Secuencia bien estratificada de lutitas salificadas, Cerro San Enrique, 04/04/2018

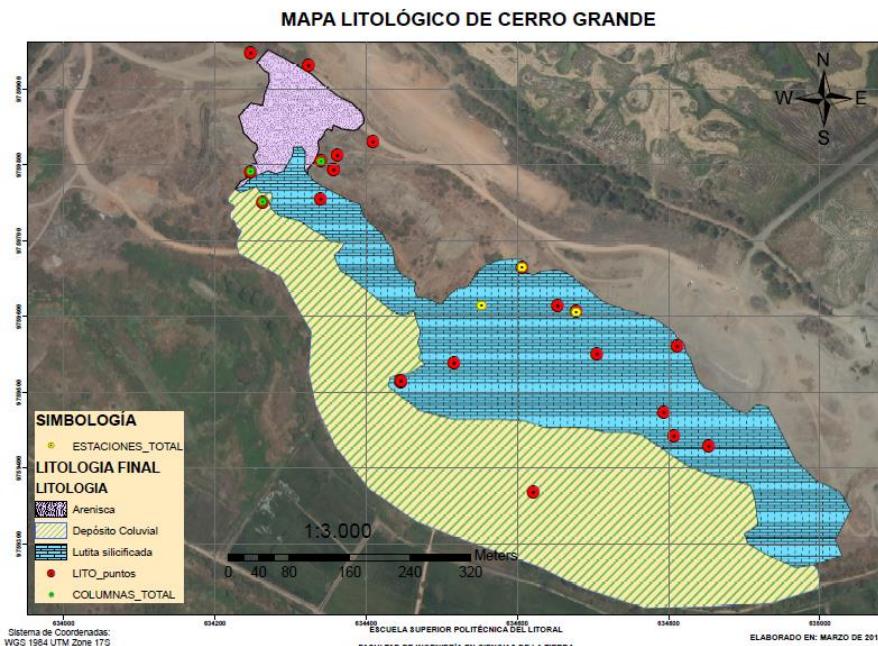
Levantamiento geológico en el cerro del Tres

En el cerro conocido como Cerro Grande (Figura 4.14) se observaron tres tipos de litologías:

1) areniscas, estas se extienden en un área de 14194 m², que representa un 6% del área total del cerro, se caracteriza por ser de grano medio a fino color marrón oscuro con presencia de limos de color gris.

2) Lutitas silicificadas, con un área de 107866 m² representando un 40 % del área total del cerro, de color gris y beige compactas con presencia de Slumps, y de nódulos de sílice en ciertas zonas.

3) Los depositos coluviales representan el 52% del área total del cerro con un valor de 135440 m², y poseen una matriz de arcilla de color anaranjado, con presencia de clastos de tamaños milimétricos.



En la figura 15, se indica con una línea roja continua una falla vertical de carácter normal con dirección 60N/60. En esta figura, se observa el desplazamiento del bloque; dada la extensión y la continuidad de esta falla reflejada, se infiere que es una zona de falla ubicada en dirección 60N/72, UTM 17 S 634553/9759614. Además, se observa milonita color amarillenta con un espesor de 1m, acompañada de arenisca friable de capa centímetrica color marrón.

Figura 4.14. Mapa Litológico de cerro Grande, con la ubicación de columnas estratigráficas, puntos de control y estaciones



Figura 4.15. A) Falla normal, plano de falla remarcado con línea roja y estrato guía entre líneas del mismo color. B) capa de milonita presente en la zona de falla

En la figura 16 se encuadran algunos de los slumps presentes en Cerro Grande, este afloramiento se encuentra ubicado 634606/9759665, en este punto afloran dos tipos diferentes de litología a primera es una lutita silicificada compacta con bandas milimétricas de silice con estratificación So 210/40, la segunda es presencia de arenisca meteorizadas de color rojizo siguiendo la misma estratificación que la primera; en la figura se representa con una linea verde a una diclaza con dirección J 62/72. Con la observación de estos slumps y de otros en otros afloramientos se infiere que los slumps son perpendiculares a la dirección de estratificación.

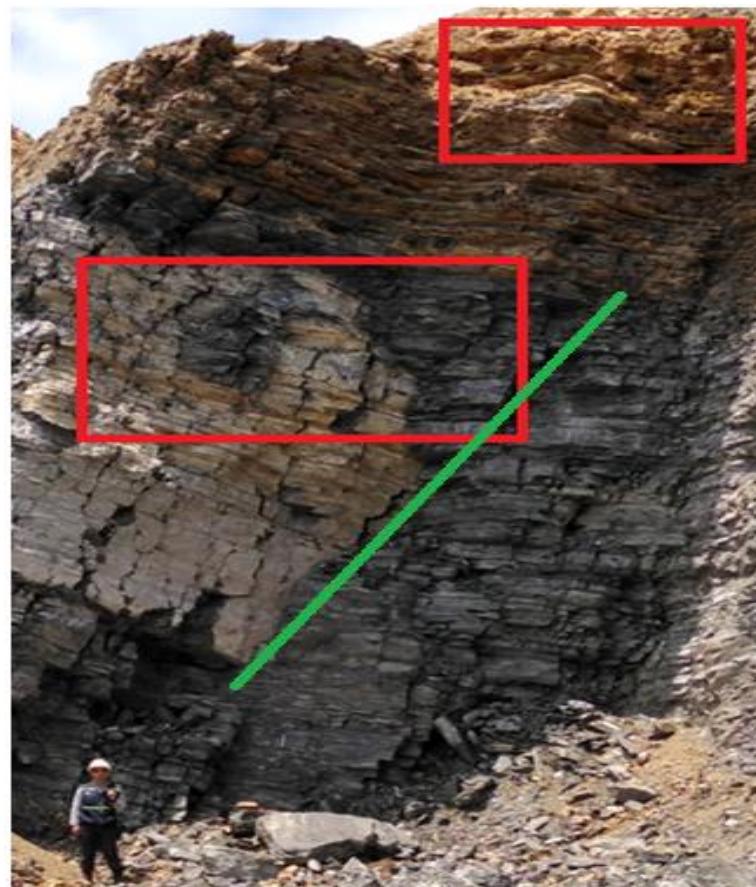


Figura 4.16. Slumps, presentes en los afloramientos de Cerro Grande

En la figura 17 se ilustra la presencia de suelo laterítico de color rojizo con remanencia de lutita silicificada, ubicado en la parte posterior de la Zona de explotación de material de "Roca Azul" 634263/9759751, con una potencia de aproximadamente 8.6 metros.



Figura 4.17. Afloramiento de arcilla roja ubicada en Cerro Grande

Levantamiento Geomecánica

Las fichas geomecánicas, fueron analizados con diversos parámetros importantes que deben ser considerados para la correcta determinación de las características de los macizos rocosos estudiados que serán mostrados en los anexos de este documento. Dentro del análisis cinemático de las discontinuidades se determinó la disposición geométrica de las estructuras de la roca como es: estratificación, fallas, juntas, foliación, entre otras, respecto a los taludes o laderas donde afloran, con el objetivo de estimar la probabilidad de las estructuras a comportarse como zonas de falla de tipo cuña, planar o volcamiento.

El cálculo estadístico de las familias de discontinuidades en los taludes y laderas de los sectores visitados se realizan con una base de 1000 datos de discontinuidades en formato buzamiento/Dir. Buzamiento entre rocas sedimentarias y volcánicas. Las familias de discontinuidades se calcularon utilizando la red estereográfica con la falsilla de Smith. La información obtenida hasta el momento indica que el macizo rocoso presenta características geotécnicas homogéneas, caracterizada por una resistencia a la compresión simple en la roca matriz de entre 46-66 MPa. El diaclasado es sistemático en cada estación, no menos de dos familias de discontinuidades con un espaciado de diaclasa entre juntas a moderadas semicontinuas con superficie de onduladas lisas y lisas. Se observa un relleno de calcita o arcillas ligeramente alterado y en algunos casos nulos.

Se debe tener en consideración que las zonas donde se realizaron las mediciones estuvieron altamente meteorizadas con presencia abundante de vegetación, lo cual podría dar valores erróneos. Por esta razón se sugiere verificar los valores obtenidos, con los valores esperados considerando la litología obtenida en la primera parte del trabajo y tablas disponibles.

Resistencia a compresión simple

Para ello, se debe obtener el RMRb, rock mass rating o sistema de clasificación de macizo rocoso, en este caso se implementó el definido por Sen & Sadagah en 2003.

La clasificación de Sen & Sadagah se compone de cinco parámetros básicos:

1. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta (r_o)
2. Denominación de calidad de la roca, "RQD" (r_{RQD})
3. Espaciado entre discontinuidades (r_x)
4. Condiciones de las discontinuidades (r_j)
5. Estado de las aguas subterráneas (r_G)

Por lo tanto, el RMR básico puede ser calculado de la siguiente manera:

$$RMR_b = RMR - r_c = r_o + r_x + r_j + r_{RQD}$$

La resistencia a la compresión simple de la roca (σ_c) se calculó utilizando el martillo de Schmidt tipo L, y los resultados se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resistencia a la compresión simple de la roca

Muestra	Litología	Peso específico (kN/m ³)	σ_c (Mpa)
AL-Durán	Arenisca-Lutita	2,6	34,365
B-Durán	Brecha	2,4	44,255
BA-Durán	Brecha-Arenisca	2,57	154,531
DC-Durán	Deposito Coluvial	2,56	59,409
LS-Durán	Lutita-silicificada	2,43	99,361
LAT-Durán	Lutita-Arenisca-Toba	2,56	26,649

Para el cálculo del RQD debido a que no se realizaron perforaciones se utilizó la metodología sugerida por Priest y Hudson en 181, la cual nos permite estimar el valor de RQD A partir de la frecuencia del espaciado de discontinuidades (λ) utilizando la siguiente formula:

$$RQD = 100_e - 0.1\lambda * (0.1\lambda + 1)$$

Donde $\lambda = 1/X$ y X es el promedio del espaciado de discontinuidades en metros.

Las condiciones hidrogeológicas fueron calculadas para con un valor de ru (relación entre la presión de poros y el estrés vertical considerando la profundidad), de 0.02 para los taludes secos, 0.2 para los taludes húmedos y 0.5 para los taludes con flujo, los cuales son valores estimados por Bieniawski en su clasificación del 1989.

Por último, el valor para las condiciones de las discontinuidades tomadas en campo se calcula sumando los valores de rating en la Tabla 4.1. A continuación, se presentan los valores obtenidos de RMRb, de las fichas levantadas en campo.

X	Y	Litología	Ficha	σc (Mpa)		RQD		Espaciado de discontin. (m)		Condiciones de discontinuidad		Hidrogeología	
				Valor	Pond	Valor	Pond	Prom	Pond	Pond	Pond	Pond	RMRb
628394	9759754	Lutitas silicificadas, limolitas y brechas	T1	27.524	2	94.252	20	0.26	10	24	10	10	66
628715	9759639	Lutitas silicificadas, limolitas y brechas	T2	26.649	2	98.831	20	0.6	10	22	7	7	61
628394	9759754	Areniscas y Lutitas	T3	34.514	2	89.251	17	0.18	8	21	7	7	55
628570	9759369	Areniscas y Lutitas	T4	53.989	7	95.538	20	0.3	10	20	7	7	64
628797	9759741	Lutita silicificada	EG1-H1-L	95.589	7	99.731	20	0.12	10	20	7	7	64
628790	9759771	Brecha	EG1-H1-BR	28.250	2	79.676	17	1.3	15	17	7	7	58
628765	9759553	Lutita silicificada	EG1-H2-L	230.770	12	73.576	13	0.1	8	13	7	7	53
628767	9759663	Brecha	EG1-H2-BR	249.612	12	98.866	20	0.6	10	20	7	7	69
627817	9759801	Brecha	GEOH 14BR	108.495	12	83.921	17	0.13	8	13	7	7	57
627840	9754826	Brecha	GEOH 2BR	105.486	12	93.392	20	0.2	10	17	7	7	66

X	Y	Litología	Ficha	σc (Mpa)		RQD		Espaciado de discontin. (m)		Condiciones de discontinuidad		Hidrogeología	
				Valor	Pond	Valor	Pond	Prom	Pond	Pond	Pond	Pond	RMRb
627678	9759695	Lutita silicificada	GEOH3LS	60.330	7	98.372	20	0.52	10	8	7	52	
629009	9759889	Brecha-Arenisca	GEOMECK-3-BR-AR	59.409	7	95.538	20	0.33	10	15	7	59	
627682	9759324	Lutita silicificada	EG5-H4-LS	67.787	7	95.260	20	0.63	15	7	7	56	
627778	9759322	Lutita silicificada	EG5-H3-LS	172.419	12	98.534	20	0.55	10	15	7	64	
627865	9759280	Lutita silicificada	EGEO4-LS	49.892	4	94.252	20	0.27	10	8	7	49	
627778	9759322	Lutita silicificada	EG6-LS	82.869	7	94.252	20	0.21	10	9	7	53	
627802	9759304	Lutita silicificada	EG6-H5-LS	123.847	12	97.089	20	0.37	10	10	7	59	
627864	9759279	Lutita - Arenisca	EG4-H1-LA	69.523	7	83.921	17	0.13	8	12	7	51	
628826	9759607	Lutita - Arenisca	EG3-H3-LA	37.081	4	99.462	20	0.9	15	12	7	58	

Conclusiones Preliminares

Descripción litológica

Analizando los datos estructurales tomados en campo y trabajo de gabinete, se determina preliminarmente que:

1) La capa de lutitas silicificadas de color celeste tiene rumbo 80 y buzamiento de 16, con diaclasas de dirección 240/20, ubicadas en el Cerro las Cabras afloran con un rumbo y buzamiento de 120/18, y en Cerro Grande con rumbo y buzamiento de 300/40 con presencia de diaclasas verticales 162/72.

2) Los estratos de color verde corresponden a intercalaciones de arenisca-lutita, con rumbo y buzamiento de 59/19 y diaclasas verticales 194/88, 216/90. La litología de Brecha-Arenisca, posee rumbo y buzamiento de 75/20 en el Cerro Las Cabras, las cuales no afloran en otro cerro.

3) El estrato de color morado corresponde a areniscas con rumbo y buzamiento de 55/18, con diaclasas verticales a 150/81 y a 18/90, que se encuentran aflorando en el de cerro las Cabras y en el cerro de los Almendros con rumbo y buzamiento de 80/22, y diaclasas verticales a 270/90, 165/90 y 180/90; estas también afloran en el Cerro Grande con rumbo y buzamiento de 300/40 y diaclasas a 162/72.

4) El estrato rayado correspondiente a depósitos coluviales encontrados a lo largo de todo el cerro del Tres, que no afloran en Cerro Grande, probablemente a la ausencia de meteorización en la cantera. Estos estratos tienen un rumbo y buzamiento de 64/17 con presencia de diaclasas verticales a 94/90.

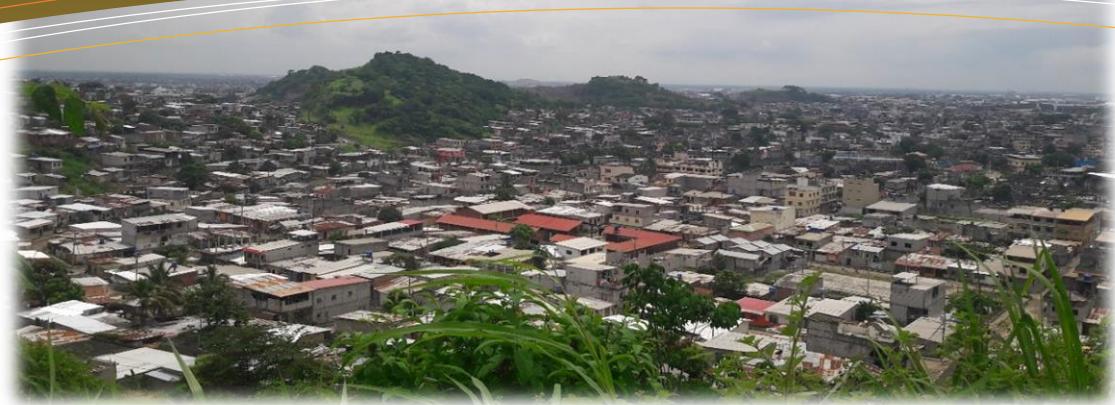
5) El estrato de color naranja representa a las brechas que afloran en el Cerro los Almendros y en el Cerro de las Canteras, con rumbo y buzamiento de 90/10. Los estratos de color rosado se encuentran exclusivamente en la Cantera, los mismos que tienen una litología de lutita-arenisca, tobas con rumbo y buzamiento de 108/15 y diaclasas a 98/90 y 25/80.

Toda la información obtenida en campo debe ser ampliada por medio de estudios geofísicos y perforaciones, los cuales permitirán conocer el espesor de las zonas que podría verse afectados durante un movimiento de masas. Se sugiere realizar primero los estudios geofísicos, de tal forma que las perforaciones podrían efectuarse en los lugares donde se necesite tener mayor cantidad de datos.

Referencias

- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Durán. (s.f.). Reglamento a la Ordenanza de Aseo de Calle y Recolección de Basura. Obtenido de http://www.duran.gob.ec/municipio/imd/images/stories/file/Ley_Transparencia/S_Resoluciones/Ordenanzas/Ordenanzas_2012/REGLA-ORD-ASEO-CALLES-RECOLECCION.pdf
- Diario El Tiempo. (25 de Marzo de 2011). Cerro las Cabras en Durán declarado en emergencia. Obtenido de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/63103-cerro-las-cabras-en-duran-declarado-en-emergencia/>
- Ecuador", P. O. (s.f.). Durán. Obtenido de <http://www.visitaecuador.com/ve/mostrarRegistro.php?idRegistro=353>
- ESPOL-TECH E.P. (2015). Estudio y Propuesta de estabilización del Cerro Las Cabras. Guayaquil.
- Expreso, D. (2014). Solo el 20 % de predios en Durán.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Obtenido de <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&B ASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>
- IPCC. (2007). Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability : Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, 1(July), 976. doi:<https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>
- IPCC. (2014b). Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report, 1–32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.012>
- Lu, P., & Stead, D. (2013). Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, 1(July), 976. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.001>
- Municipio del Cantón Durán. (2015). Estudio demográfico y de estabilización se realizará en cerro Las Cabras. Obtenido de http://www.duran.gob.ec/municipio/alexandra/index.php?option=com_k2&view=item&id=254:estudio-demografico-y-de-estabilizacion-se-realizara-en-cerro-las-cabras&Itemid=775
- Plan de Desarrollo Territorial del Cantón Eloy Alfaro, D. (2011). Plan de Desarrollo Territorial del Cantón Eloy Alfaro, Durán

ISLAS DE CALOR



Fuente: Autores

Guillermo Soriano, Massimo Palme, José Macías,
Diego Siguenza & Jaqueline Litardo

Introducción

Objetivo General

Identificar el riesgo climático asociado al efecto “Isla de Calor” para el desarrollo de estrategias y acciones que fomenten la resiliencia de la Ciudad de Durán.

El aumento de la densidad poblacional en los últimos años ha traído como consecuencia la expansión de las zonas urbanas y, por ende, repercusiones en el cambio climático. El uso de materiales de construcción de baja reflectancia produce que estos absorban y acumulen calor durante las horas de insolación para liberarlo durante la noche. Este fenómeno se conoce como el efecto “Isla de Calor”.

El efecto “Isla de Calor” tiene lugar cuando la temperatura de la zona urbana es más alta que la temperatura de la zona rural o los alrededores. Entre los factores que intervienen en este fenómeno se encuentran: el acelerado crecimiento poblacional, las propiedades de los materiales de construcción (albedo y emisividad), la deficiencia de áreas verdes, el elevado consumo energético, el calor antropogénico proveniente del transporte terrestre y, otros [1], [2].

Ciudades alrededor del mundo han presentado los indicios del efecto “Isla de Calor” [3]–[7], por lo que varios investigadores se han interesado en esta problemática para encontrar alternativas que mitiguen los efectos adversos (por ejemplo, Diseño de construcciones sostenibles [8]–[10]) y obtener ciudades más resilientes.

Durán es una ciudad en crecimiento. Por su localización geográfica, la ciudad está expuesta a riesgos, pero no cuenta con la planificación adecuada para evitar posibles desastres. En el presente estudio se analizarán parámetros urbanos de la ciudad para realizar simulaciones del efecto “Isla de Calor” en el software Urban Weather Generator (UWG) [11]. Se espera que el software cuantifique el impacto del efecto en Durán y posteriormente, poder proponer un plan de mejoras para mitigar el efecto.

Objetivos Específicos

1. Seleccionar puntos geográficos de interés en la ciudad, para estimar el efecto “Isla de Calor” presente en diferentes morfologías urbanas encontradas en la ciudad de Durán mediante el software ArcGIS y visitas de campo.
2. Estimar la temperatura y humedad relativa del aire en el Canopy urbano para cuantificar el efecto “Isla de Calor”, utilizando datos meteorológicos de la zona rural de la ciudad y el software UWG.
3. Monitorear temperatura y humedad relativa en puntos de interés de la ciudad, para calibrar los resultados arrojados por la simulación en UWG con los datos provenientes de los instrumentos de medición.

Materiales y Métodos

Previo al estudio, se realizó una revisión del estado del arte para analizar las metodologías que han sido utilizadas por otros investigadores alrededor del mundo para cuantificar el efecto “Isla de Calor”. Stewart et al [12]. clasificaron zonas que cumplían con las mismas características urbanas y climáticas - Zonas Climáticas Locales. Sin embargo, dicha clasificación aplica para ciudades cuya arquitectura urbana es desarrollada y este no es el caso de la ciudad de Durán. Por este motivo, se requirió emplear una metodología que permitiera identificar las tipologías de construcción típicas de algunos puntos en Durán, tal como se presenta en [13]. Para registrar y sensar datos de temperatura y humedad relativa en puntos de interés de la ciudad, se buscaron equipos que cumplieran con las siguientes descripciones: que sirvan para mediciones a la intemperie, que cumplan con los rangos de temperatura y humedad relativa del ambiente, que sean portables, fáciles de montar en el sitio y con conectividad inalámbrica para descargar los datos de forma cómoda.

Selección muestreo aleatorio

Utilizando el software ArcGIS, se seleccionaron 30 muestras urbanas aleatorias de 1 hectárea dentro del perímetro de Durán.

Mediante ArcGIS, Google Street View e, inspecciones in situ, se examinaron sólo 26 muestras, puesto que las otras 4 se ubicaron dentro de zonas inhabitadas y fueron eliminadas. Además, se agregaron y examinaron 2 muestras urbanas de interés, sugeridas por el GAD de Durán (Cerro Las Cabras y Avenida Principal de Durán). A través de un método de aprendizaje automático no supervisado basado en el uso de redes neuronales artificiales y conocido como Self-Organizing Map o SOM [14], por sus siglas en inglés, se extrajo información espacial de las 28 muestras de alta dimensión y se la abstrajo en representaciones de baja dimensión. Esta abstracción permitió la visualización y agrupación efectiva de las muestras de datos espaciales de alta dimensión. Este método ha sido utilizado por otros autores para modelar temperatura y variabilidad climática tal como se presenta en [15], [16].

Los grupos de datos obtenidos se introducirán en un archivo (.xml) que describirá las características urbanas de cada tipología identificada. Mientras que, los datos de temperatura y humedad relativa provenientes de los dataloggers, en conjunto los demás parámetros climáticos que arrojen las estaciones meteorológicas, conformarán un archivo climático (.epw). Los archivos (.xml) y (.epw) servirán como entradas para las simulaciones en UWG.



Resultados parciales y Discusión

A través de una minuciosa revisión bibliográfica, se seleccionó la metodología a utilizar para la obtención de las tipologías urbanas en Durán.

En base a las descripciones con las que deben cumplir los sensores, se seleccionaron y cotizaron varios equipos para sensar y registrar datos, siendo los más óptimos los sensores HOBO modelo MX2302. Entre las especificaciones técnicas que poseen estos equipos, se encuentran: precisión ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ y $\pm 2.5\%$ RH), rango de sensor de temperatura (-40 a 70°C), exactitud de sensor de temperatura ($\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ de -40 a 0°C y $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ de 0 a 70°C), resolución de sensor de temperatura (0.04°C), rango de sensor de humedad relativa (0 a 100%), exactitud de sensor de humedad relativa (entre $\pm 2.5\%$ y $\pm 3.5\%$ de 10 a 90% y, $\pm 5\%$ inferior al 10% y superior al 90%) y, conectividad BlueTooth para facilitar la descarga de datos a través de un dispositivo móvil.

Se ha planificado el uso de 8 de estos dispositivos junto con escudos de radiación solar (RS-3) para mejorar la precisión de las mediciones de temperatura en lugares expuestos a la luz solar. El proceso de compra de los equipos se encuentra en desarrollo. Para mayor información, se adjunta la proforma de los equipos y sus especificaciones técnicas en los Anexos. Se identificaron los parámetros de entrada para UWG. En la Tabla 4.1 se muestran los parámetros, donde: los 5 primeros están relacionados con la morfología urbana, albedo y emisividad son propiedades de los materiales de construcción y, el tráfico, indica la cantidad promedio de vehículos que transitan por cada zona y se mide en W/m^2 . La metodología para la obtención de los valores de tráfico aún se encuentra en discusión.

Tabla 5.2 Parámetros de entrada para software UWG.

Parámetros	Definición
Site Coverage Ratio (SCR) (Porcentaje de área construida)	Se calcula como la relación entre el total de área construida y el área de análisis (en este caso, 1 hectárea)
Weighted Average Building Height (h_{wbh}) (Altura media ponderada)	Se calcula como el promedio ponderado del producto entre la altura de una vivienda y el área que ocupa
Façade to Site Ratio (FSR) (Porcentaje de fachada)	Se calcula como la relación entre el total del perímetro de los predios por la altura media ponderada dividida para el porcentaje de área construida
Tree Coverage Ratio (Porcentaje de Árboles)	Se calcula como la relación entre el área de árboles, cuya altura es mayor a 1.5 m y el área de análisis
Vegetation Coverage Ratio (Porcentaje de vegetación)	Se calcula como la relación entre el área de arbustos, palmeras y árboles, cuya altura es menor a 1.5 m y el área de análisis
Albedo de materiales de construcción (techo, paredes y suelo)	El albedo, también conocido como coeficiente de reflexión, es la relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente sobre la superficie de un material
Emisividad de materiales de construcción (techo, paredes y suelo)	La emisividad es la eficiencia con que una superficie irradia su energía térmica
Tráfico	Se define como la cantidad promedio de vehículos que transitan por cada zona y se mide en W/m^2

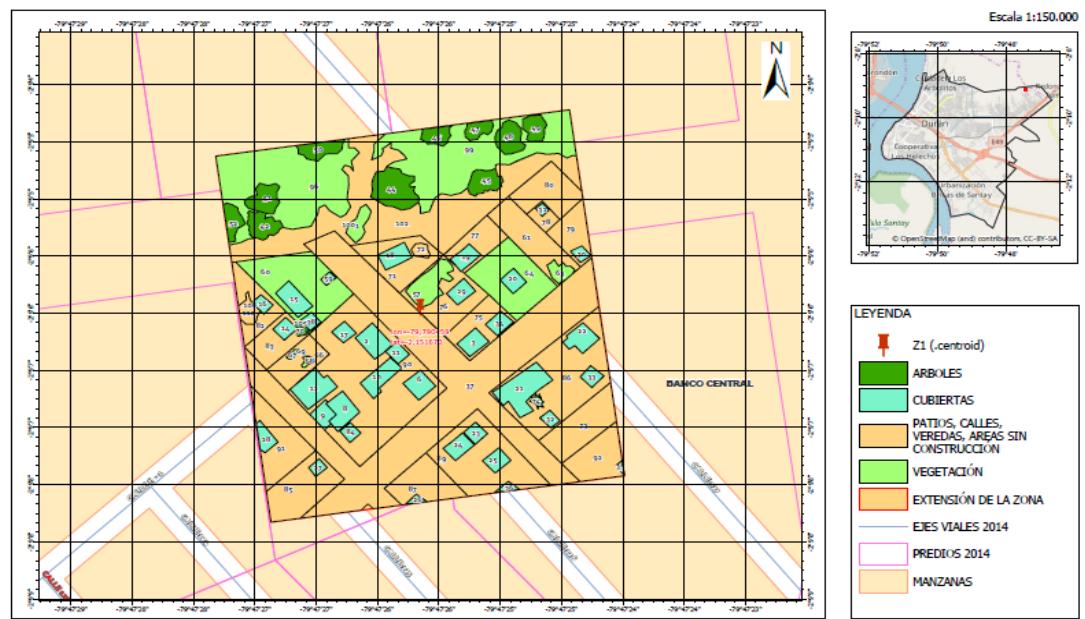


Figura 5.1. Mapa de entidades geométricas de la Zona 1 (79,7904671°W 2,1516739°S).

Dentro de las 28 hectáreas de análisis, se clasificaron áreas ocupadas por: árboles, vegetación, cubiertas y zonas no construidas. Dicha clasificación se agrupó dentro de un mapa de entidades geométricas para cada zona. Un ejemplo del mapa de entidades geométricas de la Zona 1 (79,7904671°W 2,1516739°S) se ilustra en la Figura 5.1. Los mapas de las demás zonas pueden consultarse en los Anexos.

En base a los mapas de entidades geométricas, se exportaron tablas desde ArcGIS con la información registrada en cada hectárea. Luego, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para obtener los parámetros de entrada para UWG. La Tabla 5.2 contiene los parámetros correspondientes a la morfología urbana y a las propiedades térmicas de los materiales de construcción de las 28 zonas de interés de la ciudad de Durán.



Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3 Morfología urbana y Propiedades de materiales de construcción de puntos de interés de Durán.

Zona	Z1	Z2	Z3	Z5	Z7	Z8	Z10	Z15	Z16	Z18	Z19	Z20	Z21
Coordinadas	79,790°W	79,814°W	79,843°W	79,842°W	79,847°W	79,807°W	79,793°W	79,826°W	79,851°W	79,803°W	79,849°W	79,840°W	79,847°W
	2,151°S	2,164°S	2,179°S	2,160°S	2,167°S	2,173°S	2,157°S	2,169°S	2,185°S	2,166°S	2,182°S	2,154°S	2,169°S
Morfología Urbana	Site Coverage Ratio	0.09	0.29	0.55	0.35	0.17	0.41	0.13	0.27	0.18	0.32	0.39	0.34
	Weighted Building Height [m]	2.50	2.65	3.32	3.84	3.86	3.44	2.64	2.93	4.76	4.56	3.01	3.96
	Facade to Site Ratio	0.17	0.45	0.85	0.67	0.39	0.77	0.19	0.43	0.39	0.97	1.00	0.67
	Tree Coverage Ratio	0.05	0.00	0.03	0.02	0.16	0.09	0.00	0.06	0.11	0.07	0.05	0.13
	Vegetation Coverage Ratio	0.21	0.03	0.01	0.05	0.00	0.05	0.25	0.07	0.01	0.03	0.10	0.05
Propiedades de Materiales de Construcción	Albedo	Techo	0.57	0.55	0.32	0.43	0.40	0.44	0.47	0.51	0.61	0.40	0.46
		Paredes	0.15	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20
		Suelo	0.05	0.05	0.20	0.12	0.12	0.17	0.05	0.25	0.24	0.19	0.12
	Emisividad	Techo	0.33	0.35	0.65	0.50	0.51	0.49	0.43	0.40	0.35	0.58	0.72
		Paredes	0.90	0.83	0.80	0.80	0.80	0.80	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80
		Suelo	0.95	0.95	0.80	0.95	0.95	0.90	0.95	0.87	0.87	0.85	0.95

Tabla 5.4 Morfología urbana y Propiedades de materiales de construcción de puntos de interés de Durán.

Z24	Z25	Z26	Z28	Z29	Z32	Z33	Z38	Z42	Z44	Z47	Z51	Z54	Z55	Z56
79,798°W 2,154°S	79,850°W 2,183°S	79,819°W 2,175°S	79,826°W 2,160°S	79,803°W 2,158°S	79,817°W 2,167°S	79,807°W 2,174°S	79,855°W 2,172°S	79,791°W 2,165°S	79,830°W 2,160°S	79,824°W 2,149°S	79,835°W 2,171°S	79,850°W 2,172°S	79,833°W 2,149°S	79,818°W 2,188°S
0.08	0.42	0.30	0.25	0.23	0.09	0.68	0.41	0.69	0.11	0.24	0.33	0.21	0.44	0.40
2.50	3.77	2.82	2.90	2.50	2.86	3.57	4.25	4.86	3.40	2.58	4.90	2.97	2.88	3.26
0.17	0.77	0.49	0.33	0.46	0.16	1.73	0.81	1.91	0.12	0.30	0.65	0.31	0.76	0.80
0.01	0.09	0.06	0.07	0.01	0.07	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00	0.05	0.07	0.04
0.19	0.06	0.13	0.11	0.12	0.30	0.00	0.04	0.01	0.23	0.12	0.02	0.00	0.00	0.04
0.04	0.51	0.53	0.40	0.60	0.34	0.41	0.45	0.44	0.40	0.53	0.49	0.55	0.30	0.29
0.15	0.20	0.20	0.20	0.16	0.20	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.05	0.12	0.20	0.12	0.05	0.25	0.20	0.12	0.20	0.25	0.25	0.12	0.25	0.17	0.20
0.47	0.41	0.38	0.54	0.31	0.58	0.55	0.46	0.51	0.55	0.37	0.47	0.36	0.61	0.72
0.90	0.80	0.80	0.80	0.88	0.80	0.80	0.83	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
0.95	0.95	0.91	0.95	0.95	0.88	0.80	0.95	0.80	0.88	0.88	0.95	0.87	0.86	0.80



Hasta el momento se han identificado los parámetros urbanos requeridos por el software UWG y se ha realizado el levantamiento de información de estos. Se está trabajando en la agrupación efectiva de los datos recolectados. Los grupos de datos que se obtengan se utilizarán para realizar simulaciones del efecto "Islas de Calor" a través del software UWG. Se espera que el software cuantifique el impacto de "Islas de Calor" en Durán y que discrimine la contribución de datos urbanos adicionales como los materiales de construcción y el calor antropogénico del tráfico vehicular al efecto.

Trabajos Futuros

Habiendo completado la fase de levantamiento de información, se espera cumplir con las demás actividades restantes durante los próximos meses, tal como se indica en la Tabla 5.1.

Además, conociendo la morfología urbana de la ciudad de Durán, se podría realizar un estudio más profundo modelando ciertos edificios de interés de la ciudad mediante el software TRNSYS. Esto permitiría estimar el consumo energético y posteriormente, proponer estrategias de gestión de la demanda energética con el fin de obtener infraestructuras resilientes. Un equipo de investigadores de la Universidad Estatal de Iowa se encuentra trabajando en este campo y entre uno de sus objetivos se encuentra: el desarrollo de un modelo flexible de consumo de electricidad para cuantificar y reducir el impacto durante períodos de calor y sequía extremos [17].

Conclusiones

Hasta el momento, se han alcanzado resultados parciales de la metodología experimental planificada inicialmente. Es importante mencionar que se ha completado el levantamiento de información de los parámetros de entrada para UWG (morfología urbana y propiedades de los materiales de construcción), siendo este componente el más extenso de la metodología.

Se espera poder agilizar el proceso administrativo de compras para cumplir con el cronograma del proyecto y así, proceder con las simulaciones finales en UWG. Asimismo, se espera determinar la metodología adecuada para la obtención de los datos de tráfico.

Bibliografía

- [1] M. Nuruzzaman, "Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review," *Int. J. Environ. Monit. Anal.*, vol. 3, no. 2, p. 67, 2015.
- [2] T. R. Oke, "The Heat Island of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects," *Wind Clim. Cities*, pp. 81–107, 1995.
- [3] R. Watkins, J. Palmer, M. Kolokotroni, and P. Littlefair, "The London heat island: Results from summertime monitoring," *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 23, no. 2, pp. 97–106, 2002.
- [4] J. Suomi and J. Käyhkö, "The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku, SW Finland," *Int. J. Climatol.*, vol. 32, no. 3, pp. 451–463, 2012.

- [5] J. juan Li, X. rong Wang, X. jun Wang, W. chun Ma, and H. Zhang, "Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China," *Ecol. Complex.*, vol. 6, no. 4, pp. 413–420, 2009.
- [6] S. D. Gedzelman, S. Austin, R. Cermak, N. Stefano, and S. Partridge, "Mesoscale aspects of the Urban Heat Island around New York City," *Sci. York*, vol. 42, no. 1, pp. 29–42, 2003.
- [7] M. Palme, G. Villacreses, A. Lobato, M. Cordovez, J. Macias, and G. Soriano, "Estimating the Urban Heat Island Effect in the City of Guayaquil," *An Int. Conf. Urban Phys.*, no. September, pp. 26–30, 2016.
- [8] T. Ramesh, R. Prakash, and K. K. Shukla, "Life cycle energy analysis of buildings: An overview," *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1592–1600, 2010.
- [9] J. Macias, L. Iturburu, C. Rodriguez, D. Agdas, A. Boero, and G. Soriano, "Embodied and operational energy assessment of different construction methods employed on social interest dwellings in Ecuador," *Energy Build.*, vol. 151, pp. 107–120, 2017.
- [10] M. Palme, A. Isalgué, and H. Coch, "Avoiding the Possible Impact of Climate Change on the Built Environment: The Importance of the Building's Energy Robustness," *Buildings*, vol. 3, no. 1, pp. 191–204, 2013.
- [11] B. Bueno, L. Norford, J. Hidalgo, and G. Pigeon, "The urban weather generator," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 6, no. 4, pp. 269–281, 2013.
- [12] I. D. Stewart and T. R. Oke, "Local climate zones for urban temperature studies," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 93, no. 12, pp. 1879–1900, 2012.
- [13] A. Salvati, M. Palme, and L. Inostroza, "Key Parameters for Urban Heat Island Assessment in A Mediterranean Context: A Sensitivity Analysis Using the Urban Weather Generator Model," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 245, no. 8.
- [14] T. Kohonen, "The self-organizing map," *Neurocomputing*, vol. 21, no. 1–3, pp. 1–6, 1998.
- [15] T. Tozuka, J. J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata, "Tropical Indian Ocean variability revealed by self-organizing maps," *Clim. Dyn.*, vol. 31, no. 2–3, pp. 333–343, 2008.
- [16] Y. Morioka, T. Tozuka, and T. Yamagata, "Climate variability in the southern Indian Ocean as revealed by self-organizing maps," *Clim. Dyn.*, vol. 35, no. 6, pp. 1075–1088, 2010.
- [17] Iowa State University, "A Framework for Assessing the Impact of Extreme Heat and Drought Climate Scenarios on Urban Energy Production and Consumption," 2018. [Online]. Available: <https://www.ccee.iastate.edu/kcetin/nsfurb/anextremeheat/>.

Vulnerabilidad



Fuente:EL UNIVERSO

Mercy J. Borbor, Ger Salvatierra & Rommel Caiza

Introducción

Objetivo General

Generar mapas de vulnerabilidad ante inundaciones, a través de sistemas de información geográfica, que permitan identificar los sectores más vulnerables del cantón Durán.

Los impactos adversos del cambio climático sobre la población, recursos naturales y economía constituyen actualmente uno de los problemas más apremiantes para mundo. De hecho, para el Ecuador, la temática del cambio climático comenzó a tomar fuerza desde la última década del siglo pasado, debido al incremento de ciertas manifestaciones meteorológicas tales como lluvias con sus respectivas consecuencias: inundaciones, deslizamientos de tierra y desbordamiento de ríos y presas, y las sequías de duración inusual. Hoy en día los problemas sociales existentes se ven afectados por el cambio climático dentro de los cuales se destacan: La disminución en disponibilidad del agua potable para los sectores sociales vulnerables; la agudización de las sequías, que a su vez afecta la economía y seguridad alimentaria; incluso el deterioro ecológico, que pone en riesgo la posibilidad de condiciones idóneas para el desarrollo, que a su vez agravan la desigualdad social, limita las capacidades del país para disminuir la

pobreza (Soares & Sandoval Ayala, 2016). La toma de decisiones, los procesos de planificación y la formulación de planes de adaptación que permiten atenuar los impactos del cambio climático, requieren de un estudio previo de la vulnerabilidad del territorio de interés y sus elementos expuestos, en este caso constituye la población, sus medios de vida y entorno ambiental o físico y un sin número de variables que permiten analizar tales factores. La determinación de los niveles de vulnerabilidad ante el cambio climático, a los que están expuestos los diferentes componentes del territorio (económico, social y ambiental) permitirá la elaboración de planes y estrategias con la debida priorización de acciones y optimización de recursos, encaminados a la adopción de medidas para la atenuación de los impactos relacionados con la distribución, frecuencia y a los episodios de lluvias intensas focalizadas, que son los escenarios arrojados del análisis de índices climáticos utilizados para este estudio.

Vulnerabilidad

Objetivos Específicos

- Identificar variables de socioeconómicas relevantes para estudio de la vulnerabilidad.
- Desarrollar una base de datos, que contenga información censal de cada uno de los sectores que conforman el cantón.
- Generar índices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa correspondientes a cada sector censal.
- Definir una metodología, para calcular la vulnerabilidad total ante inundaciones, que pueda ser usada para determinar la vulnerabilidad ante Islas de calor y Deslizamientos.

Hoy en día, un gran desafío entre la ciencia y políticas públicas de adaptación es la existencia de definiciones contrastantes acerca de la vulnerabilidad al cambio climático. La literatura relacionada al cambio climático describe que la vulnerabilidad inicialmente fue definida en función de tres dimensiones de exposición ante los impactos debido al cambio climático y otros tipos de estrés relevantes como la sensibilidad a la exposición y capacidad de adaptación.

Según (Downing et al. 2006), en la metodología del IPCC se propone una noción de vulnerabilidad que se asemeja más a la conceptualización de la primera etapa en la gestión de riesgos y desastres, donde se considera que los factores de la vulnerabilidad no tienen tanto énfasis como los riesgos exógenos de un sistema y los efectos que se pueden generar por el mismo (efectos adversos). Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Cambio define la vulnerabilidad al cambio climático como el: “Nivel al que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar, los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación” (IPCC, 2007).

Otra definición de vulnerabilidad representa el término como aquella capacidad para anticipar, enfrentarse, resistir y recobrarse del impacto de un peligro natural, ya sea de una persona o algún grupo. Lo que implica un conjunto de factores de vulnerabilidad que ayudan a determinar el grado en que la vida y el sustento de los individuos son puestos en peligro por un evento adverso (Blaikie et al, 2003).

Por otro lado (Federica, 2017) indica que la capacidad institucional, efectividad de la gestión del riesgo, la capacidad de reacción en caso de desastre, el desempeño de los servicios primordiales son elementos que caracterizan el grado de vulnerabilidad y resiliencia de una sociedad (Barbat & Marulanda, 2013).

Enfoques sobre Vulnerabilidad y cambio climático

En esta sección se presenta de forma resumida los enfoques presentados en la literatura en los que se relaciona el cambio climático y la vulnerabilidad, tal relación no siempre tiene el mismo significado o la misma interpretación debido a la complejidad multidimensional y multiescalar del evento. World Research Institute (WRI) menciona que, dependiendo del tipo de enfoque epistemológico y de la muestra de análisis, se puede diseñar una clasificación basada en dos enfoques (McGray, Hammill y Bradley 2007). El primero manifiesta que la vulnerabilidad al cambio climático es un suceso vinculado primordialmente con los sistemas físicos, por otro lado, el segundo manifiesta la percepción de que vulnerabilidad al cambio climático es un problema de desarrollo. El segundo enfoque, es uno de los más usados en las agendas relacionadas al cambio climático según indica (Lampis & Fraser, 2012), el enfoque se basa en un plan o conjunto de acciones dirigidas a: enfrentar los drivers de la vulnerabilidad y los efectos del cambio climático, mejorar la gestión y manejo del riesgo climático, inclusive maximizar la capacidad de respuesta de las poblaciones a través de la capacidad adaptativa que ellas puedan tener. (Lampis, 2013) y (McGray, Hammill, & Bradley, 2007).

Vulnerabilidad en Ecuador (Estudios)



Fuente:EL DIARIO

(GAD Durán, 2015) define a la vulnerabilidad como “*la incapacidad de una comunidad de soportar mediante sus propios medios los efectos que un determinado fenómeno puede causar, como una inundación o un terremoto*”. Ambos trabajos coinciden que las inundaciones es uno de los principales fenómenos naturales que afectan la vulnerabilidad de los sectores sociales más vulnerables o pobres.

(D'Ercole & Trujillo, 2003) en su estudio de Amenazas, Vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador tratan de caracterizar los elementos expuestos en este caso la población, no desde el punto de vista de exposición sino más bien desde su nivel de vulnerabilidad, en pocas palabras, “*su mayor o menor capacidad de anticiparse a un fenómeno destructor, de afrontarlo, de resistirlo y de recuperarse después de su ocurrencia*” En tal estudio se seleccionaron 5 componentes que permitieron obtener un índice general de vulnerabilidad de los diferentes cantones de Ecuador (educación, salud, saneamiento/agua, porcentaje de la población económicamente activa (agrícola) y pobreza). Tal investigación mostró que los índices de vulnerabilidad más bajos corresponden a: ciudades grandes o aquellos cantones que contienen las capitales de provincia. Tal relación es lógica tomando en consideración que en las ciudades se concentran los servicios básicos (telefonía, alcantarillado, energía eléctrica, agua), educación (centros educativos, universidades), salud (hospitales, dispensarios), donde la agricultura no es la única actividad económica de la población económicamente activa, que también suele dedicarse a actividades relacionadas a industrias, turismo, servicio y comercio. De tal manera que, no es ajeno pensar en el contraste existente entre la capital de una provincia y las zonas rurales a estas (zonas no favorecidas) incluso cuando en las ciudades los índices de pobreza son muy altos.

Por otro lado, (FAO, 2009) en su informe manifiesta que Ecuador está localizado en el cinturón de bajas presiones que envuelve toda la tierra (Zona de Convergencia Intertropical), naturales de gran magnitud generalmente de origen climático (en particular: inundaciones, sequías y temperaturas extremas) que han afectado de forma directa población más vulnerable (población pobre de las áreas rurales). (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015) en su trabajo de análisis de Vulnerabilidad ante Riesgos Naturales Hidrometeorológicos en las Áreas Protegidas del Ecuador Continental, indica que la vulnerabilidad ante una amenaza es el resultado conjunto de: la susceptibilidad, capacidad adaptativa y exposición de una sociedad. Que además la identificación del riesgo, amenazas y vulnerabilidades son pasos de gran importancia en la gestión de riesgos causados por fenómenos hidrometeorológicas de origen climático.

En contraste a los estudios anteriores (CIFFEN, 2012) indica que vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado, por lo que define a la vulnerabilidad como el producto entre la exposición y la susceptibilidad

Vulnerabilidad =exposición x susceptibilidad

Incluso para ese estudio en específico la vulnerabilidad se reduce a la susceptibilidad.



Vulnerabilidad Durán

Durán, importante cantón de la provincia del Guayas por su excelente ubicación geográfica y por las características que la componen (tierras fértiles, zonas industriales, potencial para turismo, etc.). Es la segunda ciudad mas poblada de la provincia del Guayas, y la cuarta en el país, rodeada por los ríos Babahoyo y Guayas. Ubicada a no más de 10 minutos de la ciudad de Guayaquil (la urbe económica más importante del país). Conformado de una población de aproximadamente 235.769 habitantes y una superficie de 311,73 km² según el censo de 2010 (GAD Durán, 2013). De igual, manera al igual que tiene características que hacen de Durán una ciudad única, también presenta grandes deficiencias que realzan la vulnerabilidad de los sectores más susceptibles.

Según (GAD Durán, 2015) Durán presenta vulnerabilidad en diferentes aspectos dentro de ellos destacan vulnerabilidades desde el punto de vista financiero que a su vez impiden la contratación del personal técnico capacitado lo cual limita las capacidades de las diferentes instituciones presentes en el cantón. También en el informe indicado hacen referencia a la vulnerabilidad relacionada a inundaciones tales como: vulnerabilidad de las redes dada la naturaleza de la composición de suelos de Durán y clima que representan riesgos para infraestructuras (vial, eléctrica e hidráulica), en especial, aquellas localizadas en la zona norte del cantón. Vulnerabilidad a la red de transporte, que en este caso es muy alta en vías terciarias en las que es difícil mitigar



Fuente:EL UNIVERSO

el riesgo ya que son caminos rurales que permiten el acceso a terrenos suburbanos, también más del 50% de las vías principales poseen vulnerabilidad alta lo cual es alarmante por lo cual se menciona es necesario realizar obras de mitigación para evitar afectaciones de conectividad ya sean en el transporte interno del cantón como en el nacional dado que Durán es un nodo de conexión entre Guayaquil y el resto de provincias del Ecuador(GAD Durán, 2015).

Vulnerabilidad de la red eléctrica relacionada a la infraestructura eléctrica del cantón, donde los elementos más susceptibles son: subestaciones eléctricas y líneas de transmisión. Por otro lado, la vulnerabilidad de la red de acueducto y alcantarillado que es uno de los problemas más graves del sector al tener un déficit elevado de la prestación de servicios según la demanda de crecimiento del cantón, ambos tipos de vulnerabilidad se consideran altos en el sector(GAD Durán, 2015). Si bien es cierto la deficiencia en los servicios públicos no son el único problema de la informalidad y del desarrollo urbano no planeado, también existe la posibilidad de aumentar la cantidad de viviendas (construidas de manera informal) en zonas de riesgo. También se considera la posibilidad de que un fenómeno natural ocurra (inundaciones, sequías, temperaturas extremas, fenómeno El Niño).

Marco Institucional

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados mediante estrategias de identificación, prevención y mitigación garantizan la seguridad y protección de su población ante distintos eventos peligrosos tanto climatológicos como antropogénicos, para cumplir con este objetivo los distintos departamentos que conforman los Gobiernos Autónomos, prescindidos por la Unidad de Gestión de Riesgos Municipal y las distintas instituciones nacionales conforman el Comité de operaciones de Emergencia, el cual mantiene permanentemente la coordinación entre las instituciones el cual tiene como responsabilidad la implementación de planes, protocolos y lineamientos para la respuesta. (SGR, 2017).

El análisis del marco institucional del Ecuador para el Cambio Climático y la Gestión de Riesgo, se la puede realizar desde dos perspectivas, la primera se da desde un enfoque nacional donde las Instituciones Nacionales rigen políticas, programas y proyectos públicos que permitan la inversión y la asignación de los recursos del estado para coordinar y efectuar las acciones internas del país. La segunda perspectiva se da en un ámbito local, donde se establecen las condiciones y funciones específicas a las distintas unidades de gestión de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), lo cual permite trabajar directamente en la reducción de las vulnerabilidades sociales, económicas y ambientales de la población frente a las amenazas de origen natural y antropogénico.

Ministerio de Ambiente. Reduce la vulnerabilidad ambiental, social y económica al cambio climático. Crea mayor sensibilización y fomenta la reducción de las emisiones de GEI por parte de la sociedad y de la industria. Responsable de la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Comité Interinstitucional de Cambio Climático y Subsecretaría para el Cambio Climático (de carácter técnico). Punto focal para las comunicaciones relacionadas con el cambio climático y el MDL (mecanismo de desarrollo limpio); su misión es la de liderar las políticas de mitigación y adaptación (entre ellas los procedimientos de transferencia de tecnología, la financiación, las comunicaciones.

Dirección Nacional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Reglamenta y coordina las políticas, estrategias, programas y proyectos dirigidos a reducir las emisiones de GEI, además de fomentar la adaptación busca crear y fortalecer la capacidad del país para afrontar los impactos negativos del cambio climático por medio de un Sistema Integral de Gestión de Riesgos que aporte al desarrollo sostenible del país. (MAE, 2012).

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Conduce investigaciones sobre escenarios futuros de cambio climático, además de contar con equipos de radio sonda que realizan monitoreos aerológicos (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) que permitan tener un mejor conocimiento de las condiciones meteorológicas en las diferentes capas de la atmósfera para tratar de prevenir eventos adversos a causa de las diferentes variaciones climáticas que se presentan en el país. (SGR, 2014)

Secretaría de Gestión de Riesgos. Mediante el Plan Nacional de Respuesta ante desastres, Responde Ec, la SGR cuenta con lineamientos que permiten coordinar y articular las labores de los actores del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos que tienen competencia, responsabilidad y capacidades para ofrecer asistencia tanto local como nacional, ante los distintos eventos peligrosos que se pueden presentar en nuestro país.

Contexto de las políticas



Figura 6.1. Políticas estatales transversales a todos los niveles de DRR (a) y CCAM (b)

Sectores clave en riesgo

Abastecimiento de agua y generación de energía hidroeléctrica. Vulnerabilidad crítica conforme la desaparición de los glaciares de los Andes afectará gravemente el abastecimiento de agua y la generación de energía eléctrica (50% de la cual se origina en la energía hidroeléctrica); además, cerca de 25% del país ya es susceptible a la sequía.

Tierras bajas costeras. Se calcula que una elevación de 1m del nivel del mar podría tener impactos sobre el PIB de alrededor de 3% por causa de inundaciones (este cálculo se considera conservador); estas zonas ya están sujetas a inundaciones por causa del fenómeno de El Niño.

Agricultura. Según escenarios probables, se registran déficits en algunos cultivos clave (arroz, papa) con incrementos de temperatura (se proyectan aumentos de 1°C a 2°C para 2030) y disminución de la precipitación (15% en condiciones de escenarios negativos) aunque con incertidumbre en las proyecciones de precipitaciones (éstas podrían aumentar en 20% en escenarios positivos). El sector también se encuentra amenazado por la erosión del suelo.

Asentamientos Irregulares. Debido al crecimiento desordenado los asentamientos irregulares afectan el desarrollo del sector, siendo una causa importante el aumento en el número de personas afectadas, después de Guayaquil, Duran es el cantón con más zonas invadidas en la provincia del Guayas que según las autoridades sigue en aumento, de acuerdo a información pública hasta el 2014 existían 43 zonas de invasión plenamente identificadas, y que por la geografía de las zonas es donde existe mayor represamiento de agua, lo que los hace vulnerables a las inundaciones. (Gallegos, 2015).

Turismo. El turismo como cualquier otra actividad económica y de desarrollo para una región no está exenta de riesgos naturales como antropogénicos, según el Ministerio de Turismo desde el 2006 se ha incrementado en un 40% la cantidad de personas que dependen directa e indirectamente de esta actividad, generando importancia en la proyección de medidas que puedan ayudar a prevenir o mitigar el riesgo mejorando la percepción



Indicadores e índices para vulnerabilidad

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) ha desarrollado su análisis del impacto del cambio climático alrededor de la definición de riesgos climáticos y la vulnerabilidad de los sistemas humanos o de los ecosistemas. En este enfoque de riesgos climáticos, la vulnerabilidad tiene un rol fundamental para identificar las potenciales causas que hacen que una amenaza climática, puedan causar diferentes impactos en las ciudades. En este trabajo usaremos el enfoque del IPCC para determinar los riesgos a las amenazas de inundaciones, deslizamiento, e islas de calor a los que están expuestos los diferentes actores y grupos en la ciudad de Durán.

Índice de exposición

Exposición: La presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. Por otro lado, el *Índice de exposición* es un indicador cuantitativo o cualitativo que permite evaluar el riesgo de un área determinada que podría recibir impactos de fenómenos relacionados con el clima tales como: incendios forestales, sequías, lluvias torrenciales, inundaciones, deslizamientos, elevación del nivel del mar en zonas tropicales u costeras.

La exposición se puede cuantificar a futuro usando las proyecciones relacionadas al cambio climático como el incremento de temperaturas, precipitaciones o de humedad.

de seguridad de los actores claves del turismo. La seguridad que percibe en mayor frecuencia un visitante son los siguientes eventos: desastres naturales, nivel de violencia, disturbios políticos, bajo nivel de higiene o salubridad.(Ministerio de Turismo, 2017).

Tierras altas (Cerros). El taponamiento de canales naturales de drenaje, la deforestación, la inestabilidad del terreno y las actividades antropogénicas inciden en la erosión del suelo, Los cerros del Cantón Durán poseen terrenos de fácil erosión y no están exentos de construcciones que durante las intensas lluvias de invierno se registren deslizamientos que ponen en riesgo la vida de las familias que habitan en dichas viviendas.

Sector Industrial. Durán es un Cantón Industrial encaminado a ser uno de los principales polos industriales del país, la mala planificación y el desorden estructural hacen que este sector sea susceptible a riesgos de índole natural, La prefectura del Guayas menciona que parte de la zona industrial del Cantón Durán se localiza cerca de la zona de drenaje de las aguas lluvias al estero San Camilo lo que incrementa la vulnerabilidad a inundaciones si no se tiene una limpieza y desazolve continuo del estero.

El riesgo de los impactos relacionados con el clima está en función de la interacción entre los sistemas humanos y naturales. Los cambios en el sistema climático; cambio climático y variabilidad natural del clima, y los procesos socioeconómicos de las ciudades, pueden convertirse en impulsores de amenazas, exposición y de aumento de la vulnerabilidad de sus habitantes.

Si bien es cierto índice de exposición no predice la localización de un fenómeno, es importante para identificar patrones o zonas más expuestas dados los fenómenos extremos.(Mapplecroft, 2014).

Índice de Sensibilidad

Se considera la sensibilidad o susceptibilidad de las personas ante la exposición por fenómenos naturales. El índice de sensibilidad es un indicador cualitativo de la medida de la susceptibilidad de la población a los impactos del cambio climático, misma que depende de las condiciones sociales, físicas, medios de vida. En el caso de las ciudades el índice de sensibilidad guardan relación con los niveles de conflicto, conocimiento, infraestructura, agricultura, población, salud, pobreza, y presión por el uso de suelo para viviendas (Mapplecroft, 2014).

Índice de Capacidad Adaptativa

Adaptación: Es el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas.

Indice de Capacidad Adaptativa permite cualitativamente identificar el potencial de la ciudad, de sus instituciones, de su economía, de políticas para ajustarse a las presiones resultantes del cambio climático. Los principales factores que influyen en la capacidad adaptativa de una ciudad son: economía, gobierno estable, comunicación entre niveles de gobierno y comunidad, uso eficiente de recursos financieros, transferencia de conocimientos evitando que se cometan los errores del pasado acceso a tecnología e innovación, y el grado de dependencia de actividades económicas vulnerables para sostener la economía (Mapplecroft, 2014).

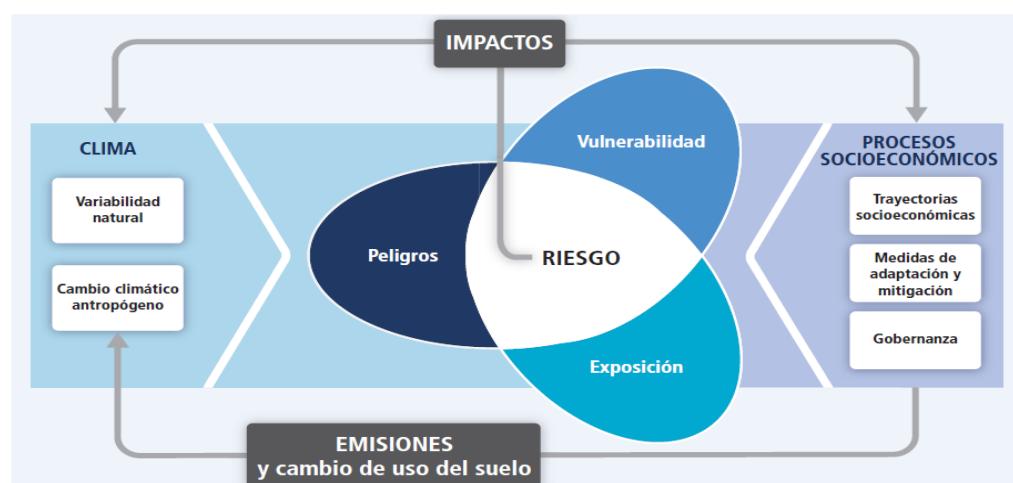


Figura 6.2. Riesgo de los impactos relacionados con el clima e interacción entre los sistemas humanos y naturales (Fuente: IPCC, 2014)

Los indicadores para componer el índice de vulnerabilidad (V) fueron seleccionados luego de una revisión profunda de la literatura de vulnerabilidad, para identificar las variables más adecuadas para medir la vulnerabilidad a inundaciones de Durán basándose en datos censales según (Valle, 2017). La importancia de obtener indicadores radica en que podamos asignar alguna ponderación relacionada a amenazas, manejo o riesgo según indica (Barbat & Marulanda. 2013).

Metodología

Dentro de sus principales características se destaca que es una herramienta sencilla que facilita el desarrollo y monitoreo de variables que tienen efecto en algún proceso, que además permite realizar análisis de sensibilidad. Claro está, que la selección de algún tipo de variable se debe realizar con precaución debido a que estas dependen de diferentes aspectos tales como: la subjetividad, el método analítico usado, tipo de análisis etc. Para este trabajo en particular los mejores indicadores son índices debido a que la vulnerabilidad según las definiciones revisadas anteriormente es el resultado de la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa que a su vez son factores que dependen de un gran número de variables. Finalmente, los índices nos permiten incorporar diferentes amenazas para llevarlo a un enfoque de multi-amenaza necesario cuando se trabajan con riesgos a ciudades.

El siguiente esquema muestra de manera general, los componentes y factores de vulnerabilidad seleccionados en el presente trabajo, claro está, no se han presentado todos. Cabe recalcar que para el trabajo en particular solo los componentes de los factores de exposición y sensibilidad física cambiarán dependiendo de la vulnerabilidad que se analice, en este caso se tiene tres ejes: inundaciones, islas de calor y deslizamientos. Siguiendo la metodología de (Federica,2017) en esta primera fase del proyecto se tomó como referencia las mismas variables de su estudio; sin embargo, en medida de lo posible se pretende aumentar variables y aplicar algún proceso estadístico como: Análisis de componentes múltiples (MCA) o Análisis multifactorial (MFA) para seleccionar las variables ajustadas, según se avance en el proyecto.

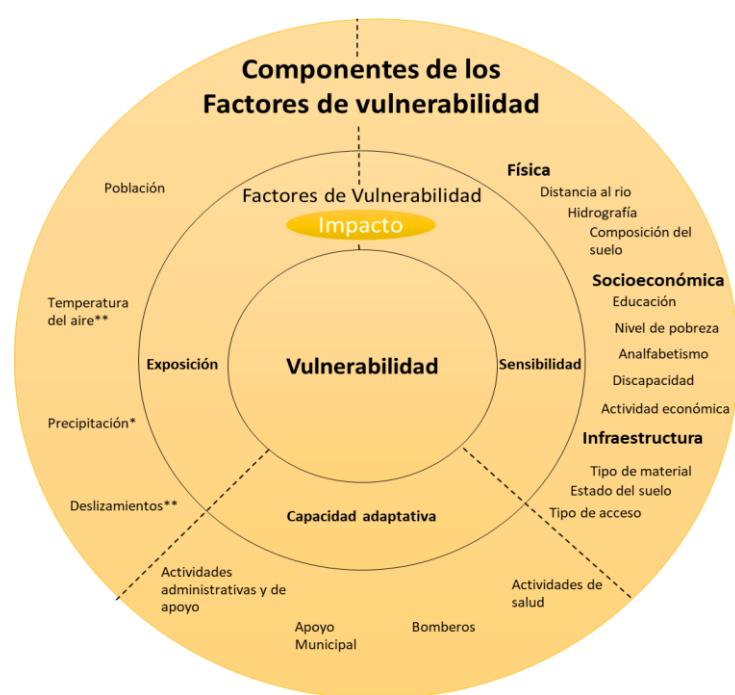


Figura 6.3. Componentes de los factores de Vulnerabilidad

*Inundaciones/**Isla de calor

Tabla 6.1. Componente de variables de vulnerabilidad ante inundaciones

Factores de Vulnerabilidad		Variables	Indicador
Exposición		Densidad poblacional * Precipitación	Densidad poblacional por sector (per/ha) SPI
Sensibilidad	Socioeconómica	Crecimiento poblacional Población Económicamente activa *	% Crecimiento Poblacional PEA
		Educación #	Número de personas con al menos educación primaria
		Tasa de analfabetismo*	Población con analfabetismo> años de edad
		Nivel de pobreza *	NBI
		Tasa de dependencia de edad *	% Población < 14 y >65 años de edad
		Personas discapacitadas*	% tasa de personas discapacitadas
		Actividades agrícolas, silvícolas y pesqueras *	Número de actividades
		Actividades industriales y manufactureras *	Número de actividades
		Alojamiento y actividades alimenticias *	Número de actividades
		Actividades comerciales *	Número de actividades
Capacidad Adaptativa	Infraestructura	Actividades de transporte y almacenamiento *	Número de actividades
		Otras actividades *	Número de actividades
		Conexión principal casa-calle #	Tipo de material
		Material de pared #	Tipo de material
		Estado de la casa *	Nivel del estado
		Material del piso #	Tipo de material
		Servicio de basura #	Tipo de servicio
Física	Física	Acceso a agua potable *	Número de viviendas con acceso a agua potable
		Servicio higiénico y sanitario #	Tipo de servicio
		Distancia del río Guayas desde la costa	% de densidad de población en el área a 50 m del río Guayas
		Hidrografía	% de densidad de población ubicada a 10 m de los ríos principales
		Inundación: Periodo de Retorno	% de densidad poblacional afectada en 5 años de periodo de retorno.
Capacidad Adaptativa	Física	Composición del suelo #	Tipo de suelo
		Actividades administrativas y de apoyo *	Cantidad de actividades
		Bombero y actividades policiales *	Número de instituciones (UPC, Estación de bomberos)
		Actividades de salud humana *	Cantidad de actividades
		Áreas verdes *	Cantidad de parques
		Capacidad legal #	Número de leyes, planes, programas, estrategias
Capacidad Adaptativa	Física	Actividades públicas y de defensa *	Cantidad de actividades

Fuente: Federica, 2017

En el estudio indicado las variables se seleccionaron sin utilizar MCA, o MFA, como enfoques estrictamente estadísticos dada las limitaciones relacionadas con la disponibilidad de datos pasados. Ciertas variables se obtuvieron de datos censales del 2010 y otras por la colaboración de la SGR de Durán por la información acerca del territorio de estudio que ellos han recolectado a través del tiempo. A partir de una cantidad posible de literatura e indicadores territoriales, las variables se redujeron para volver a conducir a un conjunto más pequeño de 31 indicadores adecuados, como se ilustra en el cuadro.

Ponderación de Variables sin categorías

Se considera la sensibilidad o susceptibilidad de las personas ante la exposición por fenómenos naturales. El índice de sensibilidad es un indicador cualitativo de la medida de la susceptibilidad de la población a los impactos del cambio climático, misma que depende de las condiciones sociales, físicas, medios de vida. En el caso de las ciudades el índice de sensibilidad guardan relación con los niveles de conflicto, conocimiento, infraestructura, agricultura, población, salud, pobreza, y presión por el uso de suelo para viviendas (Mappelcroft, 2014). De la tabla anterior (1), las variables que tienen el signo (*) corresponden a aquellas cuya información se obtuvo del censo del 2010, y además el cálculo de los índices para cada una de las variables es directo, basándose en la clasificación del (CIFFEN, 2012) se asignó un valor normalizado o ponderación de 0 a 1 para cada clase obteniéndose así 5 clases, siguiendo la regla de que un valor numérico mayor de la variable, indica una mayor

exposición, sensibilidad o capacidad adaptativa. Por ejemplo, la densidad poblacional: mayor densidad poblacional, mayor exposición a las inundaciones según (Cutter, Boruff, & Shirley, 2003) de ese modo, la mayor exposición al peligro provocará un aumento de la vulnerabilidad a las inundaciones. En consecuencia, el valor más alto de 1 se asoció a la clase más alta (> 300 habitantes por hectárea), y el valor más bajo de 0 a la clase más baja (<50) (Ver tabla anexo 2). En contraste lo mismo se aplicó, para las variables de sensibilidad como actividades de comercio, aquella clase que contenía el mayor número de actividades relacionadas al comercio le correspondía el valor de 1 (Ver tabla anexo 4). De igual, manera se aplicó la regla, para ciertas variables de capacidad adaptativa como “Actividades públicas y de defensa”.

Ponderación de Variables con categorías

Aquellas variables en la tabla 1, que tienen el signo (#), son las que poseen alguna categoría o clasificación dentro de la base de datos, ya sea del Censo 2010 o de la SGR Durán como se observa en las tablas de abajo.

Tabla 6.2. Ejemplo de variables con categorías

Material de las paredes externas	Ponderación (SGR,2012)
Hormigón (A)	0.1
Ladrillo o bloque (B)	0.5
Madera (C)	0.5
Adobe (D)	0.5
Caña (E)	1
Conexión casa-calle	Ponderación (CENSO,2010)
Pavimentadas	0
Empedrado	0.25
Camino de tierra	0.5
Sendero	0.75
Río, otros	1

Cada una de las variables que conforma las clasificaciones como las que se observa en las tablas, representa un conjunto de datos por sector censal de manera tal que, a cada una de las variables se le asignó su ponderación respectiva basados en clasificaciones de (SGR,2012) o categorías del censo 2010, para finalmente realizar un sumatorio total de los productos, tal como se aprecia en la siguiente ecuación donde (A,B,C...) corresponden representan las categorías y Pon indican la ponderación asignada, misma que se repitió para cada sector censal:

$$R = \sum_{i=1}^5 (AP_{on_1} + BP_{on_2} + CP_{on_3} + DP_{on_4} + DP_{on_5})$$

Finalmente, la sumatoria de todos los productos se normaliza. Tal proceso se explicará después. Dentro de este grupo de variables el indicador de capacidad adaptativa “capacidad legal” se asignó como un valor global a todo Durán según ponderaciones realizadas por (Federica., 2017). No afecta a la vulnerabilidad a nivel de la ciudad, pero hace notar cual es la fortaleza de la ciudad en sus aspectos de políticas municipales y de su implementación.

Precipitación (SPI)

Para calcular la exposición física a las precipitaciones, (Federica.,2017) y ciertos autores sugirieron el uso de un índice internacional denominado índice de precipitación estandarizado (SPI), realizado por la Organización Meteorológica Mundial (Svoboda, Hayes, & Wood, 2012). Según la OMM, el índice se utiliza para medir la probabilidad de lluvia (o para la sequía), y funciona con datos de precipitaciones mensuales a largo plazo.

Según (Valle ,2017) el índice SPI se trabajó con un mínimo de 30 años de datos de entrada, con datos meteorológicos. La estación meteorológica del aeropuerto de Guayaquil fue utilizada para extraer datos de precipitación, de 1950 a 2016, incluyendo 66 años totales de datos de precipitación. Tales datos se reorganizaron para ejecutar la serie de datos en el software SPI por la OMM. Después de un proceso estadístico (Federica.,2017), menciona en su trabajo que el valor normalizado de 0,5 se aplicó a todos los sectores censales como el valor representativo de la exposición física. Este factor a nivel de ciudad puede variar de un año a otro dependiendo de si son considerados años extremos como El Niño o La Niña. Esto se puede asociar a los períodos de retorno de lluvias, presentado en el capítulo de inundaciones.

Ponderaciones de Variables de sensibilidad

Previo a la asignación de ponderaciones a esta variable, se debe realizar cálculos básicos en QGis, ya que los datos no se los obtienen de forma directa, tales variables son: Porcentaje de densidad de población en el área a 50 m del río Guayas y a 10 m de los principales ríos que cruzan el cantón. Para ambas, se usó la aplicación Buffer que permitía calcular el área censal afectada por diferencia entre capas, y finalmente, se cruzó con densidad poblacional de cada sector censal, con el fin de cuantificar la densidad poblacional del área afectada. Finalmente, a este valor se le asignó la ponderación de variables sin categorías.

Índice de exposición

Los valores finales de la Exposición total del área de estudio se formularon aplicando la siguiente fórmula:

$$E_t = E_{precipitacion} + E_{den.poblacional}$$

Índice de sensibilidad

La sensibilidad total se midió con la siguiente ecuación, como la sumatoria de la sensibilidad socioeconómica, de infraestructura y física, donde N = número de variables que conforman la sensibilidad

$$S = \sum_{i=1}^N S = (S_{socioeconom.} + S_{infraest.} + S_{física})$$

Índice de capacidad adaptativa

Además de medir la exposición y la sensibilidad, se construyó indicadores para construir la capacidad de adaptación, se calcularon para evaluar la capacidad de adaptación a los eventos de inundación del área de estudio. La ecuación utilizada para evaluar la capacidad adaptativa total fue:

$$Cap. Adap_{Total} = \sum_{i=1}^N AC_i$$

donde N = número de indicadores de capacidad de adaptación

Índices normalizados

De acuerdo con estudios previos de vulnerabilidad los indicadores totales de cada una de las componentes se normalizan para representar los valores de exposición, sensibilidad y vulnerabilidad en el rango de 0 a 1, donde el valor menor de 0 corresponde al nivel más bajo del indicador, y 1 el más alto.

Finalmente, los valores se estandarizaron, aplicando el método mínimo. La fórmula aplicada fue:

$$Z_i = X_i - min(x) / max(x) - min(x)$$

Donde:

X_i :Valor individual, ya sea de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa o de vulnerabilidad total, que será estandarizado.
Min(x) y Max(x): como sus nombres lo indican, representan los valores máximos y mínimos del conjunto de datos de la variable analizada.

Z_i :valor normalizado.

Finalmente, la vulnerabilidad total (V) se encuentra en función de la exposición (ex), la sensibilidad (se) y la capacidad adaptativa (ca) para este estudio la definiremos como:

$$Vulnerabilidad\ total = ex + se - ca$$

Sin embargo, también puede ser calculada a través de:

$$Vulnerabilidad\ total = (ex * se)/ca$$

Cabe recalcar, que la fórmula usada finalmente, será aquella en la que los componentes de la vulnerabilidad se suman de forma algebraica.

Resultados

En esta sección se presentará los diferentes mapas obtenidos a través del procesamiento de datos censales y de la información brindada de parte de GAD Durán.

En el primer mapa adjuntado es el de densidad poblacional, donde las mayores concentraciones se encuentran en el norte del cantón.

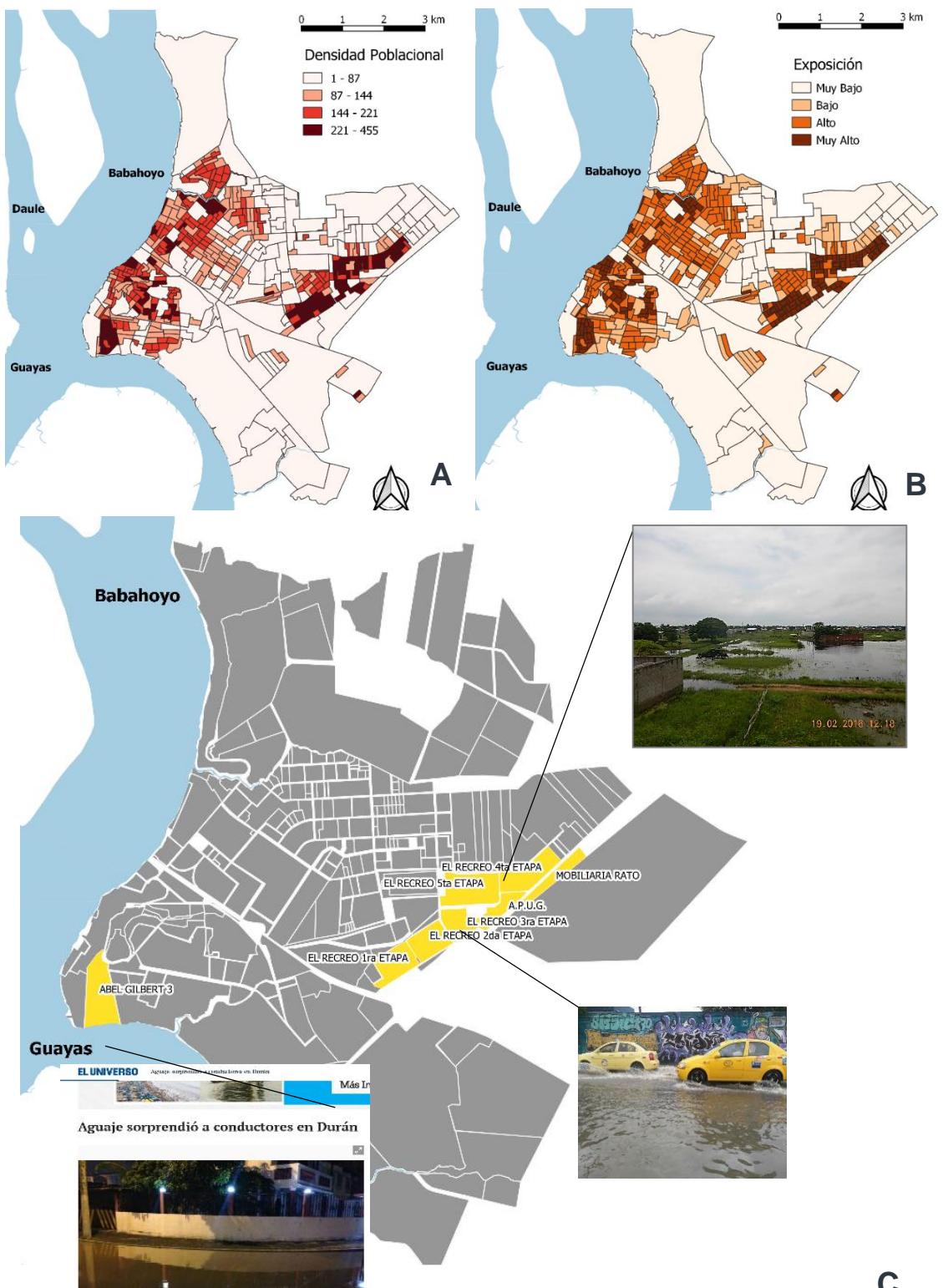
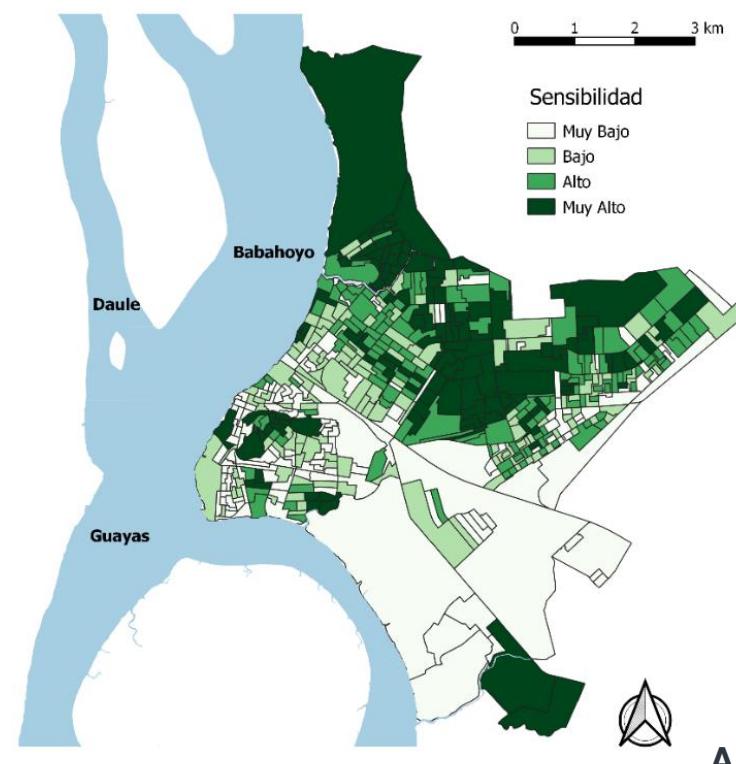


Figura 6.4. (a) Mapa densidad poblacional, (b) Mapa de Índice de Exposición a inundaciones, sectores censales, (c) Mapa de sectores del Cantón Durán con mayor índice de exposición

En el primer mapa adjuntado (Figura 6.4) es el de densidad poblacional, donde las mayores concentraciones se encuentran en el norte del cantón, siendo específicos más concentrados al noreste y noroeste. Los sectores con mayor densidad poblacional corresponden a El Recreo (todas sus etapas) y Abel Gilbert 3. En general, la mayoría de los sectores censales, presentaron índices altos de exposición, a excepción de aquellos en los que no existe mucha densidad poblacional, siendo esta variable la que controla el indicador de exposición (Figura 6.5).

Los resultados del índice de exposición fueron concentrados en las áreas del norte, extendiéndose de un rango de alto a muy alto desde oeste a este del área urbana del cantón de Durán, siendo el Recreo y todas sus etapas, el sector más expuesto ante inundaciones.

El mapa de capacidad de adaptativa muestra el contraste entre la zona norte y sur del cantón; la zona norte predomina índices muy bajos de capacidad adaptativa, lo contrario ocurre en el sur, los sectores censales con menor capacidad de adaptación, podrían ser potenciales áreas vulnerables (Figura 9).

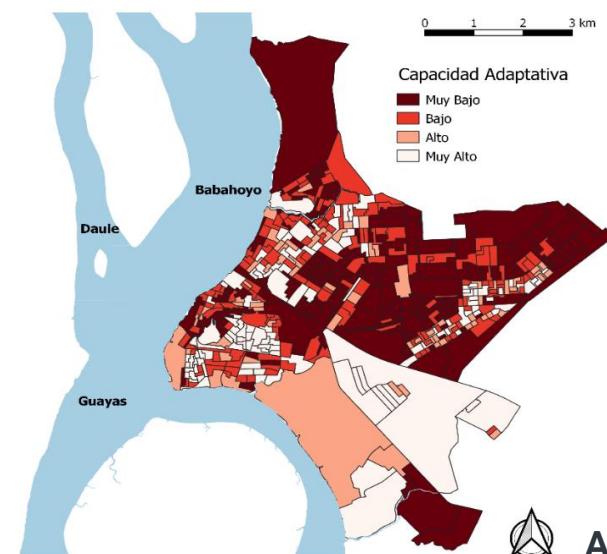


Los mapas de sensibilidad muestran división espacial desde el norte hasta los sectores del sur; el norte mostró mayor concentración de sectores sensibles según las condiciones socioeconómicas de las personas, mientras que la zona sur incluyó una prevalencia de bajos niveles de sensibilidad (Figura 6.5b).



Figura 6.5. (a) Mapa Índice de Sensibilidad, sectores censales
(b) Mapa de sectores del Cantón Durán con mayor índice de Sensibilidad

La tendencia geográfica presente en la zona norte que recorre el cantón de oeste a este desde Peñón del río hasta 288 ha, podría significar que las características físicas, sociales y económicas están muy relacionadas entre ellas, ya que las mismas se caracterizan por malas características de infraestructura en sus hogares, por ser zonas que se inundan con frecuencia o por sus cercanías al río o esteros e incluso bajos números de actividades económicas lo que incrementa el índice de sensibilidad. Niveles bajos del mismo en el sur pueden estar vinculados a las intensas actividades industriales de esta zona y baja densidad poblacional. Los sectores con índice más alto de sensibilidad fueron: 5 de Junio, El Recreo, Peñón del Rio, 288 ha.



Los sectores con índice más alto de sensibilidad fueron: 5 de Junio, El Recreo, Peñón del Rio, 288 ha (Figura 6.a). Por otro lado, la tendencia geográfica muestra mayor concentración al noreste del cantón Durán, debido a la ausencia de áreas verdes, bajo número de: actividades de salud humana e instituciones directamente involucradas en el proceso de alerta y prevención de desastres (Estación de bomberos y UPCs)(Figura 6.b).



Figura 6.6. (a) Mapa Índice de Capacidad Adaptativa, sectores censales
(b) Mapa de sectores del Cantón Durán con menor índice de Capacidad Adaptativa

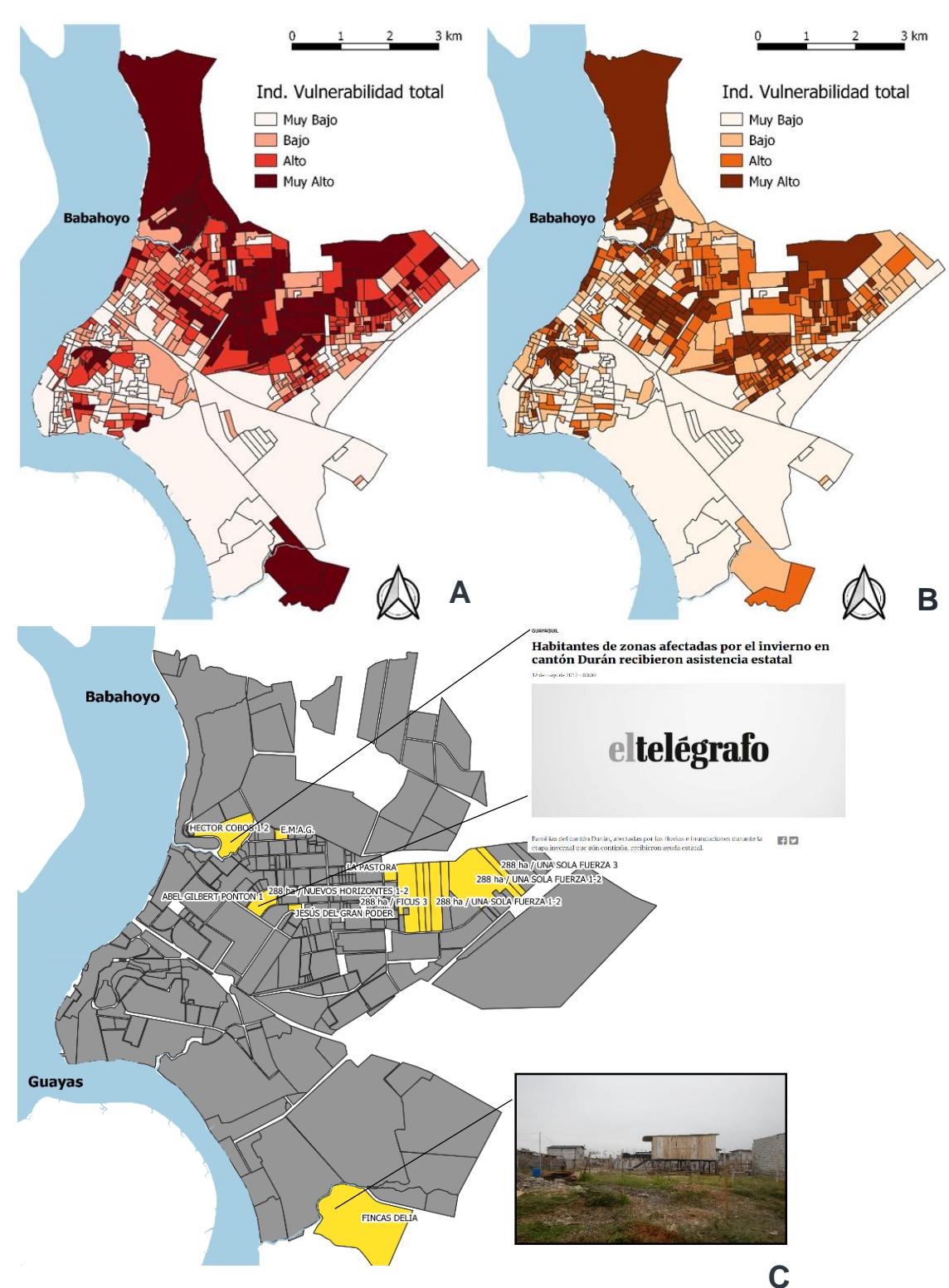


Figura 6.7 Mapa Índice de Vulnerabilidad Total, sectores censales (a) V=ExS/CA (b) V=E+S-CA (c) Mapa de sectores del Cantón Durán con mayor Vulnerabilidad, a partir del mapa V=E+S-CA

Los mapas muestran la vulnerabilidad total del cantón Durán, la diferencia entre ellos radica la formulación base para su obtención; sin embargo, la tendencia de las concentraciones de rangos de vulnerabilidad es similar en ambas. Se evidencia mayor vulnerabilidad al norte de la urbe, producto de la unión de los índices mencionados anteriormente, a diferencia del sur. Finalmente, se destaca los sectores más vulnerables: Hector Cobos, Abel Gilbert, Jesús del Gran Poder, 288 ha, Fincas Delia y el Recreo.

Mapeando la Amenaza de Inundaciones

La determinación de la vulnerabilidad considerando factores físicos, sociales y de capacidad de adaptación es una parte importante en la identificación del riesgo a inundaciones. Para determinar el riesgo de la ciudad a las inundaciones, es necesario identificar y mapear la amenazas de inundaciones.

En relación a los eventos de inundación, las instituciones SNI, INAMHI y el MAGAP, (2002) han dividido el territorio cantonal en áreas, sujetos a 3 tipos de inundaciones. Descrito en el PDOT (2015), los porcentajes de áreas inundadas y medidas en el territorio fueron:

1. Áreas inundadas permanentes manglares y marismas: 3,32%
2. Áreas periódicamente inundadas por fuertes lluvias: 46,34%;
3. Áreas inundadas propensas, por efecto del desbordamiento de los ríos, o precipitaciones fuertes: 31,58%

Las áreas 2 y 3 incluyeron el área urbana, donde el 46,34% del territorio se inundó durante la estación húmeda, y el 31,48% tenía propensión a ser inundado por el desbordamiento del río combinado con fuertes precipitaciones. Los principales daños materiales causados por inundaciones en el área urbana se pueden resumir como sigue:

- Casas y personas afectadas
- Muertes
- Carreteras dañadas
- Cultivos y pérdidas de propiedad
- Hoteles y restaurantes dañados

- Supersaturación y lixiviación del terreno.
- Se han perdido los nutrientes lavados y la fertilidad
- Productividad y reducción de calidad del forraje
- Propagación de vectores y enfermedades transmitidas por el agua, como dengue y cólera

Los daños materiales se combinan con daños inmateriales que afectan indirectamente a las personas y a la comunidad urbana. Según indica (Federica, 2017) las declaraciones de pobladores afirmaron que durante los eventos de inundación sufrieron de movilidad limitada, aislamiento, imposibilidad de trabajar, estrés mental y enfermedad.

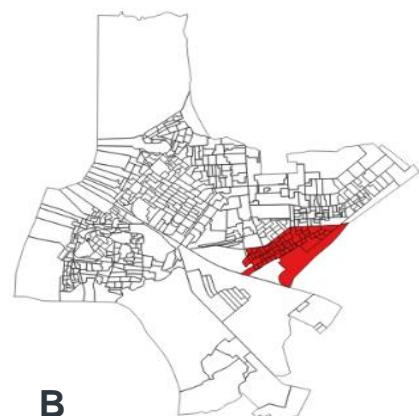
Los principales daños por inundaciones se localizaron en el área urbana, en áreas de riesgo y en el área cercana al río Guayas, mientras que la isla Santay permaneció sin contaminación por inundaciones (PCDT, 2015; DGGR, 2017). El análisis de daños, en términos de costos, pérdidas económicas y beneficios, no pudo ser logrado debido a la falta de datos causados por la anterior Administración de Durán, como se describió inicialmente.

Desde 2014, el mandato renovado del Municipio de Durán trató de reparar los daños causados por el anterior GDA, llenando una base de datos vacía y adoptando medidas con el apoyo nacional de SGR.

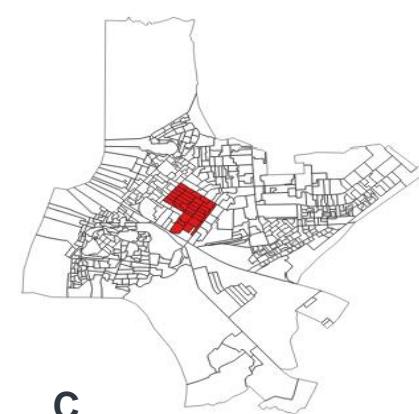
En realidad, Durán presenta pocos datos confiables sobre la condición social: condición de la casa, condición familiar y reubicación, para la estación húmeda de enero a mayo de 2015 y de enero a mayo de 2016. Aunque las mejoras administrativas aún carecen de amplia información subyacente a la necesidad de un largo período de tiempo para resolver y superar los impactos negativos causados por la peor administración pasada.



A



B



C



Figura 6.8 Áreas de inundación Abril 2017 (a) Sector 288 ha, (b) El Recreo, (c) 5 Junio
Fuente: Federica,2017

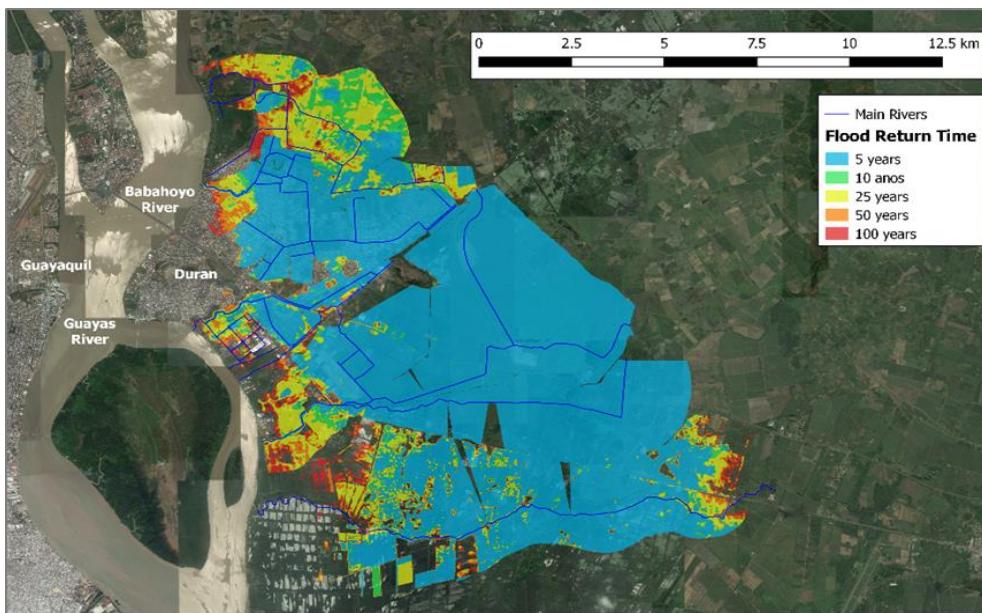


Figura 6.9 Inundaciones período de retorno Canton Durán, desde 5 a 100 años. Fuente:DGGR,2017

El producto del modelo hidrológico realizado por la Dirección de Gestión de Riesgo estuvo representado por el mapa de ocurrencia de inundaciones de Durán. Fue entonces que el área total se dividió en áreas de ocurrencia de inundación de intervalo de recurrencia de 5, 10, 25, 50, 100 años. El diseño de la infraestructura de drenaje fluvial y de alcantarillado, así como la planificación de las áreas de vías, aceras y bordillos debe tomar en cuenta los períodos de retorno así como la descarga estimada de la población asentada en la ciudad de Durán.

Conclusiones

Vulnerabilidad Física de Durán

La ciudad de Durán está expuesta a efecto combinado de precipitaciones, aumento en caudales, y variaciones de la marea que conjuntamente con su topografía baja provoca que grandes áreas de la ciudad sean propensas a zonas de inundación, aun en condiciones de lluvias no extremas. Esta claramente identificado que los niveles de agua que pueden inundar a la ciudad de Durán son relativamente bajos y generan inconvenientes por las alturas de marea, niveles de precipitación, y los niveles de los canales que atraviesan la ciudad. Las zonas están identificadas y en el capítulo de inundaciones se detallaron los problemas de diseño en la infraestructura existente.

Vulnerabilidad social de Durán

Es crítico conocer la vulnerabilidad social y reconocer la limitada capacidad de la ciudad (por recursos humanos) para responder a los eventos de inundaciones tanto frecuentes como aquellas durante El Niño. Identificar a los grupos más vulnerables es clave para proveerles de los programas de atención social y de reducción de riesgos climáticos, y recomendaciones técnicas para identificar y reducir la vulnerabilidad.

Actividades a realizar

En este informe, se ha presentado, los resultados de vulnerabilidad ante inundaciones; sin embargo, falta incluir resultados sobre Islas de calor y Deslizamiento mismos que serán incluidos en avances posteriores, debido a que se pretende obtener las variables de exposición y sensibilidad para cada una de esas componentes. Tal información, se pretende extraer de los informes de cada una de las componentes del proyecto, presentado en este avance general.

Cabe recalcar, que la metodología aplicada para la obtención de mapas de vulnerabilidad ante inundaciones se aplicará de igual manera a Islas de calor y deslizamientos, las diferencias se encuentran en las variables usadas en los factores de exposición y sensibilidad, por ejemplo: En Islas de calor se pretende incluir las siguientes variables: Densidad residencial, vías pavimentadas, temperatura superficial del aire, albedo, emisividad y consumo de energía. Por otro lado, para deslizamientos: número de deslizamientos, viviendas ubicadas en laderas y precipitación.

En esta primera fase del proyecto se tomó como referencia las mismas variables de (Federica., 2017); sin embargo, en medida de lo posible según disponibilidad de datos se pretende aplicar algún proceso estadístico como: Análisis de componentes múltiples (MCA) o Análisis multifactorial (MFA) para seleccionar las variables más ajustadas, y de esta manera disminuir el conjunto de datos usados y facilitar la metodología del estudio. Si bien es cierto, se ha tomado la base de datos del censo correspondiente al año 2010, lo que nos da una idea general de cómo están las condiciones de vulnerabilidad en ese año;

sin embargo, las condiciones no siempre se mantienen y se debe realizar una actualización a la base de datos, en especial de aquellos sectores que en el 2010 no existían, para ello se pretende realizar en medida de lo posible estimaciones estadísticas que nos permitan actualizar nuestra base de datos.

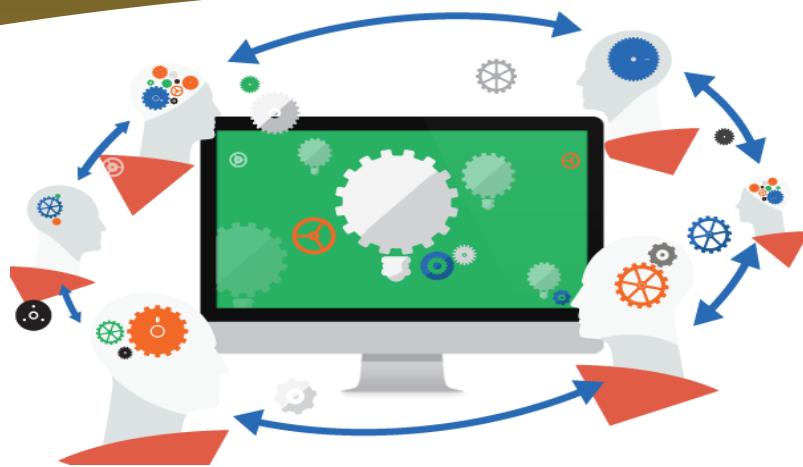
Caracterizar la variabilidad espacial de la exposición al calor, inundaciones o deslizamientos y otros factores estresantes en una ciudad, junto con la sensibilidad variable y la capacidad de adaptación, permitirá a los responsables políticos y gestores municipales identificar poblaciones vulnerables y diseñar programas y políticas para aumentar su resiliencia (Weber, Sadoff, Zell, & de Sherbinin, 2015).

Referencias

- Barbat, A., & Marulanda, M. C. (2013). Indicadores de amenaza , exposición y riesgo urbano. In Indicadores de amenaza, exposición y riesgo urbano (pp. 73–90). Barcelona, España. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/discover>
- CIFFEN. (2012). estrategia provincial del cambio climatico- implementación de un sistema de información de vulnerabilidad sectorial de la provincia de Guayas frente al cambio y la variabilidad climatica, (January 2013).
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards*. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>

- D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). Amenazas, Vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los Desastres un reto para el desarrollo. Quito,Ecuador.
- Downing, T.E., Aerts, J., Soussan, J., Barthelemy, O., Bharwani, S., Ionescu, C., Hinkel, J., Klein, R.J.T., Mata, L. J., & Martin, N., Moss, S., Purkey, D. and Zervogel, G. (2006). *INTEGRATING SOCIAL VULNERABILITY INTO WATER MANAGEMENT*.
- FAO. (2009). EL ECUADOR: UN PAÍS CON ELEVADA VULNERABILIDAD.
- GAD Durán. (2013). Plan Estratégico Ins.
- GAD Durán. (2015). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL MARZO DE 2015.
- Gallegos, D. (2015, April). Asentamientos irregulares: el mayor riesgo para habitantes de Durán en tiempo de lluvias. *El Ciudadano*.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007*.
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 17–33. <https://doi.org/DOI: 10.15446/rcdg>
- Lampis, A., & Fraser, A. (2012). *The Global Urban economic DialoGUe SerieS climaTec hanGe*.
- MAE. (2012). *GOBIERNO NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*.
- Mapplecroft. (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*.
- McGray, H., Hammill, A., & Bradley, R. (2007). *Weathering the Storm Options for Framing Weathering the Storm Options for Framing Adaptation*.
- Ministerio de Turismo. (2017). Mesa de Seguridad Turística analiza avances para consolidar a Ecuador como Destino Seguro – Ministerio de Turismo.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Análisis de Vulnerabilidad ante riesgos Naturales Hidrometeorológicos en las áreas protegidas del Ecuador Continental. Quito: MAE/GIZ.
- SGR. (2014). Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos inauguró lanzamiento de radiosonda en Durán – Secretaría de Gestión de Riesgos.
- SGR. (2017). Manual del Comité de Operaciones de Emergencia.
- Soares, D., & Sandoval Ayala, N. (2016). Percepciones sobre vulnerabilidad frente al cambio climático en una comunidad rural de Yucatán, VII, 113–128.
- Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación (OMM-No 1090). Organización Meteorológica Mundial. <https://doi.org/978-92-63-31090-3>
- Weber, S., Sadoff, N., Zell, E., & de Sherbinin, A. (2015). Policy-relevant indicators for mapping the vulnerability of urban populations to extreme heat events: A case study of Philadelphia. *Applied Geography*, 63, 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.07.006>
- Wisner, Blaikie, Cannon, D. (2003). At Risk : natural hazards , people ' s vulnerability and disasters Second edition The attached three chapters constitute Part I of the book , and have been made available in the public domain by the authors and Routledge as part of the UNDP follow up to t.

RED SENSORIAL URBANA Y PLATAFORMA



Daniel Ochoa, Carmen Vaca & Oswaldo Bayona

Introducción

Objetivo General

Desarrollar una plataforma web en donde se pueda: adquirir, buscar, visualizar y descargar datos geoespaciales tales como: capas vectoriales, capas raster, series de tiempo provenientes de estaciones meteorológicas y datos de movilidad.

En este componente del proyecto RESCLIMA DURÁN se está desarrollando la plataforma RESCLIMA la cual permitirá adquirir, buscar, visualizar y descargar datos geoespaciales tales como: capas vectoriales, capas raster, series de tiempo provenientes de estaciones meteorológicas y datos de movilidad.

Para la obtención de requerimientos de la plataforma se realizaron reuniones periódicas con los demás investigadores del proyecto.

Objetivos Específicos

- Registrar usuarios en la plataforma, los cuales van a tener privilegios para cargar datos y visualizar los mismos.
- Cargar y visualizar capas raster y vectoriales, independiente o simultáneamente, en un mapa mundial.
- Generar series de tiempo para los datos provenientes de estaciones meteorológicas y de movilidad.
- Registrar, modificar y eliminar estaciones meteorológicas.
- Registrar datos que toman las estaciones meteorológicas.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de la plataforma se está utilizando software libre. A continuación se presenta una lista de la herramientas utilizadas:

1. Postgres + Postgis + TimeScaleDB:
Base de datos con extensiones para el manejo de datos geo-espaciales y series de tiempo.
2. Django: Framework para desarrollar aplicaciones web.
3. GDAL/OGR: Librería para el manejo de datos espaciales.
4. Openlayers: Librería de javascript para dibujar mapas en el navegador web.

5. Python + Librerías: Lenguaje de programación utilizado para desarrollar los componentes de la plataforma.

Resultados parciales

Como se observa en la Figura 7.1 se cuenta con varias fuentes de datos: series de tiempo provenientes de estaciones meteorológicas automáticas y manuales, y datos del INAMHI; datos proporcionados por los investigadores que son capas vectoriales y rasters; por último se tienen los datos de movilidad.

La arquitectura también tiene programas adaptadores que se encargan de adaptar los datos que llegan, al modelo de la base de datos. El servidor web provee formularios para que los usuarios agreguen las capas y una interfaz de búsqueda, visualización y descarga de datos. A continuación se pormenoriza cada componente de la arquitectura y se muestra el estado actual de desarrollo

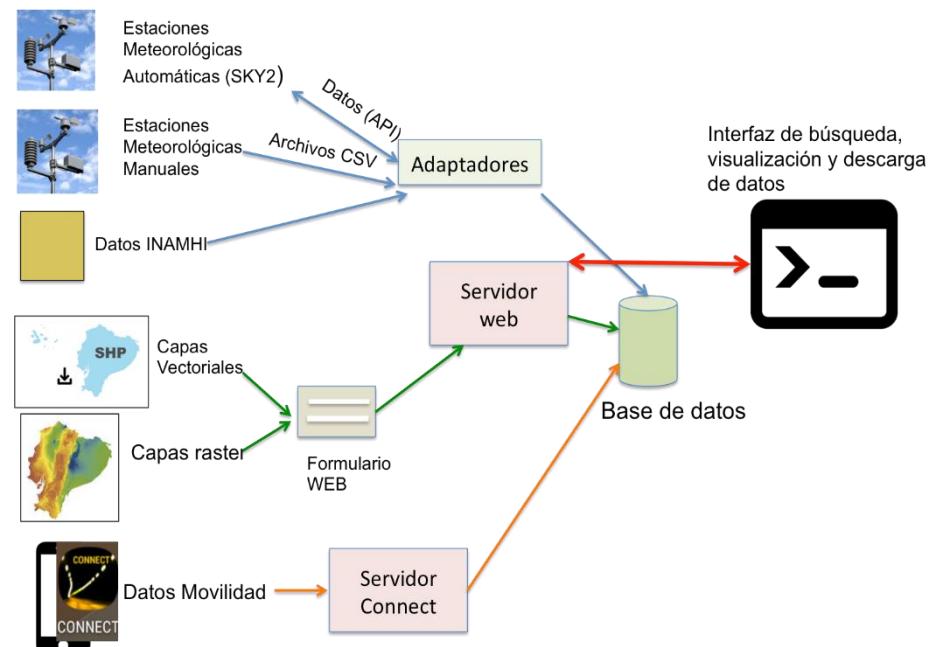


Figura 7.1 Arquitectura de la plataforma

Como se observa en la Figura 1 se cuenta con varias fuentes de datos: series de tiempo provenientes de estaciones meteorológicas automáticas y manuales, y datos del INAMHI; datos proporcionados por los investigadores que son capas vectoriales y rasters; por último se tienen los datos de movilidad.

La arquitectura también tiene programas adaptadores que se encargan de adaptar los

datos que llegan, al modelo de la base de datos.

El servidor web provee formularios para que los usuarios agreguen las capas y una interfaz de búsqueda, visualización y descarga de datos. A continuación se pormenoriza cada componente de la arquitectura y se muestra el estado actual de desarrollo.

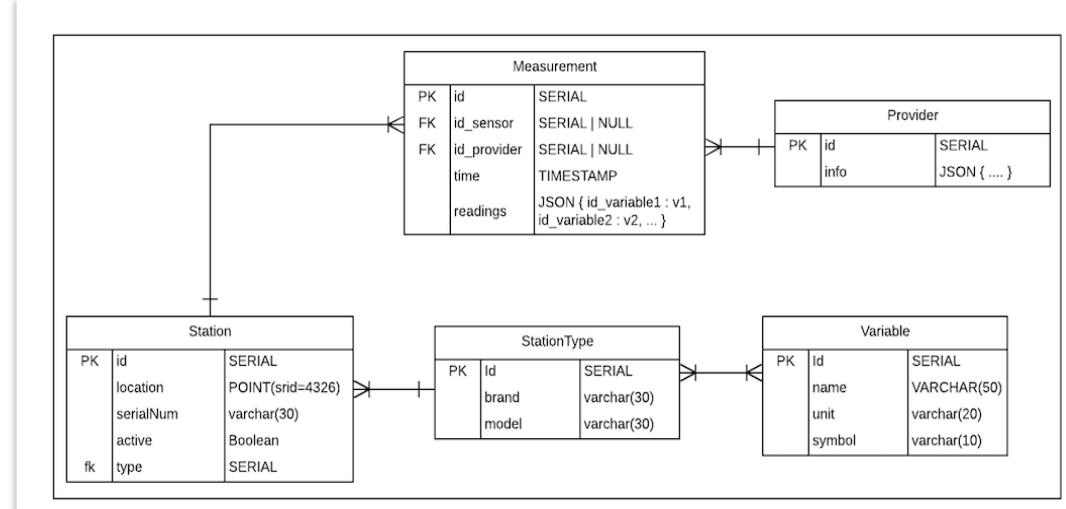


Figura 7.2 Modelo de base de datos de las series de tiempo

Serie de tiempo provenientes de estaciones meteorológicas

El componente de las series de tiempo, permite obtener datos provenientes de diferentes tipos de estaciones meteorológicas. Además se pueden agregar series de tiempo provenientes de terceros como el INAMHI.

El modelo de base de datos de este componente se muestra en la Figura 2. Como se puede observar, se tiene la tabla Station la cual guarda la información de una estación meteorológica tales como su número de serie, su ubicación cuyo tipo de dato POINT(srid=4326) es un tipo de datos de PostGIS. Cada estación tiene un tipo de estación que es guardado en la tabla StationType, el tipo se utiliza para que los programas adaptadores procesen los datos de la forma correcta. En la tabla Variable se registran las variables de la serie de tiempo tales como temperatura, humedad, nubosidad, etc.

La tabla Provider permite guardar información de algún otro proveedor de datos, como el INAMHI. Por último, en la tabla Measurement se guarda los datos de la serie de tiempo, esta tabla es una HyperTable de TimeScaleDB. TimeScaleDB es una extensión de Postgres optimizada para almacenar series de tiempo. Una HyperTable es una abstracción de una tabla infinitamente grande, aunque por debajo son varias tablas enlazadas. El hecho de que los datos están distribuidos en varias tablas evita que las consultas lleguen a bloquear las tablas.



Los Adaptadores reciben los datos provenientes de una estación meteorológica, los procesan y los guardan en la base de datos.

Adaptadores

Una parte clave de este componente, son los programas Adaptadores, los cuales reciben los datos provenientes de una estación meteorológica, los procesan y los guardan en la base de datos. Debido a que se tienen estaciones meteorológicas de diferentes marcas y modelos, la manera en la que se guardan los datos es diferente para cada estación, por lo que se ha implementado un adaptador para cada tipo de estación. A continuación se describe cada programa Adaptador.

Adaptador SKY2

Se trata de un programa que se ejecuta todo el tiempo en el sistema operativo. Este programa mantiene una lista de estaciones SKY2 y periódicamente realiza peticiones a las estaciones para requerir las mediciones. Las peticiones se las realiza mediante el protocolo http y con un token se identifica la estación.

Adaptador HOBO

Es un módulo de python que se ejecuta dentro de la aplicación web hecha en django. Las estaciones HOBO no transmiten datos por sí solas, se necesita de un operador que recupere los datos mediante una interfaz USB y con el software de las estaciones HOBO, generar un archivo CSV. Este archivo luego se sube a un formulario web, el cual invoca al programa adaptador, entonces, el adaptador lee el archivo, lo procesa y guarda los datos en la base de datos.

Adaptador DataLogger

Es muy similar al Adaptador de las estaciones HOBO, ya que las estaciones DataLogger no transmiten los datos por sí solas.

Scraper INAMHI

Es un programa que se ejecuta todo el tiempo y que periódicamente, se conecta al sitio web del INAMHI, entonces descarga el archivo HTML, el cual luego es parseado y se obtienen los datos. Entonces el scraper procesa los datos y los guarda en la base de datos. Este scraper podría ser reemplazado luego, si se obtiene acceso directo a la base de datos del INAMHI.

Registro de estaciones meteorológicas

Mediante el formulario mostrado en la Figura 3, un usuario autorizado registra una estación meteorológica. Se debe ingresar el número de serie; escoger el tipo de estación (SKY2, HOBO, DataLogger) y se debe ingresar la latitud y longitud de la estación.

RESCLIMA DURAN

Station Type:	<input type="text" value="HOBO-MX2300"/>
Serial Number:	<input type="text"/>
Latitude:	<input type="text"/>
Longitude:	<input type="text"/>
Requests frequency:	<input type="text"/>
Access token:	<input type="text"/>

Figura 7.3 Formulario ingreso de estación meteorológica

Ingreso de datos

Para ingresar los datos de las estaciones meteorológicas que no son automáticas, se utiliza el formulario mostrado en la Figura 4. Un usuario autorizado debe escoger el tipo de estación y subir el archivo CSV. Luego de esto, el servidor invoca al programa adaptador adecuado y se guardan los datos.

RESCLIMA DURAN

Select: HOBO-MX2300

File: No file selected.

Figura 7.4 Formulario ingreso de csv

Discusión

El diseño de este componente tiene la ventaja de permitir la obtención de datos que cambian con el tiempo proveniente de diferentes estaciones meteorológicas y de terceros. Si se desea añadir una estación cuya marca y modelo no es soportado por la plataforma, se debe implementar otro programa adaptador. Lo cual no está mal para pocos tipos de estaciones y proveedores. Lo ideal sería implementar un protocolo entre las estaciones y la plataforma, lo cual permitiría agregar cualquier tipo de estación que implemente el protocolo. Para esto se necesitaría estaciones meteorológicas que se puedan programar o construir un hardware que permita a las estaciones no automáticas transmitir los datos usando el protocolo.

Hasta la fecha, ya se puede guardar los datos de las estaciones SKY2, aún no se tienen los otros tipos de estaciones pero se han probado con archivos de prueba. También está implementado el registro de estaciones. Aún queda pendiente implementar la interfaz para buscar, visualizar y descargar las series de tiempo.

Capas vectoriales

Este componente permite almacenar capas vectoriales. Una capa vectorial es un archivo que almacena datos geográficos, definiendo geometrías usando vectores. Una capa vectorial consiste de: un sistema de coordenadas geográfico, un conjunto de Features, los cuales tienen una geometría (punto, línea, polígono, etc) que describe su forma, y una tabla con atributos no geográficos. La Figura 5 muestra un esquema de una capa vectorial. Como se observa en el esquema, una capa debe definir su sistema de coordenadas mediante un código srid o mediante texto well-known-text (WKT). Se observa que generalmente los Features son de la misma geometría, en el esquema se muestran puntos, para definir otras geometrías como polígonos o líneas se puede usar WKT. También se observa que los Features tienen atributos no geográficos asociados tales como el nombre de una provincia o el número de habitantes.

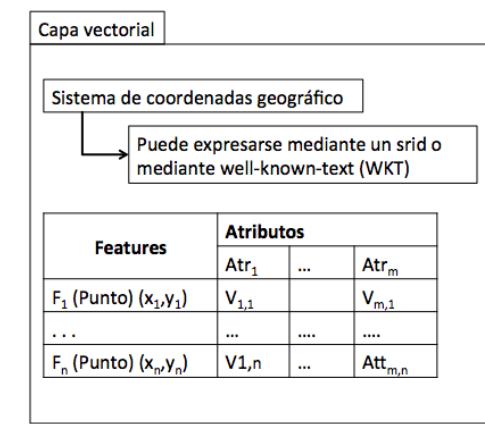


Figura 7.5 Esquema capa vectorial

Se implementó un modelo de base de datos que modela las capas vectoriales. La ventaja de usar una base de datos en lugar de simplemente almacenar los archivos es que se pueden realizar consultas espaciales, por ejemplo, recuperar las zonas con mayor índice de vulnerabilidad que estén dentro de un área.

La Figura 7.6 muestra el modelo de la base de datos. Se observa que se tienen las tablas: VectorLayer, Feature, Attribute,AttributeValue los cuales permiten guardar el contenido de las capas que se suben a la plataforma. Este modelo permite guardar capas vectoriales de cualquier geometría con

cualquier sistema de coordenadas.

Generalmente en los sistemas de información geográfica se crea una tabla en PostGIS por cada capa, ya que en PostGIS todos los features definidos en una columna deben tener el mismo srid y geometría, así que, debido a que cada capa tiene su propio srid, geometrías y atributos se crea una tabla por capa. Así que se decidió implementar el modelo de la base de datos de esta forma para no tener que lidiar con múltiples tablas y poder tener arbitrarias geometrías y atributos. Como se observa todas las geometrías se guardan con srid 4326 pero se guarda el WKT del sistema de coordenadas original, entonces al ingresar una capa los datos se transforman a 4326 y cuando se descargan los datos se transforman al sistema de coordenadas original. Además, todas las geometrías deben tener el mismo sistema de coordenadas para poder realizar operaciones espaciales entre ellas correctamente y como se mencionó antes, en PostGIS todas las geometrías de una columna deben tener el mismo srid.

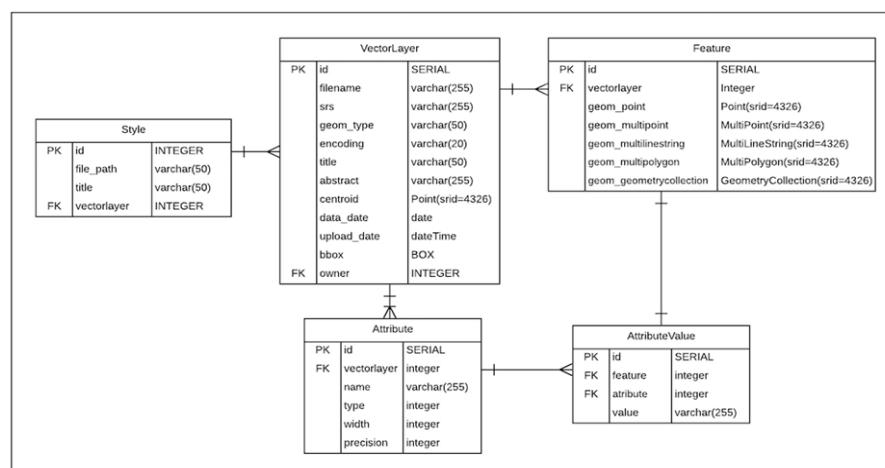


Figura 7.6 Modelo de base de datos de las capas vectoriales

Ingreso de datos

La Figura 7.7 muestra un formulario, que permite el ingreso de un shapefile, el cual es una formato de capa vectorial muy popular. El usuario autorizado debe escoger los archivos con extensión shp, dbf, prj y shx de su computadora; ingresar metadatos tales como el título de la capa, una descripción y fecha de los datos. Luego de esto el sistema parsea el shapefile, transforma las geometrías y almacena los datos.

El usuario también puede editar los metadatos y agregar estilos mediante archivos SLD.

Importar Shapefile

Importar archivos shapefile: 4 files selected.

Codificación:

Título:

Resumen:

Fecha de los datos

Figura 7.7 Formulario para subir una capa

Un archivo SLD es un xml que le da estilo a una capa, los estilos sirven para resaltar con colores un atributo de la capa. Los archivos SLD se pueden generar mediante un plugin de QGIS, un usuario simplemente le da estilo en QGIS de la forma usual y escoge la opción exportar SLD. El plugin se llama GeoServer Explorer y se puede descargar desde QGIS.

El usuario también puede descargar la capa como un shapefile comprimido como zip y eliminar la capa.

Visualización de la capa

La Figura 8 muestra, una visualización de un shapefile de prueba. del lado izquierdo se tiene: la descripción de la capa, la fecha, la lista de estilos y la leyenda.

El usuario puede seleccionar un estilo y se aplica. Además, el usuario puede dar click a un feature y en la parte de abajo se muestra la tabla de atributos.

Playas

Resumen

Aqua, vivienda

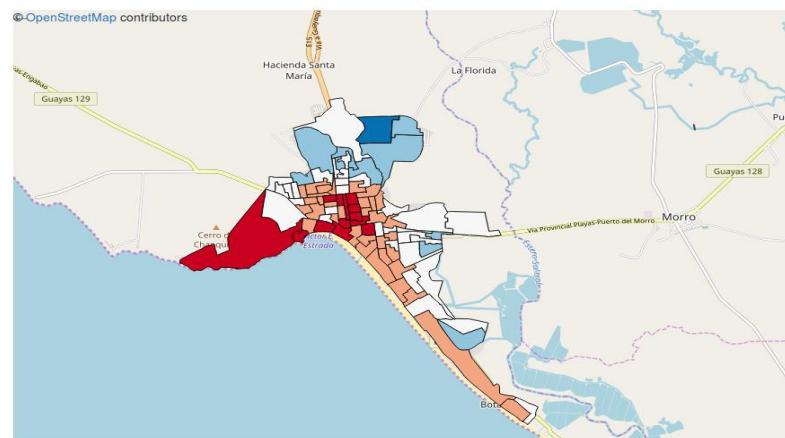
Fecha

July 3, 2018

Estilos

Numero de viviendas
Sin agua potable

- 3 - 22
- 22 - 42
- 42 - 61
- 61 - 81
- 81 - 100



A

Atributo

Valor

Shape_Area

449629.995818

Playas

Resumen

Aqua, vivienda

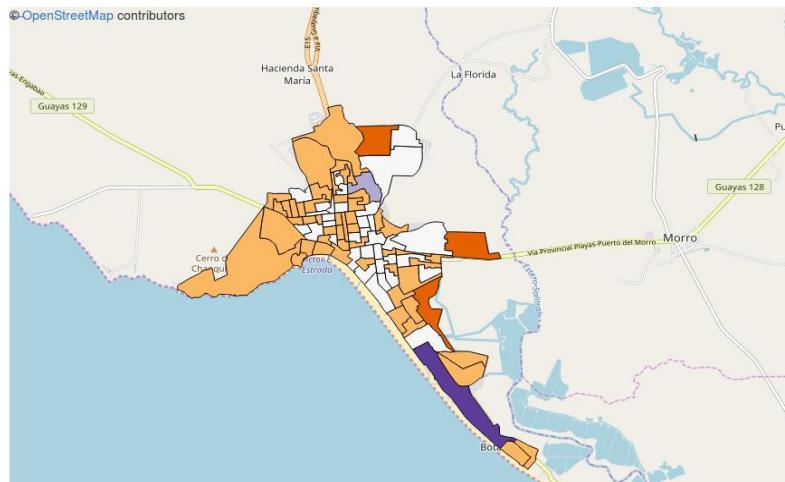
Fecha

July 3, 2018

Estilos

Numero de viviendas
Sin agua potable

- 19.0000 - 85.4000
- 85.4000 - 151.8000
- 151.8000 - 218.2000
- 218.2000 - 284.6000
- 284.6000 - 351.0000



B

Atributo

Valor

Figura 7.8 Visualización de una capa vectorial de Playas con dos estilos
a) Se muestra los sectores sin agua potable, b) Se muestra el total de viviendas de los sectores

Discusión

El desarrollo de este componente está avanzado, los usuarios pueden subir shapefiles, editar los metadatos, agregar estilos, visualizar la capa, descargar la capa y eliminarla. Lo que queda pendiente es implementar la búsqueda de las capas y mejorar la visualización ya que se planea que la interfaz definitiva sea multicapa y permita ver tanto capas vectoriales como rasters simultáneamente.



Los datos raster están georeferenciados por lo que los archivos tienen metadatos que indican su sistema de coordenadas y puntos clave para georeferenciar la imagen.

Capas rasters

Las capas raster básicamente son imágenes, donde cada pixel contiene información, como alturas, temperaturas, precipitaciones, etc. Las imágenes pueden ser escala de grises, rgb o multiespectrales. Los datos raster están georeferenciados por lo que los archivos tienen metadatos que indican su sistema de coordenadas y puntos clave para georeferenciar la imagen. Existen varios formatos de raster, tales como geotiff, geo-jpg, geo-png, NETCDF, etc.

Hasta el momento se ha probado la visualización de capas geotiff monocromáticas usando estilos SLD. La Figura 9, muestra una capa raster con un estilo.

Precipitacion

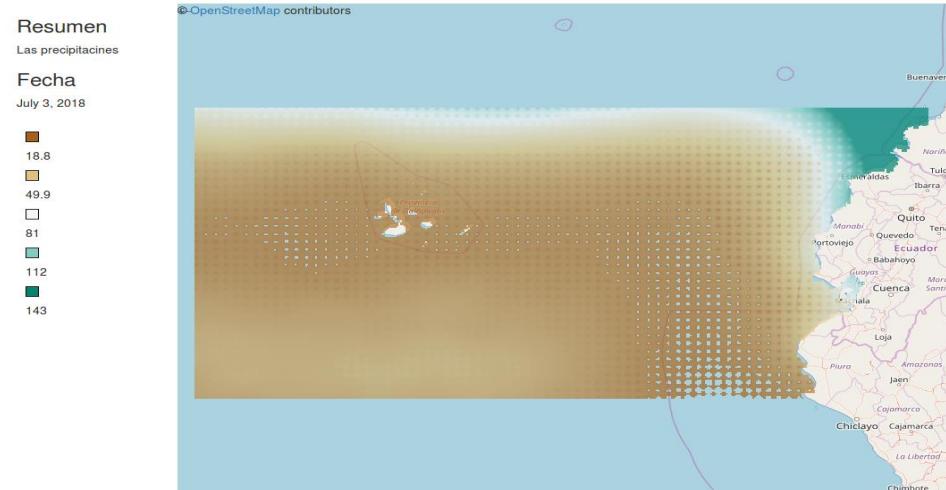


Figura 7.9 Visualización de una capa raster

Para implementar el visualizador se implementó el protocolo Tile Map Service (TMS). En este protocolo la pantalla donde se dibuja un mapa es dividido en celdas llamadas tiles y cada tile se identifica por su posición (x,y). El número de tiles depende del nivel de zoom, mientras más cerca hay más tiles. Este protocolo recibe un url de la siguiente estructura: *url/id capa/zoom/x/y*

En principio, también se pueden mostrar imágenes RGB y en el caso de las multibandas se podría crear una pseudo-rgb o mostrar solo una banda, pero eso aún hay que probarlo.

Además en principio también debe funcionar para otros formatos similares a geotiff como geo-jpg, geo-png, el formato NETCDF es un caso aparte ya que este formato puede guardar muchos arreglos de diferentes dimensiones de forma arbitraria por lo que visualizar este tipo de archivos es muy complicado

Entonces el servidor, obtiene la capa y dependiendo del nivel de zoom y el tile (x,y), genera una imagen que se envía al cliente. De esta forma un cliente como OpenLayers hace las peticiones TMS al servidor y coloca los tiles dando como resultado la capa. Cada vez que el usuario cambia el nivel de zoom o mueve la posición del mapa, se realizan nuevos requerimientos.

Discusión

Para este componente, aún falta definir el modelo de base de datos, pero ya se tiene probadas algunas funciones como la visualización y el almacenamiento en el sistema de archivos. Además se debe implementar algo para optimizar el TMS, se puede tener una caché en memoria que guarde los tiles renderizados previamente o se podría crear la pirámide de imágenes cuando se suba la capa.

Datos de movilidad

/* Incluir estado actual de la campaña de movilidad, explicación de connect e integración con nuestra plataforma */

/*Lo que está escrito a continuación debe ser mejorado*/

Se realizará una campaña para recolectar datos de movilidad de voluntarios. Los voluntarios deben instalar la aplicación Connect, la cual permite a los usuarios registrar rutas. Básicamente, el usuario ingresa el medio de transporte que usará y el propósito del viaje, ver Figura 10. La aplicación registra las posiciones geográficas del usuario durante el viaje y envía los datos a MOVE, la cual es una plataforma que se encargará de procesar las posiciones. El procesamiento incluye alinear los puntos a las calles, calcular la distancia total, entre otras operaciones, cuyo resultado final es una ruta. Al final de la campaña se tendrá un conjunto de rutas de todos los voluntarios.

Estos datos van a ser usados para posteriormente identificar patrones de movilidad.

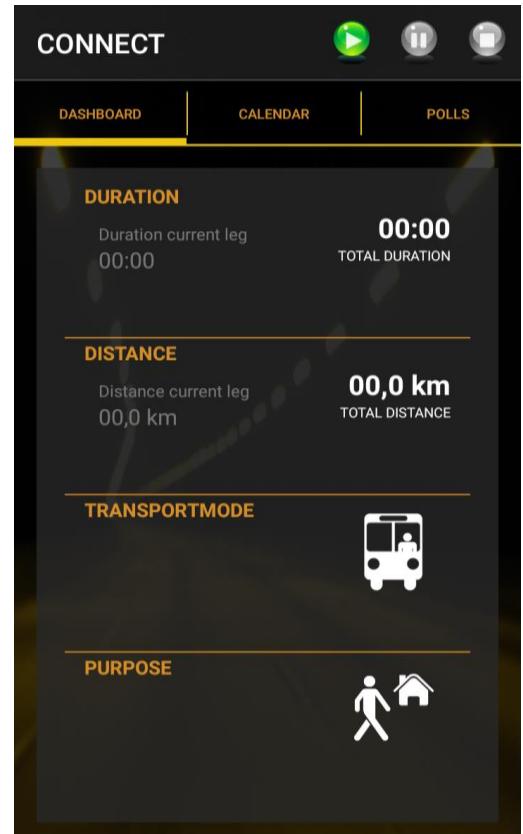


Figura 7.10 Aplicación Connect

Referencias

- Documentación Django
<https://docs.djangoproject.com/en/1.8/>
- Documentación Postgis
<http://postgis.refractions.net/documentation/manual-1.3/ch01.html>
- Libro
<https://doc.lagout.org/programmation/python/Python%20Geospatial%20Development%2C%202nd%20Edition.pdf>
- Documentación TimeScaleDB
<https://docs.timescale.com/v0.9/getting-started>