



**Análisis de Riesgo de la Infraestructura en Puerto Ayora (Galápagos) ante Amenazas  
Naturales, Sismo y Tsunami, para una posible Instalación Técnica de Paneles  
Fotovoltaicos**

Chávez Salazar, Diego Oswaldo

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela PhD

10 de febrero del 2023

## Herramienta de similitud de contenido

### Originality report

---

COURSE NAME  
REVISION TESIS

STUDENT NAME  
DIEGO OSWALDO CHAVEZ SALAZAR

FILE NAME  
DIEGO OSWALDO CHAVEZ SALAZAR - TESIS.GoogleDocs

REPORT CREATED  
Feb 15, 2023




---

### Summary

Flagged passages	8	0.4%
Cited/quoted passages	4	0.4%

#### Web matches

e pn.edu.ec	6	0.5%
gobiernogalapagos.gob.ec	1	0.1%
gettyimages.es	2	0.1%
gruposolinc.com	1	0.1%
researchgate.net	1	0%
mongabay.com	1	0%

---



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación, **“Análisis de Riesgo de la Infraestructura en Puerto Ayora (Galápagos) ante Amenazas Naturales, Sismo y Tsunami, para una posible instalación Técnica de Paneles Fotovoltaicos”**, fue realizado por el señor **Chávez Salazar, Diego Oswaldo**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 10 de febrero de 2023**



---

**Ing. Haro Báez, Ana Gabriela PhD**

C. C. 1713500302



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Chávez Salazar, Diego Oswaldo**, con cédula de identidad n° 1717226656, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis de Riesgo de la Infraestructura en Puerto Ayora (Galápagos) ante Amenazas Naturales, Sismo y Tsunami, para una posible Instalación Técnica de Paneles Fotovoltaicos”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 10 de febrero de 2023**

---

**Chávez Salazar,  
Diego Oswaldo  
C. C.1717226656**



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Chávez Salazar, Diego Oswaldo**, con cédula de identidad n° 1717226656, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis de Riesgo de la Infraestructura en Puerto Ayora (Galápagos) ante Amenazas Naturales, Sismo y Tsunami, para una posible Instalación Técnica de Paneles Fotovoltaicos”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 10 de febrero de 2023**

---

**Chávez Salazar,  
Diego Oswaldo**  
C. C.1717226656

## Dedicatoria

A nuestro señor Dios por estar siempre junto a mi lado y no desamparar a toda mi familia quienes estuvieron en todo este tiempo apoyándome y dándome aliento para poder culminar con una etapa que quedó pendiente en mi vida, acompañándome día a día motivándome con todo su amor y cariño.

A mis padres Hugo y Dorita los cuales nunca perdieron la fe en mí y a pesar de los altibajos que hemos atravesado, siempre estuvieron ahí apoyando, guiando y recordando que, con la perseverancia y el empeño, se puede llegar a alcanzar todas las metas que uno se propone en la vida. En especial a mi madre, quien a lo largo de todo este proceso me apoyó sentimental y económicamente para poder vivir sin ninguna necesidad.

A mi señora Katherine quien siempre estuvo pendiente de nuestras hijas, las cuales son la alegría de nuestra casa y el motor de nuestra vida, dándoles todo el cuidado y cariño necesario.

A mis hijas Sophie y Kate, quienes a pesar de ser tan pequeñas me han demostrado que el estudio es importante en nuestras vidas, dando como ejemplo los mejores lugares que tienen académicamente por ser unas alumnas destacadas y sobresalientes, a más de todo el cariño y apoyo que han demostrado a lo largo de toda su vida.

A todos mis familiares, amigos y compañeros, quienes siempre me han impulsado para que culmine con los estudios que deje pendiente y el cual me han recordado que debería tener, por todo el esfuerzo y logros que he tenido a lo largo de la vida, fruto de todo el conocimiento que he recibido personal, académica y profesionalmente. En especial a mi tía Angelita y tío Miguel Ángel quienes estuvieron ahí impulsando, guiando con todo su amplio conocimiento y experiencia. A mi tutora la Doctora Anita Haro quien con su buena voluntad me ha guiado, apoyado y asesorado sin ningún problema en todo momento para cumplir con el desarrollo de esta investigación.

## **Agradecimiento**

A Dios quien fue el motor de mi vida y me dio toda la fuerza necesaria para poder cumplir con las metas propuestas en mi camino.

A la grandiosa Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, establecimiento el cual ha sido mi segundo hogar y el cual me brindó todos los conocimientos y valores transmitidos por todos los catedráticos de excelencia con los cuales cuenta la institución enseñándome toda la parte técnica.

A mi tutora la Doctora Anita Haro por toda su confianza, enseñanza, tiempo, paciencia y sabiduría impartida para el desarrollo de esta investigación. Y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil de nuestra universidad quienes estuvieron pendientes de cumplir con los sueños de mi persona.

A todas las personas que son importantes y están en mi vida día a día, como mi familia y amigos, los cuales en todo momento me recordaron el camino que debía cumplir para alcanzar mis logros personales y profesionales.

## Índice de contenidos

Herramienta de similitud de contenido .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
Resumen .....	18
Abstract.....	19
Capítulo 1: Generalidades .....	20
Introducción.....	20
Antecedentes .....	21
Localización geográfica .....	23
Planteamiento del problema .....	24
Macro.....	24
Meso.....	25
Micro.....	26
Justificación e importancia.....	27
Objetivos generales y específicos .....	28
Objetivo general.....	28
Objetivos específicos .....	28
Metas .....	29
Hipótesis .....	29
Variables de la investigación .....	30
Variable dependiente .....	30

Variable independiente .....	30
Desarrollo del proyecto.....	30
Capítulo 2: Fundamento Teórico.....	31
Condición solar.....	31
Energía solar a través de sistemas fotovoltaicos .....	32
Sistemas fijados en tejados y edificios. ....	33
Colector solar fotovoltaico térmico híbrido.....	33
Electrificación rural.....	33
Centrales eléctricas. ....	34
Solar flotante.....	34
Sistemas independientes. ....	34
En sistemas de transporte. ....	34
Telecomunicación y señalización.....	34
Aplicación en estaciones espaciales.....	34
Condición geológica .....	34
Definición de riesgo.....	37
Amenaza. ....	37
Vulnerabilidad.....	37
Exposición. ....	37
Susceptibilidad.....	37
Resiliencia. ....	37
Peligro o amenaza sísmica.....	38
Sismos en la región insular.....	38
Peligro o amenaza sísmica relacionada a la geodinámica.....	46
Peligro o amenaza sísmica relacionada con la actividad volcánica .....	47
Peligro o amenaza tsunami .....	48

	10
Origen del tsunami .....	48
Definición run-up .....	51
Tsunamis que han afectado en Ecuador .....	52
Relación de la isla Santa Cruz ante amenaza sísmica o de tsunamis generadas en zonas costeras.....	55
Efectos ocasionados por el sismo de Chile del año 2010.....	55
Efectos ocasionados por la presencia del sismo de Japón en el año 2011 .....	57
Efectos de tsunami en Puerto Ayora .....	59
Pronóstico a largo plazo de tsunami en Puerto Ayora .....	60
Energías sustentables .....	62
Importancia de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos .....	63
Paneles fotovoltaicos.....	63
Países líderes en producción de energía aprovechada del sol .....	66
China: .....	66
Estados Unidos:.....	67
India:.....	69
Japón:.....	70
Alemania:.....	71
Metodología de evaluación de riesgos naturales .....	72
Historia de FEMA 154 .....	76
Tercera edición.....	77
Método FEMA P-154 .....	77
Diseño de sismo resistencia ante el peligro sísmico .....	77
Evaluación de riesgo en edificios.....	79
Generalidades .....	79
Incertidumbre en la evaluación .....	81

Evaluación sísmica del edificio .....	81
Nivel BS1 de investigación. ....	81
Inspección y evaluación visual rápida.....	82
Evaluación de la estabilidad del Sitio (SS).....	83
Nivel SS1 de investigación. ....	83
Fuerzas producidas por tsunami.....	83
Fuerza hidrostática .....	84
Fuerza de empuje o fuerza boyante .....	86
Fuerza hidrodinámica .....	87
Fuerza de oleaje.....	87
Fuerza de impacto de escombros.....	88
Fuerza ascendente en pisos elevados.....	88
Simulación Numérica de Tsunami .....	89
Capítulo 3: Caracterización de la Infraestructura.....	90
Población y Ubicación Geográfica .....	90
Poblamiento.....	90
Ubicación Topográfica .....	91
Dinámicas de Movilidad de la Población .....	92
Topografía y reconocimiento de las estructuras. ....	95
Condición topográfica. ....	95
Reconocimiento de las estructuras. ....	95
Criterios de Inclusión .....	95
Criterios de Exclusión .....	96
Técnicas e instrumentos .....	96
Información Catastral de la Infraestructura .....	97
Descripción y evaluación estructural .....	99

Condición socioeconómica .....	99
Caracterización de Puerto Ayora .....	99
Planificación sobre la urbanización del barrio El Mirador .....	103
Uso y Ocupación del Suelo .....	104
Análisis previo.....	104
Ocupación del suelo .....	105
Evaluación de Vulnerabilidad .....	107
Registro de Desastres .....	107
Tsunami.....	108
Sismo.....	109
Espectros para el sismo de Diseño .....	110
Determinación de valores SS y S1 para caracterización sísmica.....	112
Caracterización Geológica de la Isla Santa Cruz.....	115
Geología y Geomorfología.....	116
Evaluación de la exposición ante las amenazas.....	118
Capítulo 4: Metodología y resultados para análisis de riesgo.....	119
Tipo de investigación.....	119
Índice de amenazas naturales.....	119
Grado de exposición.....	121
Índice de vulnerabilidad.....	122
Parámetros para el cálculo del índice de riesgo .....	128
Modelo digital .....	131
Capítulo 5: Propuesta para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos .....	132
Criterio para la ubicación de los paneles fotovoltaicos.....	132
Alternativas de instalación técnica de paneles fotovoltaicos con losas planas.....	134
Superficie de instalación .....	135

Sistema de montaje de los paneles fotovoltaicos .....	135
Estructura de soporte con balasto.....	135
Sistema de anclaje sobre la losa.....	136
Propiedades mecánicas y comportamiento estructural.....	138
Aspectos generales de la estructura .....	138
Cálculos estructurales generales.....	138
Distribución geometría de los paneles fotovoltaicos con estructura de balasto .....	138
Consideraciones generales para evitar la sombra.....	139
Distribución geometría de paneles anclados sobre losa .....	141
Conclusiones .....	143
Recomendaciones .....	145
Bibliografía.....	147
Apéndices .....	152

### Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Coordenadas isla Santa Cruz (WGS-84)</i> .....	23
<b>Tabla 2</b> <i>Intensidad histórica máxima en cada provincia (Escala MSK)</i> .....	39
<b>Tabla 3</b> <i>Ubicación sismos Galápagos comprendido entre el año 1900 hasta la actualidad</i> .....	40
<b>Tabla 4</b> <i>Registro de Tsunamis que han afectado a Ecuador</i> .....	53
<b>Tabla 5</b> <i>Registro mareográfico Puerto Ayora- Isla Santa Cruz</i> .....	57
<b>Tabla 6</b> <i>Cuadro crecimiento poblacional</i> .....	93
<b>Tabla 8</b> <i>Período vs. respuesta de aceleración espectral</i> .....	112
<b>Tabla 9</b> <i>Determinación para un MCE (fuente ASCE/SEI 41-13)</i> .....	114
<b>Tabla 10</b> <i>Tipología infraestructura Puerto Ayora</i> .....	123
<b>Tabla 11</b> <i>Resultados vulnerabilidad de muestra de catastros clasificado por tipo de materiales de Puerto Ayora</i> .....	124
<b>Tabla 12</b> <i>Resultados vulnerabilidad de muestra de catastros Puerto Ayora</i> .....	125
<b>Tabla 13</b> <i>Resumen análisis vulnerabilidad infraestructura Puerto Ayora</i> .....	126
<b>Tabla 14</b> <i>Resumen índice de riesgo infraestructura Puerto Ayora</i> .....	129

### Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación general isla Santa Cruz- Galápagos</i> .....	234
<b>Figura 2</b> <i>Ubicación de Puerto Ayora- Isla Santa Cruz</i> .....	24
<b>Figura 3</b> <i>Registro mareográfico del tsunami de Japón, marzo 2011, en Puerto Ayora- Isla Santa Cruz y Puerto Seymour- Isla Baltra</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Irradiación solar Puerto Ayora</i> .....	31
<b>Figura 5</b> <i>Gráfica de irradiación solar Santa Cruz</i> .....	32
<b>Figura 6</b> <i>Representación del aprovechamiento de la energía solar</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Formación de volcanes por punto caliente</i> .....	35

<b>Figura 8</b> Mapa batimétrico de la zona de estudio .....	36
<b>Figura 9</b> Ubicación sismos Galápagos comprendido entre el año 1900 hasta la actualidad .....	40
<b>Figura 10</b> Plataforma de Galápagos con representación del arreglo tectónico regional y el movimiento de las placas.....	46
<b>Figura 11</b> Entorno geodinámico de Ecuador, las Islas Galápagos y la cresta Carnegie .....	47
<b>Figura 12</b> Diagrama de bloque que indica la estructura de la litósfera y corteza de la plataforma Galápagos.....	48
<b>Figura 13</b> Proceso de origen de un tsunami en las costas por interacción de las placas.....	49
<b>Figura 14</b> Representación del acercamiento del tsunami .....	50
<b>Figura 15</b> Efecto del tsunami en la costa (Run- up), ITIC 2009. ....	52
<b>Figura 16</b> Mapa de propagación del tsunami chileno del 27 de febrero de 2010 .....	56
<b>Figura 17</b> Representación del run- up (izquierda) vs. longitud de inundación (derecha)- Isla Santa Cruz.....	58
<b>Figura 18</b> Representación del punto de mayor inundación .....	59
<b>Figura 19</b> Máxima inundación .....	60
<b>Figura 20</b> Pronóstico de tsunami a largo plazo para Puerto Ayora. ....	61
<b>Figura 21</b> Inundación máxima a partir de un posible tsunami de 8.5 Mw sobre el Pacífico.....	62
<b>Figura 22</b> Importancia del aprovechamiento de energía solar .....	63
<b>Figura 23</b> Panel.....	64
<b>Figura 24</b> Módulo monocristalino y policristalino respectivamente.....	65
<b>Figura 25</b> Planta solar flotante.....	67
<b>Figura 26</b> Producción de energía solar en San Diego- California .....	68
<b>Figura 27</b> Paneles fotovoltaicos instalados en Hawái.....	68
<b>Figura 28</b> Parque solar 'Shakti Sthala' en la India .....	69

<b>Figura 29</b> <i>Miyako Mirai Energy instaló módulos solares y EcoCutes sin cargo (el equipo es propiedad de terceros) en 10 complejos de viviendas públicas en Shimojiuechi y vende la electricidad generada a los residentes.</i> .....	71
<b>Figura 30</b> <i>Instalaciones fotovoltaicas en viviendas de Alemania</i> .....	72
<b>Figura 31</b> <i>Vista general en Puerto Ayora, isla Santa Cruz- Galápagos.</i> .....	75
<b>Figura 32</b> <i>Vista general en Puerto Ayora con paneles fotovoltaicos, isla Santa Cruz- Galápagos</i> .....	75
<b>Figura 33</b> <i>Ejemplo formulario FEMA P-154</i> .....	76
<b>Figura 34</b> <i>Edificios sismo resistente</i> .....	78
<b>Figura 35</b> <i>Cadena de riesgo</i> .....	80
<b>Figura 36</b> <i>Diferencias de fuerzas en base a diferente normativa</i> .....	84
<b>Figura 37</b> <i>Representación de la fuerza hidrostática</i> .....	85
<b>Figura 38</b> <i>Intervención de la fuerza <math>F_b</math></i> .....	86
<b>Figura 39</b> <i>Esquema de la influencia hidrodinámica</i> .....	87
<b>Figura 40</b> <i>Poblamiento Santa Cruz</i> .....	91
<b>Figura 41</b> <i>Límite cantonal Santa Cruz</i> .....	92
<b>Figura 42</b> <i>Crecimiento de habitantes en Santa Cruz</i> .....	93
<b>Figura 43</b> <i>Influencia catastral de amenaza tsunamigénica categorizado por barrios en Puerto Ayora</i> .....	98
<b>Figura 44</b> <i>Proceso consolidación Puerto Ayora</i> .....	100
<b>Figura 45</b> <i>Ocupación de los lotes de Puerto Ayora</i> .....	102
<b>Figura 46</b> <i>Vista panorámica de El Mirador</i> .....	103
<b>Figura 47</b> <i>Mapa con ubicación de predios de Puerto Ayora sin considerar El Mirador</i> .....	105
<b>Figura 48</b> <i>Porcentaje catastro urbano año 2011</i> .....	106
<b>Figura 49</b> <i>Evolución del crecimiento urbano de El Mirador</i> .....	107
<b>Figura 50</b> <i>Rutas de evacuación y zonas seguras de Puerto Ayora, Galápagos</i> .....	108

<b>Figura 51</b> <i>Zonas sísmicas</i> .....	110
<b>Figura 52</b> <i>Espectro sísmico elástico</i> .....	111
<b>Figura 53</b> <i>Espectro del sismo máximo considerado</i> .....	114
<b>Figura 54</b> <i>Figura compuesta que muestra la ubicación de la isla Santa Cruz y algunas de sus características geológicas</i> .....	115
<b>Figura 55</b> <i>Mapa de amenaza sísmica de Puerto Ayora- Isla Santa Cruz</i> .....	120
<b>Figura 56</b> <i>Mapa de amenaza de tsunami en Puerto Ayora- Isla Santa Cruz</i> .....	121
<b>Figura 57</b> <i>Mapa de exposición de Puerto Ayora- Isla Santa Cruz</i> .....	122
<b>Figura 58</b> <i>Grafica representación tipología infraestructura Puerto Ayora</i> .....	123
<b>Figura 59</b> <i>Gráfica representación tipología infraestructura clasificado por tipo de materiales Puerto Ayora</i> .....	125
<b>Figura 60</b> <i>Gráfica representativa de la vulnerabilidad de la infraestructura de Puerto Ayora</i> ..	126
<b>Figura 61</b> <i>Mapa de vulnerabilidad sísmica cuantitativa de la infraestructura de Puerto Ayora</i>	127
<b>Figura 62</b> <i>Mapa de vulnerabilidad sísmica cualitativa de la infraestructura de Puerto Ayora</i> ..	128
<b>Figura 63</b> <i>Gráfica representativa de índice de riesgo en la infraestructura de Puerto Ayora</i> ...	130
<b>Figura 64</b> <i>Mapa con índice de riesgo sísmico en Puerto Ayora</i> .....	130
<b>Figura 65</b> <i>Mapa con índice de riesgo sísmico y tsunami en Puerto Ayora</i> .....	131
<b>Figura 66</b> <i>Soporte de balasto para el panel fotovoltaico</i> .....	136
<b>Figura 67</b> <i>Dimensiones e inclinación - Sistema de montaje de anclaje sobre losa</i> .....	137
<b>Figura 68</b> <i>Representación para la colocación de paneles solares sobre el sistema de montaje sobre losa</i> .....	137
<b>Figura 69</b> <i>Mínima distancia para evitar sombras entre los paneles</i> .....	140
<b>Figura 70</b> <i>Mínima distancia entre el antepecho y panel para evitar sombras</i> .....	140
<b>Figura 71</b> <i>Distancia de la sombra generada entre el antepecho y el panel en sistema anclado sobre losa</i> .....	141
<b>Figura 72</b> <i>Distancia de sombra entre paneles adyacentes con sistema anclado sobre losa</i> ...	142

## Resumen

La parroquia de Puerto Ayora está ubicada dentro de las Islas Galápagos las cuales poseen una biodiversidad rica en flora y fauna única en el planeta, por su condición geográfica y su protección ambiental, estas Islas deben optar por el uso de energías limpias para reducir en gran parte el consumo de los derivados de petróleo como fuente de energía, sin dejar de lado las amenazas naturales como sismo y tsunami que pueden afectar directamente a su población y se abordaran con mayor detalle en este estudio para poder reducir su riesgo.

Esta investigación propone identificar y calcular los componentes que forman parte del riesgo presente en la isla como la amenaza (sísmica y tsunami), su grado de exposición y la vulnerabilidad de la infraestructura de Puerto Ayora, aplicando metodología nacional e internacional para proponer criterios técnicos para la instalación de paneles fotovoltaicos.

Se procede a utilizar mapas e información de entidades del estado, información proveniente de Plan de Desarrollo y Ordenamiento (PDOT), Software para Geoprocesos y recorridos virtuales, la información catastral proporcionada por el Gobierno autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz (GADM), para poder desarrollar técnicas internacionales que nos darán un índice de riesgo y la tipología estructural que predomina en las Islas. Finalmente se presenta mapas elaborados con la ayuda de software óptimo en el campo de los Sistemas de Información Geográfica y Geoprocesos, a más de criterios técnicos para proveer a la infraestructura de paneles solares.

*Palabras Claves:* riesgo y sus componentes, amenazas naturales de sismo y tsunami, vulnerabilidad, paneles fotovoltaicos.

### **Abstract**

The parish of Puerto Ayora is located within the Galapagos Islands which have a rich biodiversity in flora and fauna unique on the planet, due to its geographical condition and its environmental protection, these Islands must opt for the use of clean energy to greatly reduce part of the consumption of petroleum derivatives as a source of energy, without neglecting natural hazards such as earthquakes and tsunamis that can directly affect its population and will be addressed in greater detail in this study in order to reduce their risk.

This research proposes to identify and calculate the components that are part of the risk present on the island such as the threat (seismic and tsunami), its degree of exposure and the vulnerability of the infrastructure of Puerto Ayora, applying national and international methodology to propose technical criteria for the installation of photovoltaic panels.

We proceed to use maps and information from state entities, information from the Development and Ordinance Plan (PDOT), Software for Geoprocesses and virtual tours, cadastral information provided by the Autonomous Decentralized Municipal Government of Santa Cruz (GADM), in order to develop international techniques that will give us a risk index and the structural typology that predominates in the Islands. Finally, maps prepared with the help of optimal software in the field of Geographic Information Systems and Geoprocesses are presented, in addition to technical criteria to provide the infrastructure of solar panels.

*Keyword:* risk and its components, natural earthquake and tsunami hazards, vulnerability, photovoltaic panels.

## Capítulo 1: Generalidades

### Introducción

En este proyecto se analizará el riesgo en función las amenazas naturales (sismo y tsunami) presentes en Puerto Ayora ubicada en la Isla Santa Cruz dentro del Archipiélago de Galápagos, con su tiempo de exposición, grado de vulnerabilidad, a fin de describir las zonas o estructuras que podrán ser óptimas para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos, fomentado así, el uso de energías limpias que ayuden al medio ambiente y reduzcan la emisión de gases contaminantes que afectan la flora y fauna de las Islas Galápagos. Estos diseños deberán ser aprobados y cumplir con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción y exigencias del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, ASCE 7-16 a más de normativas y guías Internacionales.

Para evaluar las amenazas de sismo y tsunami presentes en la Isla, se recopiló la información bibliográfica correspondiente junto con imágenes satelitales aéreas, plan de ordenamiento territorial (PDOT) y su actividad histórica. Con la finalidad de elaborar una guía técnica con un plan de acción y propuestas para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos.

Se identificará como las amenazas podrán estar presentes en la Isla, con el grado de exposición con el que podrán influir sobre las estructuras en análisis, a través de mapas que contienen la superficie que podrían afectar en la zona de estudio.

Se obtendrá el índice de vulnerabilidad de la infraestructura de Puerto Ayora, a través de la aplicación de métodos internacionales, que analizan de acuerdo con el tipo de estructura (materiales constructivos, configuración estructural y año constructivo), para entregar resultados que se plasmarán en mapas de vulnerabilidad.

Calcularemos el índice de riesgo presente en la Isla en función de las amenazas naturales y demás factores que influyen en este estudio para generar los mapas correspondientes.

Finalmente, una vez categorizado por tipo de estructura, se presentará una propuesta técnica para instalar paneles fotovoltaicos en la infraestructura que predomina con mayor número en Puerto Ayora.

### **Antecedentes**

Este estudio se realiza con la finalidad de conocer el nivel de peligro o amenaza, vulnerabilidad y exposición existente de Puerto Ayora en la región insular para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos, para lo cual se considerará el incremento poblacional existente y la menor afectación ambiental para la naturaleza.

Dentro de las Islas Encantadas existe una tasa alta de riesgo originados por desastres naturales tales como: tsunamis, inundaciones por acontecimientos extremos como el fenómeno de El Niño, sequías (fenómeno de La Niña), erupciones volcánicas fenómenos naturales que por su condición activa fueron las que dieron origen de las islas, la sismicidad y volcanismo que existe al encontrarse cercano al Cinturón de Fuego del Pacífico. En este estudio se analizará a mayor detalle el peligro sísmico y de tsunamis.

Debido a la presencia de estas amenazas, debemos conocer que existen algunos estudios y simulaciones que plantean escenarios con sismos (magnitud de 8 a 9 grados) y tsunamis que podrían originarse en la Costa Ecuatoriana, considerando éste el escenario más cercano a la isla, provocando que la población pueda ser evacuada en un lapso menor a 1 hora y 30 minutos (GADM Santa Cruz, 2020).

Desde el año 2004 en los Estados Unidos, FEMA ha desarrollado proyectos de recopilación de información sobre la fuerza de los tsunamis, para recomendar criterios de

diseño para la evacuación vertical de las estructuras ante los tsunamis (FEMA P-646, 2008). La segunda edición publicada en 2012 planteó lineamientos (Morales Topón, 2021). Actualmente se encuentra vigente la tercera edición publicada en agosto 2019.

Las Islas Galápagos se encuentran muy cercanas al Cinturón de Fuego del Pacífico y Ecuador prácticamente dentro de éste, convirtiéndolas en áreas con alta actividad sísmica. Como ejemplo de estos sucesos tenemos el terremoto de 1906 ocurrido en la frontera de Colombia que tuvo una magnitud de 8,8 Mw, el terremoto de Bahía de Caráquez con una magnitud de 7,1 Mw y el reciente terremoto de abril de 2016 con una magnitud de 7,8 Mw (Quinde & Reinoso, 2016). Mostrando los problemas constructivos de la Infraestructura de nuestro país, normativas antiguas con exigencias muy deficientes y la falta de aplicación de la normativa vigente de Ecuador que contempla criterios de diseño sismo resistente para estructuras convencionales (Morales Topón, 2021), pero a pesar de existir esta normativa que considera varias amenazas naturales, no contempla capítulos para la instalación de paneles fotovoltaicos en función del análisis de amenazas naturales tales como sismo y tsunami.

Este estudio toma como punto de partida la American Society of Civil Engineers- ASCE, el Federal Emergency Management Agency- FEMA, correspondiente a normas internacionales y la Norma Ecuatoriana de la Construcción- NEC-15 vigente en nuestro país, para identificar los riesgos que podrían generarse en función de las amenazas naturales, para considerar la posibilidad de instalar sistemas fotovoltaicos autónomos, instalados sobre la infraestructura urbana.

Los numerosos impactos ambientales suscitados a nivel mundial han impulsado el uso de fuentes de energía limpias y renovables, aunque estas actualmente representan sólo una pequeña fracción del consumo total de energía en la mayoría de los países; las fuentes de energía como la solar y eólica constituyen el futuro de energías renovables más grandes del mundo (Sánchez, 2012).

Ecuador espera aumentar el uso de sistemas fotovoltaicos, incentivando a las personas que exigen grandes cantidades de energía, a colocar paneles fotovoltaicos en sus hogares o negocios (ARCONEL, 2019). Sin embargo, los códigos y normas de construcción de Ecuador carecen de parámetros y procedimientos para evaluar la presencia de las fuerzas sísmicas actuando sobre el sistema de paneles solares instalados sobre las estructuras. Por lo que, para colocar dicho panel, el interesado debe contar con varias consideraciones como un espacio abierto (terraza o jardín), análisis de riesgo previo a la instalación, estudio estructural y un estudio eléctrico. Sin embargo, todos esos criterios no se tienen en cuenta al instalar este tipo de panel (Cano Usiña & Dávila Revelo, 2021).

### **Localización geográfica**

El estudio propuesto se ubica en la región Insular dentro de la Isla Santa Cruz (Puerto Ayora) del archipiélago de Galápagos, limitando al sur con la dorsal Nazca- Cocos y al este del Océano Pacífico. Las coordenadas constan en la Tabla 1 y se observa la ubicación general en la Figura 1 y 2 satelital.

**Tabla 1**

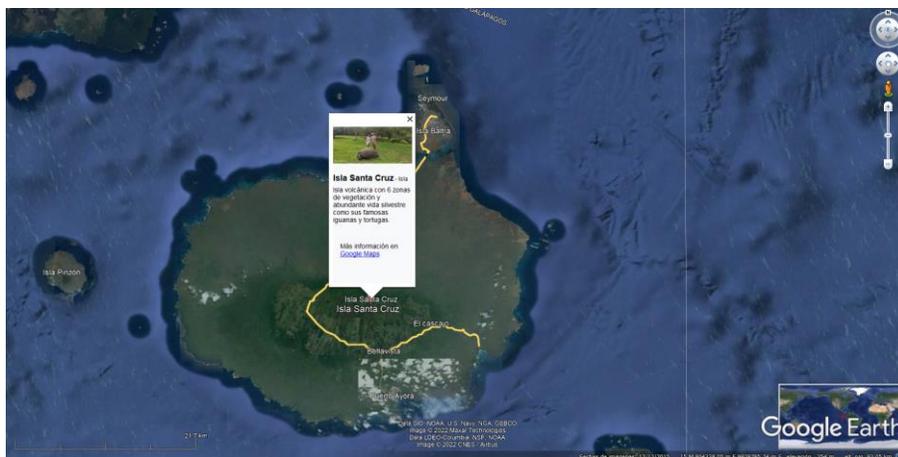
*Coordenadas de la isla Santa Cruz (WGS-84)*

<b>Descripción</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Norte</b>
<b>Isla Santa Cruz (15M)</b>	795.996,09 m E	9'929.188,15 m S
<b>Puerto Ayora</b>	798.242,30 m E	9'917.615,12 m S

*Nota.* Datos tomados de Google Earth (2022).

## Figura 1

### Ubicación general isla Santa Cruz- Galápagos



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

## Figura 2

### Ubicación de Puerto Ayora- Isla Santa Cruz



Nota. Tomado de Google Earth (2022).

## Planteamiento del problema

### Macro

La crisis energética mundialmente se ha convertido en un increíble inconveniente, como ejemplo se tiene un incremento en los altos precios de la energía eléctrica. Es por esta razón

que desde hace un tiempo se ha previsto buscar alternativas que contribuyan a la reducción de esos costos y no tengan afectación en la parte ambiental. Las alternativas para el uso de estas fuentes de energía pueden darse en dos formas. Una forma es mediante el uso eficiente de la electricidad y los dispositivos electrónicos, esto se logra implementando medidas de ahorro de sus costos, como apagar las luces que no se usan, apagar los aparatos eléctricos cuando no se usan y más. La segunda forma es aprovechar las fuentes de energía natural como la solar, eólica, mareomotriz y geotérmica para producir energía eléctrica (Garrido, 2009).

Las Islas Galápagos están expuestas a muchas amenazas naturales como sismo o tsunami, las cuales han tenido presencia y afectación en las mismas, un claro ejemplo de esto es el terremoto ocurrido en Tokio en el año 2011, el cual ha sido categorizado como el cuarto evento sísmico más fuerte en la historia a nivel mundial, lo que nos recuerda día a día que debemos implementar estructuras que tengan la capacidad de reducir el riesgo al tener una vulnerabilidad baja y tratando de disminuir la exposición a estas amenazas al momento de considerar lugares en donde se puedan implementar para que estas afecten en menor grado.

### **Meso**

La Convención de Kyoto tuvo lugar en diciembre de 1997. Esta fue una conferencia de las Naciones Unidas en el que trataron puntos relevantes sobre el cambio climático, atrayendo a 160 países que acordaron trabajar para reducir la cantidad de dióxido de carbono y otros gases que producen el efecto invernadero y son liberados al medio ambiente. Varios países industrializados tomaron esto como un compromiso muy serio y hacerlo en el menor tiempo posible (Garrido, 2009).

Según el Plan Maestro de Electrificación de nuestro país comprendido entre los años 2009 hasta 2020, indica que, de los 521 millones de dólares presupuestados para proyectos de energías renovables, solo el 1,91% se utilizó en los últimos 10 años. Esto se logró mediante el uso del Fondo de Electrificación Urbano- Marginal a partir del año 2008, fecha en la cual había

aproximadamente 2,42 megavatios de capacidad eléctrica instalada que incluía generadores eólicos y fotovoltaicos. Sin embargo, solo 132 kilovatios provenían de paneles solares (Villacrés Cañizares & Suárez Toscano, 2011).

En las Islas Galápagos se producen diariamente cientos de sismos, algunos imperceptibles, así como otros muy fuertes que se originan por la condición volcánica de la isla o la cercanía al Cinturón de Fuego. En algunos casos estos sismos pueden presentarse con una magnitud muy alta en el lecho marino pudiendo llegar a desencadenarse en forma de tsunamis, por esta razón analizaremos y estudiaremos el índice de estas amenazas naturales con la finalidad de reducir los riesgos presentes en la Isla Santa Cruz.

### ***Micro***

Las Islas Galápagos están trabajando en la utilización de energías limpias y amigables con el ambiente como una opción de solución para la polución ambiental y la escasa cantidad de refinados del petróleo en el mercado o sus altos precios de su producción que afecta a largo plazo. Se ha propuesto la implementación de la instalación de energía fotovoltaica, para lo cual en este proyecto se busca evitar zonas de riesgo para la instalación de dichas estructuras.

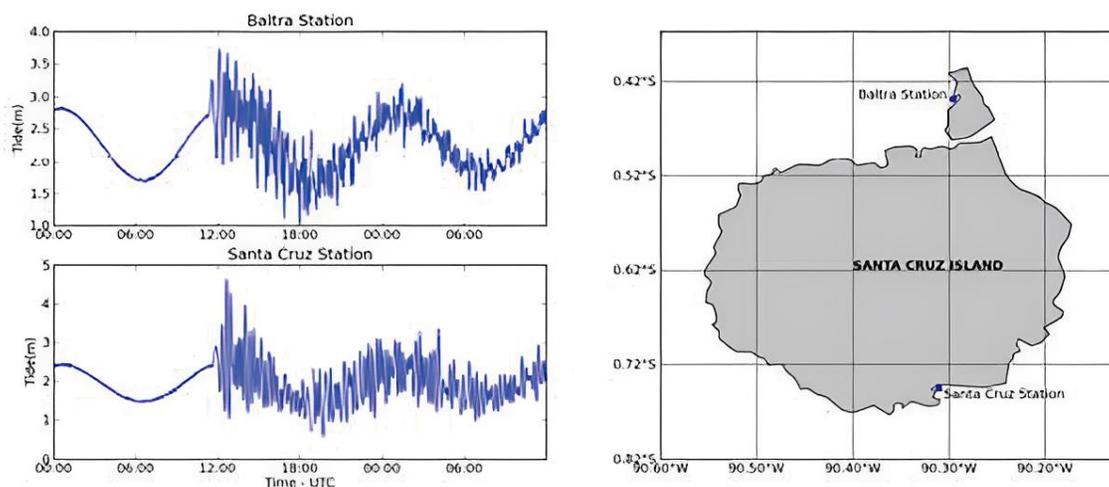
Debido a su ubicación geográfica, las Islas Galápagos son extremadamente vulnerables a riesgos como sismos y tsunamis que se originan en las profundidades del Océano Pacífico o sobre la interacción de las placas tectónicas. Por lo cual, aunque no hay fuentes notables sísmicas y de tsunamis cercana de las islas, su posición geográfica implica que se encuentra en el camino por el cual transitan los tsunamis que atraviesan por el océano (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013).

Nuestra zona de estudio no está tan expuesta como la costa ecuatoriana, que tiene placas tectónicas que interactúan y generan movimientos de subducción a pocos kilómetros de distancia. En el caso de Galápagos, al tener una configuración libre de obstáculos en todas las

direcciones de su zona costera, expone a su población a diversas amenazas tsunamigénicas provenientes diferentes lugares. Por lo cual debemos estar preparados ante cualquier tipo de amenaza que se pueda presentarse sobre las Islas, así como los tsunamis ocurridos el 28 de febrero de 2010 y 11 de marzo de 2011, como se muestra en la Figura 3, producidos por sismos de magnitud 8.8 y 9.0 respectivamente, en la escala de momento sísmico (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013), por esta razón deberíamos identificar muy bien todos los lugares vulnerables ya sea con mapas de riesgo generados u obtenidos a partir de la información existente para la colocación de estructuras que generen energía renovable, amigable con el ecosistema y que no sufra daños o fallas.

### Figura 3

*Registro mareográfico del tsunami de Japón, marzo 2011, en Puerto Ayora- Isla Santa Cruz y Puerto Seymour- Isla Baltra.*



*Nota.* Pronóstico de tsunamis para las Islas Galápagos recuperado de Rentería, W. (2013).

### Justificación e importancia

Las islas Galápagos están consideradas como patrimonio mundial de la UNESCO (1978) y albergan un gran número de especies únicas y endémicas. Sin embargo, por la presencia de la actividad humana la cual cambia radicalmente este ambiente y pone en peligro

de extinción a sus especies y vegetación única en su tipo. Paralelamente, la población fija (colonos) y flotantes (turismo) en Galápagos aumenta de manera exponencial en las últimas décadas.

Se considera la intensa actividad volcánica del archipiélago de Galápagos a más de sismos y tsunamis que se generan en la isla y en sus alrededores, por lo cual es importante llevar a cabo una evaluación de las amenazas indicadas anteriormente para determinar su probabilidad de incidencia en poblaciones, infraestructuras o zonas sensibles, para la evaluación y mitigación del riesgo para una propuesta técnica y apropiada para la instalación de sistemas fotovoltaicos sobre la infraestructura de Puerto Ayora.

La utilización de energías limpias contribuye al ahorro de consumo energético mejorando la economía del hogar y ayuda a la disminución del efecto invernadero de la atmósfera, el cual afecta drásticamente a la variación climática a nivel local y mundial.

## **Objetivos generales y específicos**

### ***Objetivo general***

Analizar el riesgo de la infraestructura de Puerto Ayora ante las amenazas naturales de sismo y tsunami en la Isla Santa Cruz, para generar una propuesta para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos.

### ***Objetivos específicos***

Recopilar la información bibliográfica disponible proveniente de la Isla Santa Cruz en especial en Puerto Ayora (Topografía, Cartografía, Mapas sísmicos, Mapas de Inundación y otros).

Identificar todas las amenazas naturales (Sísmico y Tsunami), para evitar que la infraestructura existente y futura sufra daños.

Analizar la exposición del poblado y la vulnerabilidad de la infraestructura ante el peligro o amenaza (Sísmico y Tsunami).

Evaluar, caracterizar y cuantificar las amenazas naturales (Sísmico y Tsunami). para disminuir los riesgos de la isla para la implementación de paneles fotovoltaicos.

Elaborar un plan de acción y una guía de implementación para la instalación técnica de sistemas fotovoltaicos.

### **Metas**

Identificar todas las estructuras existentes vulnerables en Puerto Ayora.

Determinar propuestas para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos, para evitar las zonas de riesgo.

Evaluar el grado de peligro al que se encuentra expuesto el poblado para disminuir los riesgos.

Categorizar la infraestructura para escoger zonas adecuadas para la instalación de paneles solares.

Realizar una guía para la implementación técnica de paneles fotovoltaicos.

Fomentar el uso de energías limpias que contribuyan al ecosistema y medio ambiente.

### **Hipótesis**

Las propuestas para instalación técnica de paneles fotovoltaicos contribuirán para el cambio a energía solar, por lo cual la afectación será mínima o nula, ante cualquier amenaza producida por los efectos naturales y su costo- beneficio será moderado.

## **Variables de la investigación**

### ***Variable dependiente***

Índice de amenazas naturales.

Grado de exposición.

Índice de vulnerabilidad.

Índice de riesgo.

### ***Variable independiente***

Estado actual de la Infraestructura existente con su información catastral, el peligro sísmico y de tsunamis que se generan tanto en la isla, así como en sus cercanías.

## **Desarrollo del proyecto**

En este documento se presentan varios capítulos con los cuales se cumplirá con el objetivo de este proyecto, los cuales se encuentran detallados en el capítulo 1 a más del planteamiento del problema, justificación e importancia que promueven el desarrollo de esta investigación; en el capítulo 2 se detalla la base teórica obtenida de la investigación bibliográfica de los conceptos básicos y temática relacionada de gran importancia. En el capítulo 3, se realiza una caracterización de la Infraestructura existente en la Isla Santa Cruz, la cual cuenta con la información topografía, catastral y un reconocimiento de las amenazas naturales, grado de exposición y su vulnerabilidad. En el capítulo 4 se desarrolla una metodología para análisis del riesgo presente en la infraestructura y un modelo digital del área de estudio en base a documentos técnicos obtenidos en base a la Normativa Nacional e Internacional para seguidamente presentar en el capítulo 5 la propuesta y planteamiento técnico para la Instalación de paneles fotovoltaicos. Finalmente, en el capítulo 6 se describirá un análisis de los resultados con sus respectivas conclusiones y recomendaciones del proyecto.

## Capítulo 2: Fundamento Teórico

En el presente capítulo trataremos los fundamentos teóricos los cuales serán la base para el desarrollo de este estudio, partiendo desde la necesidad de utilizar energías sustentables y amigables con el ambiente, análisis de riesgo, peligro o amenaza natural (sismo y tsunami), exposición y vulnerabilidad de la infraestructura.

### Condición solar

Las Islas Galápagos tienen uno de los ecosistemas biológicamente más diversos y frágiles del mundo. La actividad humana amenaza este ecosistema (Moya Cajas & Arroyo, 2015). Se ha evaluado el potencial solar de Santa Cruz y se ha concluido que por la localización privilegiada de esta Isla (cercana a la línea ecuatorial), este lugar permite aprovechar la presencia solar que presenta una irradiación muy alta. Por lo cual nuestra zona de estudio es un potencial lugar para la instalación de paneles fotovoltaicos.

### Figura 4

*Irradiación solar Puerto Ayora*

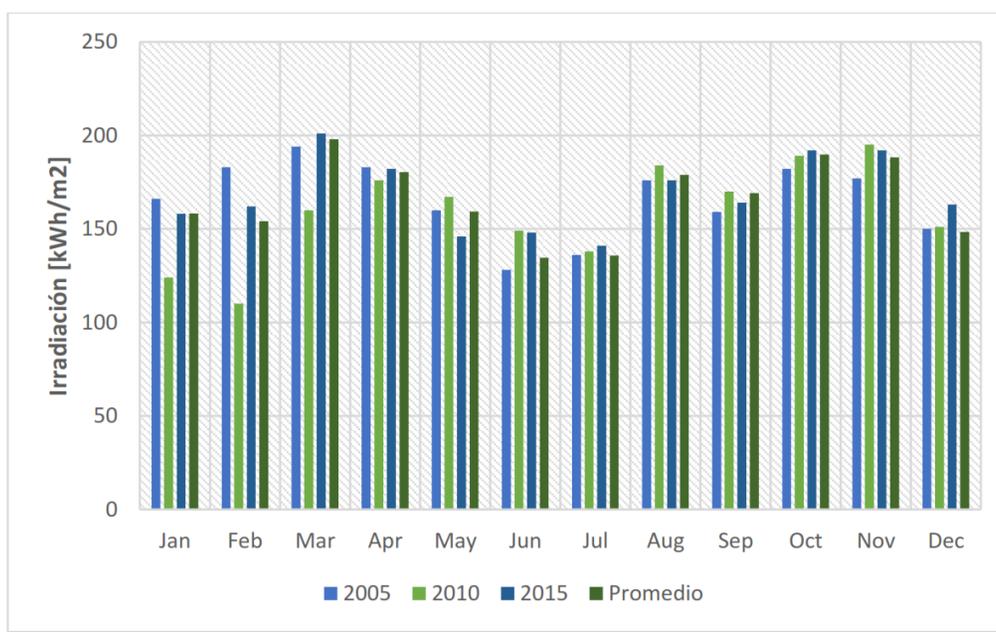
Mes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Prom
Ene	166	160	145	138	158	124	178	185	158	171	158	158
Feb	183	142	176	143	160	110	153	151	154	162	162	154
Mar	194	205	202	179	224	160	208	201	193	210	201	198
Abr	183	194	194	159	197	176	153	169	190	188	182	180
May	160	157	167	152	149	167	169	160	168	157	146	159
Jun	128	129	142	112	113	149	143	146	140	130	148	135
Jul	136	122	143	129	130	138	145	129	150	130	141	136
Ago	176	178	184	161	172	184	193	178	189	176	176	179
Sep	159	184	188	161	181	170	189	105	179	180	164	169
Oct	182	188	178	183	187	189	189	186	208	205	192	190
Nov	177	189	186	184	191	195	186	196	201	174	192	188
Dic	150	145	146	166	116	151	159	140	157	138	163	148
<b>TOTAL</b>	1994	1993	2051	1867	1978	1913	2065	1946	2087	2021	2025	<b>1995</b>

*Nota.* Tomado Moreno, D. (2019).

En la Figura 4 se presentan valores con un registro histórico de Irradiación Global Solar (kW/m<sup>2</sup>) recuperado de la Comisión Europea- Photovoltaic Geographical Information System comprendido entre el año 2005 hasta el año 2015 y se representa la gráfica correspondiente en la Figura 5. Esta información nos permite conocer la energía solar que podrá ser aprovechada con la implementación técnica de los paneles fotovoltaicos (Moreno Bungacho, 2019).

### Figura 5

Gráfica de irradiación solar Santa Cruz



Nota. Tomado de Moreno, D. (2019).

### Energía solar a través de sistemas fotovoltaicos

La energía fotovoltaica se basa en el aprovechamiento de la energía solar o celdas fotovoltaicas con materiales semiconductores cristalinos que, al incidir sobre ellas la luz solar, generan una corriente eléctrica debido al efecto fotoeléctrico. La mayoría de los materiales utilizados en la construcción de estas células solares a nivel mundial se basan en el silicio.

Los sistemas solares pueden instalarse en el suelo, techo, pared o de forma flotante. Estos paneles se pueden colocar con una montura o usar un rastreador solar para seguir el sol en el cielo (Carolyn y otros, 2016). De acuerdo con la ilustración en la Figura 6.

### Figura 6

*Representación del aprovechamiento de la energía solar*



*Nota.* Tomado de Deutsche Welle (www.dw.com). (s. f.). La energía solar. DW.COM.

<https://www.dw.com/es/la-energ%C3%ADa-solar/a-4192524>.

Los principales usos de la aplicación se enumeran a continuación (Hacke y otros, 2009).

**Sistemas fijados en tejados y edificios.** *Los sistemas solares de techo generalmente se adaptan a los edificios existentes y se instalan sobre las paredes de las estructuras de techo existentes o sobre ellas.*

**Colector solar fotovoltaico térmico híbrido.** *La energía solar se recolecta y se utiliza para producir energía térmica y eléctrica a través de estos sistemas.*

**Electrificación rural.** *En áreas rurales se usa este tipo de energía solar, debido a que las líneas eléctricas están lejos de la población.*

**Centrales eléctricas.** *Estas estructuras centrales son plantas de energía solar que proporcionan alta generación de energía.*

**Solar flotante.** *Los sistemas solares flotantes se instalan donde hay poco terreno disponible. En este caso, se encuentran paneles solares flotando sobre el agua como océanos, pantanos, lagos, etc.*

**Sistemas independientes.** *Los ejemplos más comunes y evidentes de estos sistemas son las calculadoras solares o los satélites.*

**En sistemas de transporte.** *Se utiliza con la finalidad de aumentar la potencia motriz.*

**Telecomunicación y señalización;**

**Aplicación en estaciones espaciales.**

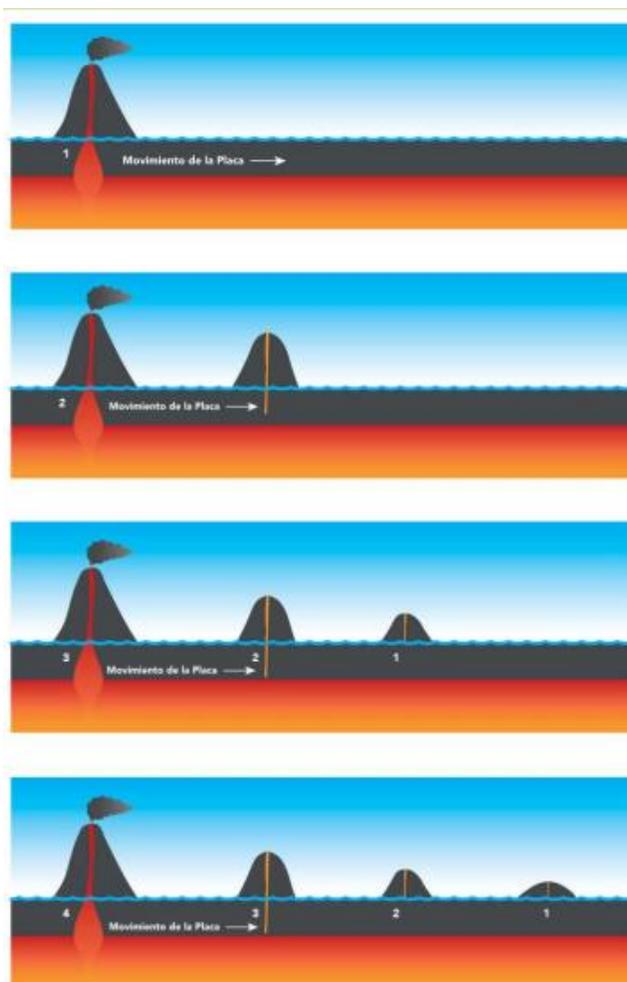
### **Condición geológica**

Las Islas están creadas a partir de la actividad volcánica de puntos calientes los cuales se encuentran debajo de la placa tectónica de Nazca, cerca de las islas Isabela y Fernandina (Jackson, 1985).

Como se observa en la Figura 7, la Placa de Nazca empuja contra la Placa Continental las cuales se encuentran cerca de la superficie terrestre, esta interacción provoca un movimiento en dirección sureste hacia América del Sur. Este proceso hace que los puntos calientes en la superficie formen islas volcánicas que surgieron del fondo submarino. Algunas de las islas más grandes formadas a través de este proceso se fusionaron dando origen a la Plataforma de Galápagos, en consecuencia, el fondo marino en relación con las islas puede tener profundidades que van desde los 200 a los 400 metros en su interior y al exterior alcanzan profundidades comprendidas entre 2000 a 3000 metros (Jackson, 1985).

## Figura 7

*Formación de volcanes por punto caliente.*



*Nota.* Tomado de Puntos calientes y volcanes - Descubriendo Galápagos. (2016).

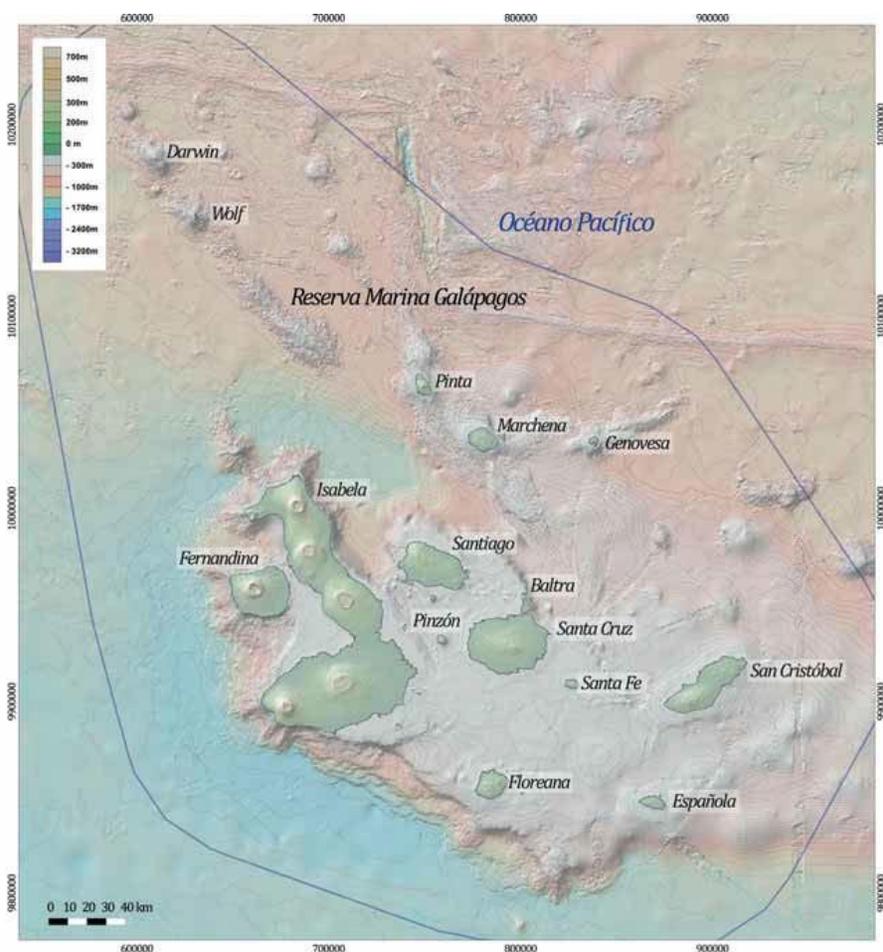
Descubriendo Galápagos. <https://descubriendogalapagos.ec/descubre/procesos-geograficos/ubicacion-formacion/puntos-calientes-volcanes/>.

Las superficies submarinas y terrestres de las islas se presentan en la Figura 8. Este mapa batimétrico muestra que las primeras islas aparecieron hace unos 3 a 5 millones de años, que es la edad de algunas islas ubicadas al sureste del archipiélago. Estas islas son San Cristóbal, Floreana, Santa Fe y Española. Actualmente, las Islas Galápagos son una de las zonas volcánicas más activas de la tierra, muestra de ello son Fernandina e Isabela compuesta

por varios volcanes jóvenes y grandes que se encuentran activos y se formaron hace 300.000 y 700.000 años respectivamente (Geist, 1996). Sin embargo, de lo anterior, (Geist, 1996) resalta que, pese a que la actividad del punto caliente empezó aproximadamente entre 80 a 90 millones de años, no hay registros de otras islas más allá que una isla hundida hace 10 millones de años al este de la isla San Cristóbal.

## Figura 8

*Mapa batimétrico de la zona de estudio*



*Nota.* Recuperado del Parque Nacional Galápagos. Plan de manejo de áreas protegidas de Galápagos para el buen vivir (2014).

## **Definición de riesgo**

La palabra riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un resultado negativo específico junto con la presencia de una o varias amenazas. Cabe destacar que la vulnerabilidad juega un papel importante dentro de esta definición.

**Amenaza.** Esta condición se manifiesta como un fenómeno intenso y a menudo frecuente, pudiendo desencadenar en daños extremos, pérdidas materiales, problemas económicos, afectación social e incluso daño ambiental.

**Vulnerabilidad.** Son características propias del bien que son propensos a daños ocasionados por la amenaza.

**RIESGO = AMENAZA x VULNERABILIDAD**

La exposición, la susceptibilidad y la resiliencia son los términos clave de la vulnerabilidad. Se muestran en la siguiente expresión.

**VULNERABILIDAD = EXPOSICIÓN x SUSCEPTIBILIDAD / RESILIENCIA**

**Exposición.** Es una situación de desventaja por la ubicación o posición del sistema respecto al riesgo.

**Susceptibilidad.** Es el grado de resistencia interna en que el sujeto, objeto o sistema presenta ante las amenazas y puede verse afectado por la ocurrencia de eventos adversos.

**Resiliencia.** Cuando un sistema, comunidad o sociedad se ve amenazada, tiene la capacidad de resistir, adaptarse y recuperarse de los efectos de la amenaza de manera rápida y efectiva. También tiene la capacidad de preservar y restaurar funciones básicas después de que termine la amenaza.

### **Peligro o amenaza sísmica**

Las Islas Galápagos son el segundo lugar del mundo en su tipo con los volcanes más activos después de Hawái. La norma ecuatoriana indica que estas islas están expuestas a zonas sísmicas altas con un valor de 0,3 g (MIDUVI, 2015). Estas islas fueron creadas por procesos volcánicos y se consideran un punto de procesos tectónicos (Filson y otros, 1973). Históricamente, las Islas Galápagos siempre han proporcionado datos sísmicos a las estaciones de monitoreo de todo el mundo. Esto se debió a que las islas son un foco de actividad volcánica y sísmica (Filson y otros, 1973), existieron eventos recientes registrados en centenares de años con una magnitud de 6.3 Mw o mayor (USGS, 2018) (Vizconde Campos & Delgado Suárez, 2018).

En las Islas Galápagos la actividad volcánica activa de Sierra Negra es monitoreado por el Instituto de Geofísica, en busca de los incrementos sísmicos producidos por esfuerzos ocasionados por la interacción del magma que causan fracturas del volcán (IG-EPN, 2017). Estos registros se los realiza ya que en algunos archipiélagos han existido múltiples terremotos registrados, como ha ocurrido cerca del volcán Kilauea en Hawái o el sismo de 1975 en Kalapana. Estas actividades volcánicas han alcanzado una magnitud sísmica de hasta 6,9 Mw y 7,7 Mw respectivamente (Vizconde Campos & Delgado Suárez, 2018).

Existen varios registros relacionados con diversas colisiones entre placas ocurridos en la región, un ejemplo de esta es la ocurrida entre la de Nazca y Cocos, desencadenando un evento sísmico de magnitud de 5.8 Mw ocurrido el 8 de enero de 2018, a 10 kilómetros de profundidad y a unos 200 kilómetros del volcán Sierra Negra al norte de la Isla Isabela (USGS, 2018) (Vizconde Campos & Delgado Suárez, 2018).

### **Sismos en la región insular**

Las Islas Galápagos son de origen volcánico y tectónico. Esto los hace altamente sísmicos y propensos a las erupciones volcánicas. Sin embargo, el terremoto registrado en la

región es de magnitud e intensidad moderada; ninguno ha sido mayor que VIII (Rivadeneira y otros, 2007). En la Tabla 2 se muestran las intensidades máximas registradas en cada provincia en el Ecuador incluyendo Islas Galápagos con un registro de intensidad máxima de IV. Esto debido a que este Archipiélago se encuentra sobre el punto caliente y no cerca de alguna frontera de placas, por lo que en su gran mayoría los efectos sísmicos están relacionados con la actividad volcánica bajo este concepto se puede decir que las magnitudes o intensidades están en un rango inofensivo.

**Tabla 2**

*Intensidad histórica máxima en cada provincia (Escala MSK)*

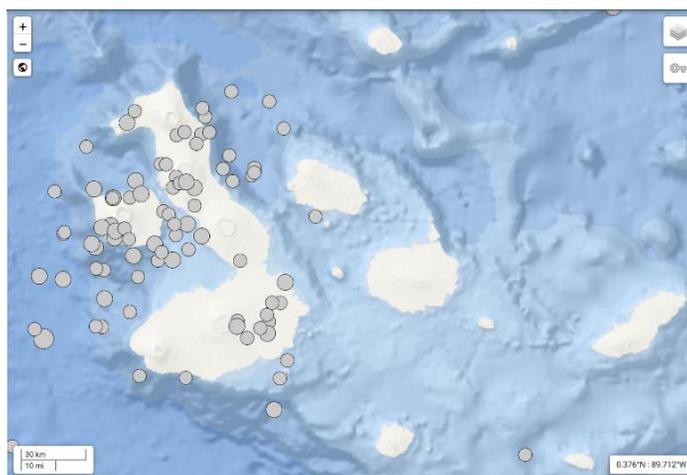
<b>Provincia</b>	<b>Int. Max.</b>
Chimborazo	XI
Cotopaxi	X
Tungurahua	X
Imbabura	X
Esmeraldas	IX
Loja	VIII
Manabí	IX
Napo y Sucumbíos	IX
Pichincha	VIII
Bolívar	VIII
Carchi	VIII
El Oro	VIII
Azuay	VIII
Guayas	VIII
Los Ríos	VIII
Morona Santiago	VIII
Pastaza y Francisco de Orellana	VII
Zamora Chinchipe	VII
Cañar	VII
<b>Galápagos</b>	<b>IV</b>

*Nota.* Adaptado y tomado de Rivadeneira, F. y otros (2007).

A continuación, se muestra en la Figura 9 con una representación histórica de todos los sismos que han afectado en las Islas Galápagos desde el año 1900 hasta la actualidad, recalcando que dichos eventos no han sido trascendentes o han sido de gran impacto en la Isla Santa Cruz y se los muestra en la Tabla 3. Sin embargo, existe el registro de un sismo que resalta en las Islas el cual tuvo una magnitud de 6.26 Mw registrado el 04 de junio de 1954 que correspondió al movimiento leve de la parte superior de un penacho del punto caliente con una longitud de 1.50 kilómetros al occidente de la isla Isabela.

### Figura 9

*Ubicación sismos Galápagos comprendido entre el año 1900 hasta la actualidad*



*Nota.* Tomado de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), 2022.

### Tabla 3

*Ubicación sismos Galápagos comprendido entre el año 1900 hasta la actualidad*

#	Fecha	Latitud	Longitud	Prof.	Mag	Tipo mag	Ubicación
1	1954-06-04 T06:50:43.590Z	-0.88	-91.864	15	6.26	mw	Galapagos Islands, Ecuador

#	Fecha	Latitud	Longitud	Prof.	Mag	Tipo mag	Ubicación
2	1926-05-05 T06:21:36.510Z	2.893	-91.384	10	5.88	mw	Galapagos Islands, Ecuador region
3	1929-11-08 T03:20:10.860Z	2.414	-88.733	10	5.75	mw	Galapagos Islands, Ecuador region
4	1999-12-22 T22:08:07.260Z	-0.625	-91.882	10	5.7	mwc	Galapagos Islands, Ecuador
5	1987-10-20 T21:11:00.060Z	0.917	-87.073	10	5.6	mw	Galapagos Islands, Ecuador region
6	1991-10-09 T12:19:18.530Z	0.904	-87.389	10	5.4	mw	Galapagos Islands, Ecuador region
7	1991-07-27 T10:06:36.820Z	1.773	-90.49	10	5.4	ms	Galapagos Islands, Ecuador region
8	1980-01-08 T00:27:06.300Z	2.508	-89.969	10	5.2	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
9	2001-09-02 T18:14:35.040Z	2.48	-86.195	10	4.7	mb	Galapagos Islands, Ecuador region

#	Fecha	Latitud	Longitud	Prof.	Mag	Tipo mag	Ubicación
10	1997-02-15 T10:33:38.600Z	0.97	-87.044	10	4.7	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
11	1994-06-04 T05:11:51.670Z	1.5	-93.624	10	4.7	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
12	1992-06-19 T17:08:26.290Z	0.784	-87.3	17.5	4.7	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
13	1989-05-29 T00:27:28.740Z	1.562	-92.054	12.2	4.7	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
14	2016-11-24 T09:28:32.540Z	2.2271	-93.1589	10	4.6	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
15	1996-01-18 T20:02:44.190Z	1.849	-90.607	10	4.6	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
16	1991-07-27 T17:18:34.570Z	2.026	-90.353	10	4.6	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
17	1997-11-15 T21:35:03.220Z	0.867	-87.068	33	4.5	mb	Galapagos Islands, Ecuador region

#	Fecha	Latitud	Longitud	Prof.	Mag	Tipo mag	Ubicación
18	1990-02-22 T08:27:25.470Z	2.369	-89.859	10	4.5	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
19	1975-12-27 T02:44:00.200Z	-3.513	-88.623	33	4.5	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
20	1974-01-05 T23:52:15.800Z	0.059	-91.217	33	4.5	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
21	2015-06-09 T00:50:51.960Z	1.8953	-91.5986	10	4.4	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
22	2012-08-31 T18:46:47.370Z	2.868	-94.283	10	4.4	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
23	1991-10-12 T08:48:09.680Z	2.353	-93.409	10	4.4	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
24	1978-06-11 T05:07:43.300Z	0.746	-87.445	33	4.4	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
25	2014-09-15 T15:57:47.810Z	2.5832	-94.0139	10	4.3	mb	Galapagos Islands, Ecuador region

#	Fecha	Latitud	Longitud	Prof.	Mag	Tipo mag	Ubicación
26	2014-05-15 T15:45:36.550Z	2.5758	-94.2961	15.27	4.3	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
27	2013-07-26 T23:11:48.420Z	1.945	-89.639	10	4.3	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
28	2009-01-23 T07:19:00.410Z	2.292	-86.682	10	4.3	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
29	1997-05-13 T02:18:29.440Z	1.242	-94.31	10	4.3	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
30	1980-01-08 T03:54:01.700Z	2.953	-89.876	10	4.3	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
31	2020-09-20 T13:11:45.679Z	1.9803	-94.3703	10	4.2	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
32	2004-12-20 T14:17:14.930Z	1.799	-93.443	10	4.2	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
33	1997-02-15 T08:14:04.830Z	1.737	-86.444	10	4.2	mb	Galapagos Islands, Ecuador region

#	Fecha	Latitud	Longitud	Prof.	Mag	Tipo mag	Ubicación
34	1997-02-15 T06:28:37.310Z	1.521	-86.532	10	4.2	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
35	2020-09-20 T11:11:15.450Z	2.4546	-94.2626	10	4.1	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
36	1973-02-18 T00:38:50.800Z	1.419	-91.326	33	4.1	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
37	1997-05-20 T14:16:29.890Z	2.033	-90.392	10	4	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
38	1997-02-15 T10:47:37.020Z	0.863	-87.359	10	4	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
39	1997-02-14 T19:29:20.880Z	0.928	-87.425	10	3.8	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
40	1997-02-14 T16:20:50.570Z	1.533	-86.858	10	3.8	mb	Galapagos Islands, Ecuador region
41	1997-05-13 T02:15:33.700Z	1.332	-94.213	10	3.6	mb	Galapagos Islands, Ecuador region

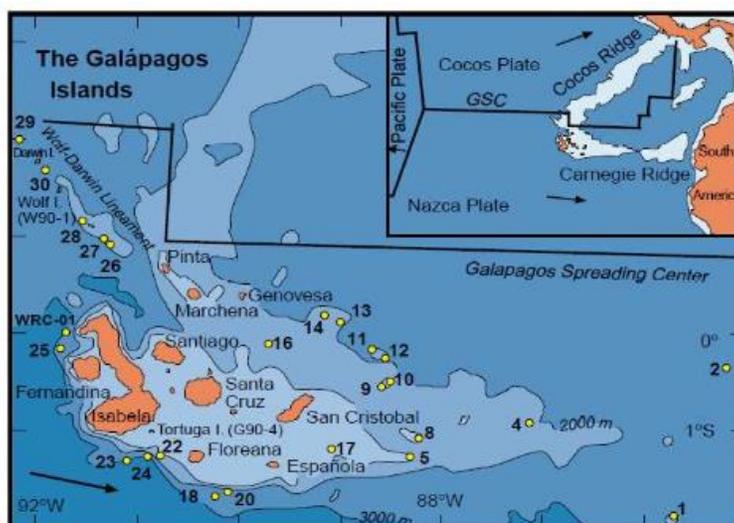
*Nota.* Tomado de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), 2022

### **Peligro o amenaza sísmica relacionada a la geodinámica**

El origen volcánico de las Islas Galápagos se debe al ascenso de material desde zonas muy profundas de la Tierra, anomalía conocida como pluma mantélica. La interacción de la pluma con la dorsal Nazca- Cocos durante el Neógeno, dio como resultado la formación de las dorsales Cocos y Carnegie con sus cadenas montañosas submarinas asociadas a las placas de Cocos y Nazca respectivamente y que según varios autores está activa desde el Cretácico Superior (Pérez Larco, 2019). La historia de la dorsal Nazca- Cocos se origina aproximadamente hace 22.7 millones de años, cuando existió la migración de una fractura proveniente del punto caliente de la placa Farallón (Barckhausen y otros, 2001).

### **Figura 10**

*Plataforma de Galápagos con representación del arreglo tectónico regional y el movimiento de las placas*



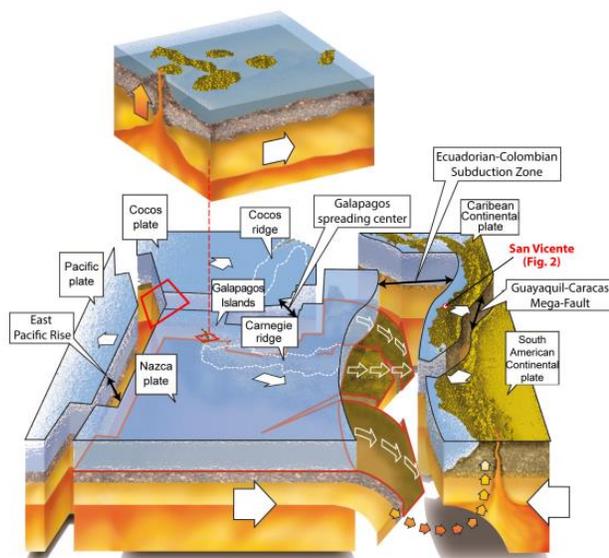
*Nota.* Tomado de Pérez, L. (2020) y recuperado de Harpp, K. S. y White, W. M. (2001).

La tectónica actual de Galápagos se relaciona a la interacción de tres placas: Cocos, Nazca y Pacífico (Lonsdale, 1988), las cuales se mueven con diferentes direcciones como se

observa en la Figura 10: La placa de cocos en dirección noreste respecto a la dorsal y subduce bajo el Caribe, la placa de Nazca se mueve en dirección sureste respecto a la dorsal y subduce a la placa Sudamericana lo que provoca volcanismo en los Andes. La placa del Pacífico es la más grande de todas y diverge de la de Nazca y Cocos (Figura 11).

### Figura 11

*Entorno geodinámico de Ecuador, las Islas Galápagos y la cresta Carnegie*



*Nota.* Tomado de Rodríguez, F. y otros (2016) y recuperado de Toulkeridis, T. y otros (2017).

### Peligro o amenaza sísmica relacionada con la actividad volcánica

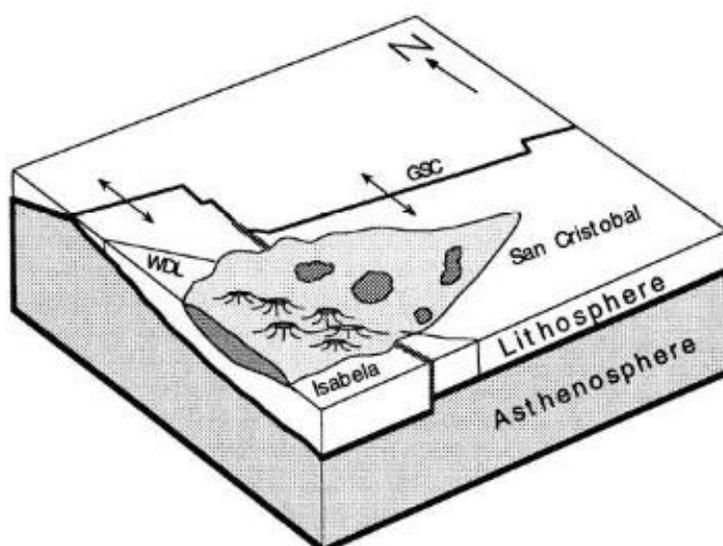
Las islas Galápagos tienen una intensa actividad volcánica a lo largo de su historia que ha sido documentada en artículos científicos, informes, boletines, etc. (Pérez Larco, 2019). Presentan distintivas diferencias entre sus volcanes viejos (orientales) y jóvenes (occidentales) tanto en características estructurales y condiciones de fraccionamiento, como en los procesos de generación del magma (Harpp y Geist, 2018).

Dentro de las más notables se tiene la prevalencia de grandes y profundas calderas en los jóvenes volcanes occidentales (Fernandina, Cerro Azul, Ecuador, Darwin, Wolf, Sierra

Negra y Alcedo), mientras que los viejos volcanes orientales (Santiago, Rábida, Pinzón, Floreana, Española, Santa Cruz, Pinta, Santa Fe y San Cristóbal) no presentan morfología alguna de ello (Pérez Larco, 2019), cabe destacar que estos volcanes se encuentran inactivos y no representa mayor amenaza. La Figura 12 presenta un esquema con la estructura de la litosfera y corteza de las Islas Galápagos.

### Figura 12

*Diagrama de bloque que indica la estructura de la litósfera y corteza de la plataforma Galápagos*



*Nota.* Tomado de Pérez, L. (2020) y recuperado de Geist, D. y otros (1998).

### Peligro o amenaza tsunami

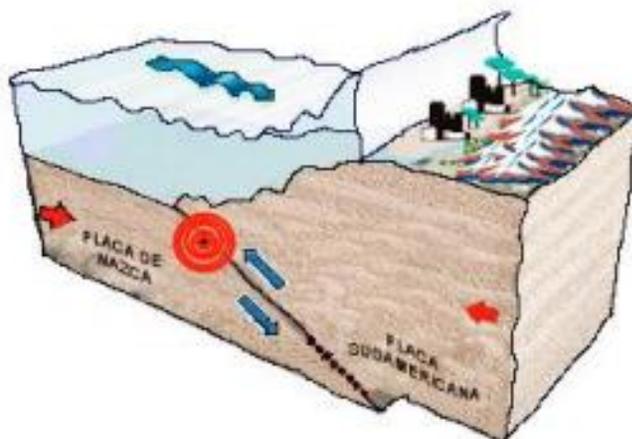
#### Origen del tsunami

Los tsunamis son eventos naturales relativamente raros y poco frecuentes, pero principalmente pueden resultar en numerosas pérdidas humanas y daños materiales significativos como por ejemplo en el Callao en 1746, en Sanriku, Japón en 1896 y 1933, en Chile en 1960 (Kuroiwa y otros, 2002). En la Figura 13 se presenta como ejemplo un proceso de formación de tsunami, el cual inicia a partir de un sismo tsunamigénico (amenaza natural

que causa el tsunami) cuando la placa sudamericana se desplaza abruptamente provocando que el fondo marino se eleve y desplace el agua que se encuentra en la parte superior (Palacios Espinoza, 2019).

### Figura 13

*Proceso de origen de un tsunami en las costas por interacción de las placas*



*Nota.* Tomado de Palacios, E. (2019) y recuperado de OANNES - Señor de las Olas. (s. f.).  
<https://oannes.org.pe/seminario/02oceanografPazTsunamis.htm>.

El significado literal de tsu es “puerto” y nami es “gran ola”, se refiere a un desplazamiento vertical del agua en el océano causado por algún evento extraordinario, evento que también se denomina maremoto.

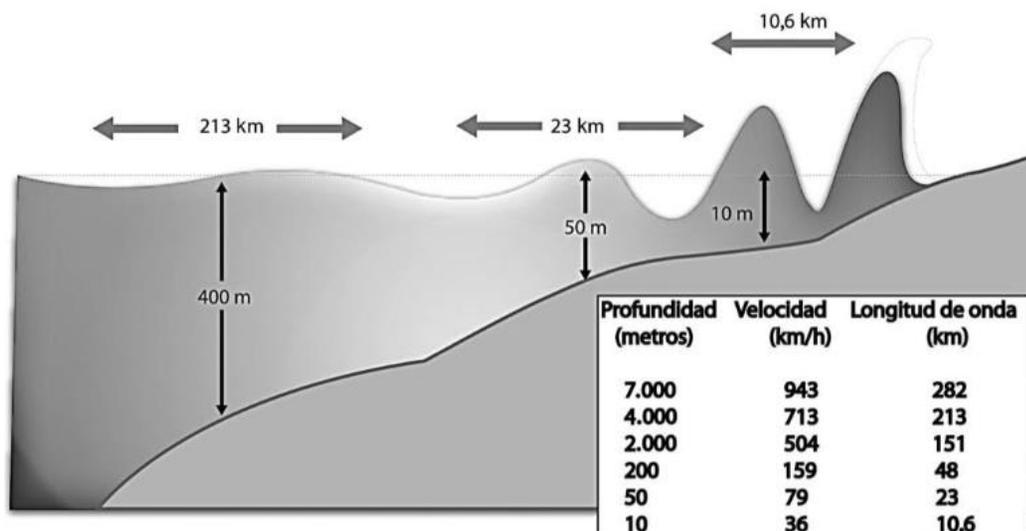
Los tsunamis se propagan en forma de ondas a través de los océanos y/o mares a altas velocidades, con periodos y longitudes muy largas. Aunque los mecanismos para el origen de un tsunami son variados, suelen estar asociados a terremotos con epicentros en el fondo marino.

Cuando un barco está ubicado en aguas profundas, no ven las olas del océano porque son imperceptibles en el agua a grandes distancias de la costa. Sin embargo, las olas que se

acercan a tierra aumentan de tamaño hasta que se vuelven lo suficientemente altas como para dañar la costa. La Figura 14 muestra el acercamiento de un tsunami a la costa.

### Figura 14

*Representación del acercamiento del tsunami*



*Nota.* Tomado de Rivadeneira, F. y otros (2007)

Cuando ocurre un terremoto genera un tsunami de gran magnitud. La intensidad de esta amenaza natural se ve afectada por varios factores, uno de estos son las características de la ruptura y la fuerza del sismo. Otros factores que determinan su afectación dependen de la configuración de la línea costera, la profundidad de la fosa marina y su lejanía para la progresión de la ola, en ocasiones el viento o las tormentas pueden coincidir con la dirección de los tsunamis las cuales no deben ser confundidas con las marejadas.

Siempre que se conozca y comprenda la magnitud, velocidad y la ubicación de un tsunami, es posible estimar el tiempo de llegada de estos desastres naturales. La distancia entre el epicentro de un terremoto y la costa nos sirve para calcular aproximadamente la hora de llegada de un tsunami, que va desde unos minutos hasta horas antes del suceso, estos

tiempos en el que tarda la ola del mar en llegar a la costa es de gran ayuda para preparar a su población, reduciendo sus riesgos.

Después de ocurrir un terremoto cerca de la costa, es fácil averiguar si ocurrirá un tsunami. Por lo general, el mar retrocede rápidamente imitando el reflujo de la marea. Esto sucede más allá de los rangos normales de las mareas, ya que a veces los peces quedan varados en la costa.

### **Definición run-up**

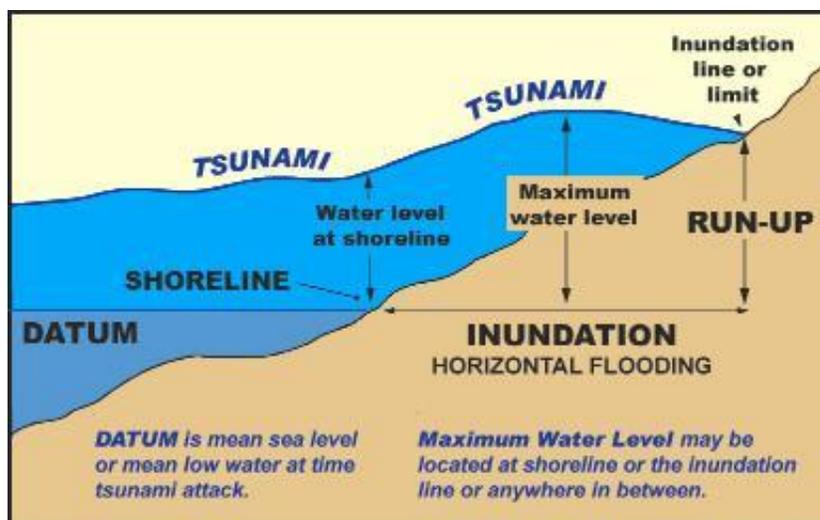
El cálculo de “run-up”, es un área de investigación sobre la conducta de las olas al momento de arribar a las costas. El nivel de complejidad se debe al creciente efecto no lineal causado por los cambios tanto en la vertical como en la longitudinal del fondo marino (batimetría) (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013).

La onda de esta ola se dispersa de dos maneras distintas, la primera se da al alejarse del mar y la segunda cuando se acerca a las orillas de la zona costanera. La ola que se aleja del mar puede ser capaz dependiendo de su fuerza viajar miles de kilómetros a través de océanos enteros llegando hasta costas muy lejanas, definiéndose como Tsunami lejano, la velocidad de propagación se encuentra en función de la gravedad y la profundidad del océano, por lo cual será independiente de la magnitud del tsunami. Cuando la onda de tsunami se acerca a la costa se denomina Tsunami local (Rentería y otros, 2012).

Cuando la amenaza de tsunami llega a la costa aumenta su amplitud y la longitud de onda disminuye con una variación en función de su profundidad. Dependiendo de la morfología de la costa y la energía generada, el agua del tsunami ingresa por la orilla alcanzando la altura por las aguas medidas desde un nivel medio de referencia del mar hasta un nivel máximo de inundación definido como run-up como se esquematiza en la Figura 15 (Rentería y otros, 2012).

## Figura 15

Efecto del tsunami en la costa (Run-up), ITIC 2009.



Nota. Tomado de Rentería, W. y otros (2012).

El run-up es una información relevante para el análisis y estudio de la amenaza de tsunami, pues permite conocer la magnitud y fuerza de este cuando arriba a las costas. La inundación horizontal es otro dato importante, por lo que el efecto de este evento puede alcanzar tierra adentro centenares de metros, ya que el agua ingresa fácilmente por la topografía plana o aquellas que cuentan con pendientes bajas en su configuración costera, esto se puede medir a partir de la línea costera o hacer coincidir con el run-up midiéndolo desde el nivel medio del mar (Rentería y otros, 2012).

### Tsunamis que han afectado en Ecuador

Más de 2.000 tsunamis han impactado las costas del Océano Pacífico registrados a partir de 1900; algunos causaron daños significativos, mientras que muchos tuvieron poco o ningún efecto adverso. Un 30% de la totalidad de tsunamis afectaron a la zona costera de Japón y un 10% en las costas de América del Sur.

Las costas ecuatorianas no han sido inmunes a los desastres naturales como se puede apreciar en la Tabla 4. Esta tabla muestra los efectos de los tsunamis registrados en Ecuador. Es importante tener en cuenta que muchos eventos históricos ocurridos antes de 1896 deben pasar por desapercibidos o incluso la existencia de datos sobre estos fenómenos. Los daños del terremoto más significativo de este registro, causó un tsunami que se produjo en la ciudad portuaria de Tumaco en el año 1979, en el sur de Colombia.

**Tabla 4**

*Registro de tsunamis que han afectado a Ecuador*

Fecha	Lugares afectados	Epicentro del terremoto	
		Lat.	Long.
1896/mayo/3	Manta- Bahía	-0.50	80.45
1906/enero/31	Esmeraldas y costas de Colombia	1.00	81.30
1933/octubre/02	Península de Santa Elena	-2.00	-81.00
1953/diciembre/12	Costas peruanas y Península de Santa Elena	-4.00	-81.00
1958/enero/19	Costas de Esmeraldas, Salinas, El Callao (Perú)	1.22	79.37
1970/diciembre/10	Guayaquil, costas de El Oro	-3.79	-80.66
1976/abril/09	Esmeraldas	0.85	-79.63
1979/diciembre/12	Costas norte del Ecuador y sur de Colombia	2.00	-78.90

*Nota.* Tomado de Rivadeneira, F. y otros (2007) y recuperado de extracto de Catálogo de Terremotos del Ecuador- Intensidades, Escuela Politécnica Nacional (EPN)- Instituto Geofísico (IG), Egred, J. (1999).

Entre los terremotos y las inundaciones, los tsunamis son uno de los peligros naturales más destructivos y mortales (Raschky, 2008; Daniell y otros, 2010). Hace algunos años atrás se realizaron muchos estudios para demostrar y evaluar la vulnerabilidad de las ciudades costeras, toda su infraestructura estratégica y sus habitantes frente al impacto de los tsunamis y otras amenazas naturales asociadas de uno o múltiples orígenes (González-Riancho y otros, 2015). Cuatro ejemplos demuestran tal problema y se destacaron de la última docena de años como los ocurridos en Indonesia, Japón y Chile. El tsunami de 2004 con una magnitud de 9,3 golpeó Indonesia y los países vecinos con 350.000 muertes y pérdidas económicas inmediatas por un valor de 15.000 millones de dólares estadounidenses aproximadamente (Athukorala y Resosudarmo, 2005; Jayatilleke y Naranpanawa, 2007). El ejemplo que más destaca es el Tsunami de Japón de 2011 con una magnitud 9.0, en el cual además de las 15.853 muertes, 6.023 heridos y 3.282 desaparecidos, se destruyeron unos 300.000 edificios, 4.000 carreteras, 78 puentes y 29 vías férreas que resultaron gravemente afectadas (National Police Agency of Japan, 2015). El daño económico alcanzó aproximadamente 210 mil millones de dólares de los cuales 66,9 mil millones fueron pérdidas aseguradas (Aon Benfiedl, 2015). Asimismo, el tsunami de 8,8 grados de magnitud azotó Concepción, Chile en 2010, con un efecto catastrófico en todo el país, con unos 500 muertos y al menos 1,5 millones de viviendas dañadas, de las cuales una tercera parte quedaron completamente destruidas, con una pérdida económica de aproximadamente 30 mil millones de dólares, de los cuales 8,5 estaban asegurados (Barcená y otros, 2010). Posteriormente en el 2015, en el mismo país otro tsunami de magnitud 8,3 azotó costa afuera de Coquimbo, con una pérdida económica estimada entre 100 millones de dólares hasta 1 billón de dólares (USGS, 2015) (Rodríguez y otros, 2016).

Con base en los cuatro ejemplos mostrados, es obvio que las consecuencias del impacto de cualquier tsunami ciertamente se convierten en una devastación económica para cualquier región o ciudad a lo largo de las costas del mundo. Por lo tanto, mejores actividades

educativas preventivas y en algunos casos la construcción de estructuras de mitigación apoyó la reducción del riesgo o al menos la aceptación de los riesgos menores remanentes (González-Riancho y otros, 2015). No obstante, por el enorme daño financiero, el reasentamiento de una comunidad también se debe considerar como parte de un plan de mitigación plausible. El reasentamiento requiere una planificación cuidadosa y detallada (English y Brusberg, 2002). Un proceso de reasentamiento implica desplazamiento de población humana, donde la perturbación se calcula en cuanto afecta la vivienda, el empleo, el comercio y también las formas de vida (Banco Mundial, 2004) (Rodríguez y otros, 2016).

Sin embargo, si los costos de los daños son abrumadoramente más altos que la reubicación de toda una ciudad, los gobiernos estatales o incluso locales deberían considerar el reasentamiento como una alternativa antes de que ocurran ciertos desastres futuros (Rodríguez y otros, 2016).

### **Relación de la isla Santa Cruz ante amenaza sísmica o de tsunamis generadas en zonas costeras.**

#### ***Efectos ocasionados por el sismo de Chile del año 2010***

Los mareógrafos disponibles de los puertos de Ecuador y las Islas Galápagos permitieron el análisis y comprensión del tsunami que se generó por el gran terremoto de Chile ocurrido el 27 de febrero de 2010, en la Figura 16 se representa el mapa de la propagación del tsunami chileno. En general, todos los mareógrafos a lo largo de las zonas costeras de estas localidades comenzaron a registrar los cambios en el nivel del mar, minutos después de la marea baja cuyo pronóstico fue cerca de las 08:30 de la mañana del 27 de febrero. Los registros mostraron ondas con amplitudes que oscilaban entre 20 y 70 cm con periodos de hasta 2 horas. Luego en los registros se indicaron ondas de amplitud más baja y períodos más cortos quizás debido a cambios en las condiciones locales de cada puerto. En Caleta, Eólicas y la Isla Baltra en Galápagos, los cambios en el nivel del mar empezaron justo antes de la marea



### ***Efectos ocasionados por la presencia del sismo de Japón en el año 2011***

Un terremoto de magnitud 9.0 ocurrió el 11 de marzo a las 05:46 hora universal. Fue el cuarto más fuerte en la historia registrada del mundo. El evento provocó un tsunami importante que afectó a varios lugares a lo largo de las costas del Océano Pacífico. Además, las autoridades ecuatorianas declararon alerta y la autorización para evacuar todas las costas y el archipiélago de Galápagos. Esto llevó a una suspensión temporal de las actividades marítimas debido a preocupaciones de seguridad relacionadas con el evento. Como resultado, se crearon rutas de tráfico alternas cerrando bahías, puertos, incluido el de Galápagos (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013).

Este evento fue registrado por dos mareógrafos y medidores de corriente en las Islas Galápagos. El impacto del tsunami en las Islas causó daños significativos en varios puntos de Santa Cruz. Existen registros de los niveles de agua en Puerto Ayora, pero este lugar no se vio seriamente afectado. A pesar de presentar perturbaciones de las olas que variaron aproximadamente 3 días antes de que el nivel del mar volviera a la normalidad. En días posteriores al tsunami (Lynette y otros, 2011) investigaron los efectos del tsunami en la costa de Galápagos. Los datos recopilados de los sitios afectados en dicho estudio se extrajeron y presentan en la Tabla 5 (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013).

**Tabla 5**

*Registro mareográfico Puerto Ayora- Isla Santa Cruz*

<b>Sitio</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Run- up (m)</b>	<b>Inundación (m)</b>
<b><i>Puerto Ayora</i></b>	S0 44.807	W90 18.696	2.81	40.00
<b><i>Puerto Ayora</i></b>	S0 44.834	W90 18.756	2.44	0.00
<b><i>Puerto Ayora</i></b>	S0 44.561	W90 18.589	2.56	23.40
<b><i>Puerto Ayora</i></b>	S0 44.571	W90 18.672	2.01	129.50
<b><i>Puerto Ayora</i></b>	S0 44.657	W90 18.723	2.69	25.00

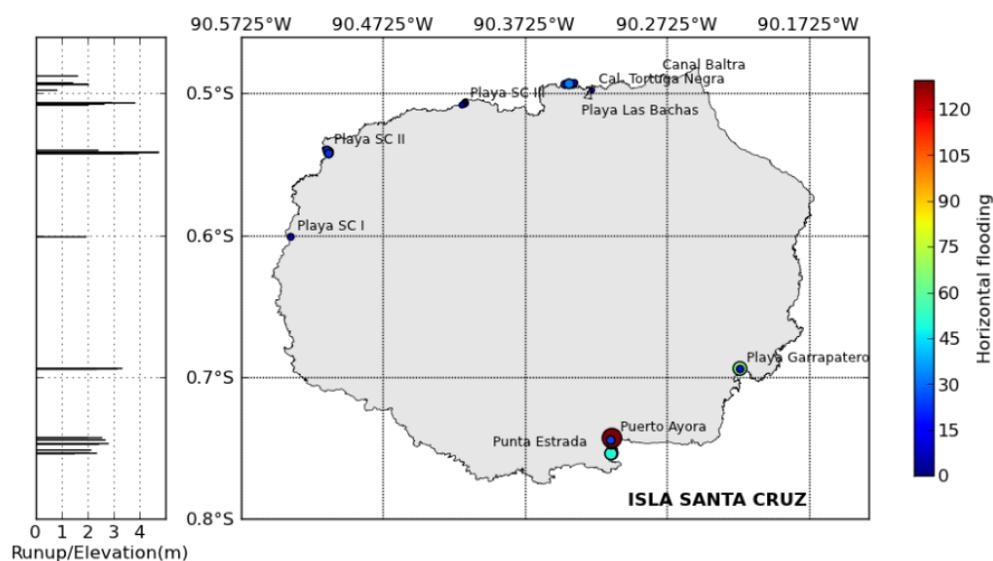
*Nota.* Adaptado y tomado de Rentería, W. (2013).

En diferentes ocasiones, los mareógrafos ubicados al norte y al sur de la Isla Santa Cruz registran con sus sensores las fluctuaciones del mar. Estos registros muestran la llegada de las olas, la duración de las perturbaciones y cualquier cambio que haya ocurrido a través del tiempo. Además, los ADCP de la isla Santa Cruz registran la temperatura del agua y la dirección del movimiento cada 20 minutos. Esta información muestra cómo se comportan los tsunamis en el momento del impacto (Rentería y otros, 2012).

Registros de INOCAR muestran los efectos del tsunami presente en la isla, tales como el gran desplazamiento a la deriva de las boyas de navegación que se ubicaban cercanas al canal de Itabaca, las cuales tuvieron que ser trasladadas a sus posiciones originales luego de ocurrido el tsunami, con estos datos se podría realizar un análisis a profundidad de su comportamiento (Rentería y otros, 2012).

### Figura 17

*Representación del run- up (izquierda) vs. longitud de inundación (derecha)- Isla Santa Cruz*



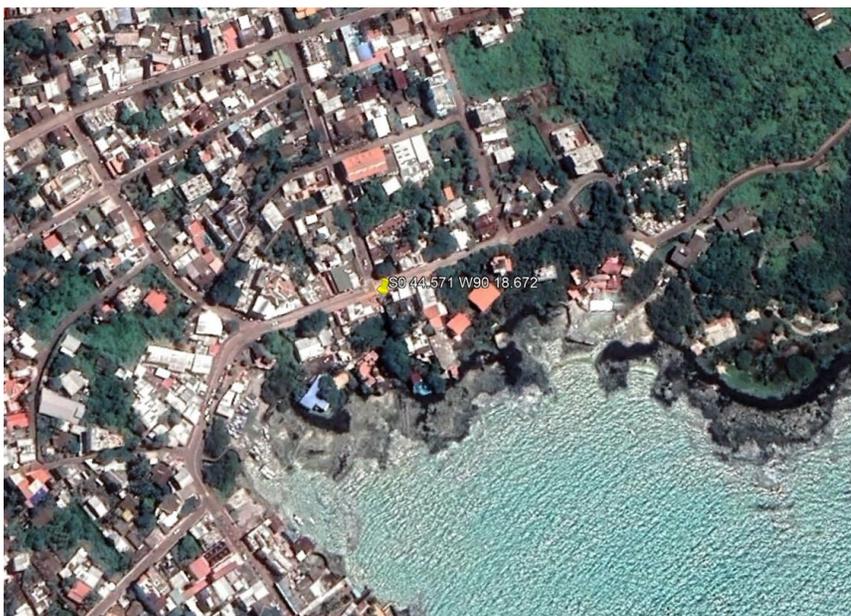
*Nota.* Tomado de Rentería, W. y otros (2012).

A partir de los datos recopilados en la isla, la Figura 17 muestra un mapa con los valores de elevación más altos registrados. El valor aproximado de 4,8 metros para el sitio denominado Santa Cruz II encabeza esta lista. Al igual que la mayor inundación registrada en Puerto Ayora, con 129,5 metros (Rentería y otros, 2012).

En función de esta ilustración y los datos obtenidos en la Tabla 5, en la Figura 18 se presenta el punto con mayor inundación que se produjo en la Isla, para tener en cuenta el alcance de la afectación que puede tener la zona de estudio con su respectiva exposición ante la amenaza de tsunami.

### **Figura 18**

*Representación del punto de mayor inundación*



*Nota.* Elaboración en Google Earth (2022) en base a Rentería, W. y otros (2012).

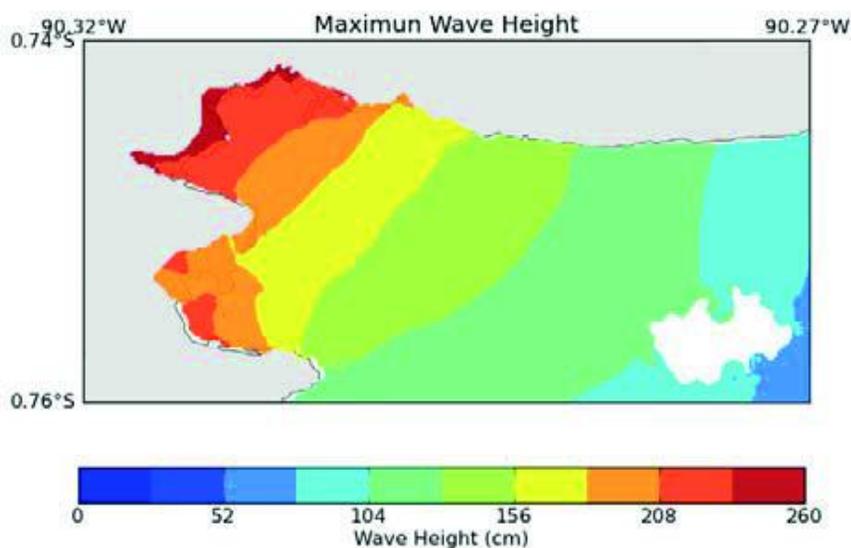
### **Efectos de tsunami en Puerto Ayora**

De acuerdo con una simulación la máxima inundación para Puerto Ayora en función de los registros realizados en la Isla, proporcionaron estimaciones de alturas de olas de 2,3 a 2,6 metros los cuales se aprecian en la Figura 19. Estos resultados coincidieron con las

predicciones del modelo de inundación detallado en el estudio de (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013).

### Figura 19

*Máxima inundación*



*Nota.* Tomado de Rentería, W. (2013).

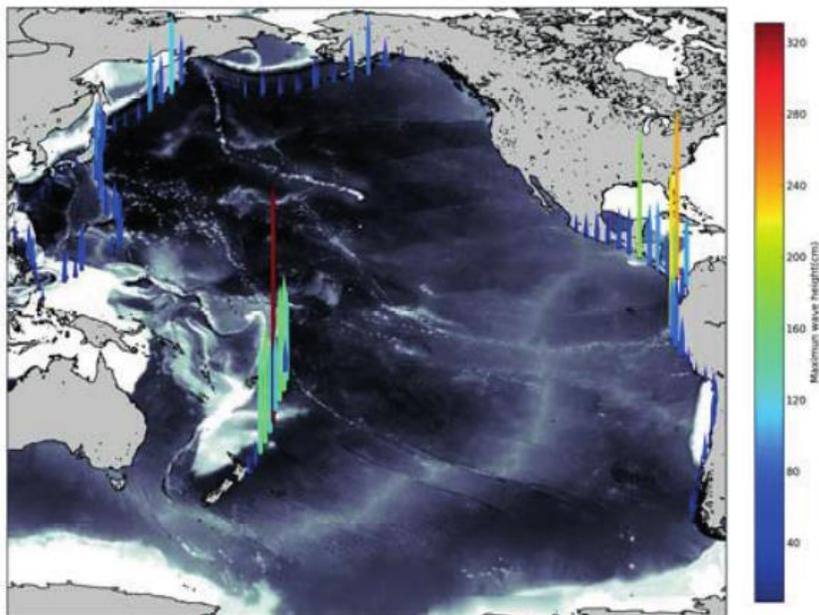
### ***Pronóstico a largo plazo de tsunami en Puerto Ayora***

El objetivo fue crear un pronóstico a largo plazo para Puerto Ayora, determinando las áreas de mayor daño que afecten el sitio de estudio por presencia de tsunamis. En la investigación de (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013) se crearon un total de 104 modelos numéricos combinando 6 unidades fuente con un deslizamiento uniforme de 5,26 metros. Estas modelaciones se realizaron para lograr una magnitud de 5.2 Mw, que representó los máximos tsunamis posibles en Puerto Ayora y se muestran en la Figura 20.

Las zonas potencialmente peligrosas para Puerto Ayora son la Zona de Subducción Aleutiana, la Zona de Subducción Ecuador-Colombia y la Zona de Subducción Nueva Zelanda-Kermadec-Tonga.

### Figura 20

*Pronóstico de tsunami a largo plazo para Puerto Ayora.*

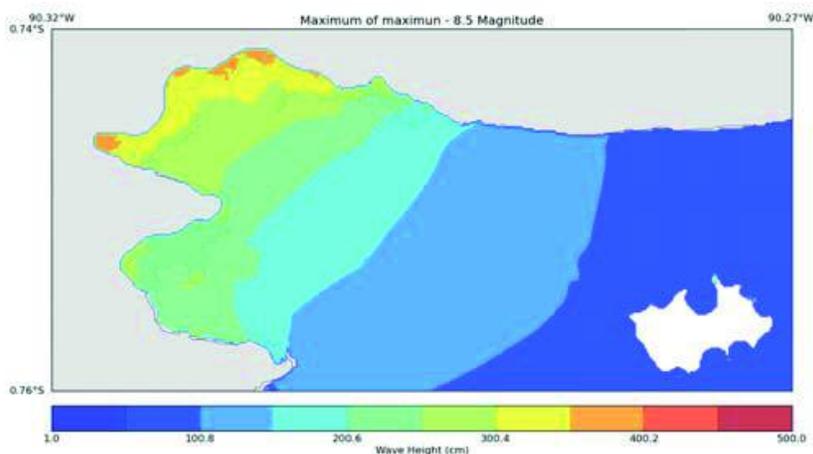


*Nota.* Tomado de Rentería, W. (2013).

Considerando la investigación de (Rentería, Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos, 2013), para determinar las áreas inundables de Puerto Ayora, se examinó la mayor inundación producida por cada modelo. Las inundaciones más grandes se encontraron del máximo de los 104 modelos con un sismo ocurrido en alguna parte del Pacífico con una magnitud de 8.5 Mw. Este método resultó en un mapa que se puede ver en la Figura 21.

## Figura 21

*Inundación máxima a partir de un posible tsunami de 8.5 Mw sobre el Pacífico*



*Nota.* Pronóstico de tsunamis para las Islas Galápagos en un rango de 1 a 500 cm y una magnitud máxima de 8.5 Mw. Tomado de Rentería, W (2013).

La idea es utilizar este mapa con fines de gestión de riesgos, ya que surge de una variedad de escenarios generados por tsunamis. Esto significa que se puede utilizar para crear planes de evacuación y rutas de emergencia.

Razón por la que, en este trabajo de investigación, se ha utilizado toda la información relevante y concerniente a las amenazas como tsunami para cumplir con el propósito de reducir el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica necesaria para la isla, evitando las zonas de riesgo que pueden existir en este estudio.

## Energías sustentables

Las principales formas de energía renovable son la marina, la eólica, la solar y la biomasa, que son naturalmente renovables, los cuales llegan a recargarse más rápido de lo que se consumen, a diferencia de las fuentes de energía fósil cuyas reservas son limitadas, la ventaja del uso de las fuentes de energía renovable es que la emisión de carbono es muy baja gracias a la tecnología, que ayuda mucho al medio ambiente (ITC, 2008).

## Importancia de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos

Tener en cuenta la necesidad de conservar el uso de combustibles fósiles y austeridad energética, es clave en estos momentos pensar en otras alternativas de consumo de energía. Esto se puede hacer utilizando técnicas ecológicas con la instalación de paneles solares que nos permiten generar electricidad para otros usos. Esto se puede ver en la Figura 22, que muestra un esquema funcional (Reinoso Ordóñez & Sánchez Jumbo, 2022).

La energía solar fotovoltaica se puede utilizar para generar electricidad. Se puede hacer mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos, también llamados PSFV. Estos paneles convierten la radiación del sol en electricidad y ésta es aplicable a muchos aspectos de la vida diaria.

### Figura 22

#### *Importancia del aprovechamiento de energía solar*



*Nota.* Tomado de Reinoso, O. & Sánchez, J. (2022) y recuperado de Carballo, G. (2016).

### Paneles fotovoltaicos

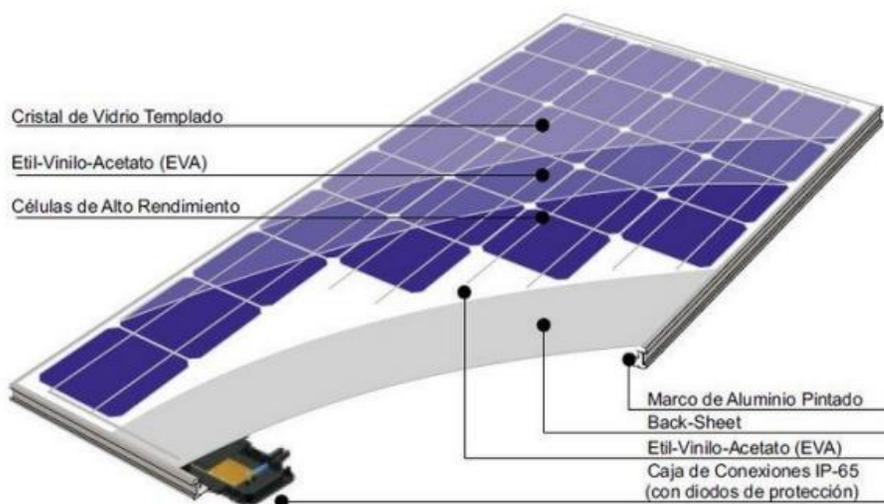
Los módulos fotovoltaicos utilizan silicio de grado solar para convertir la luz del sol en electricidad. Estos paneles se denominan colectores fotovoltaicos, pero este término se usa de manera incorrecta ya que se usa para calentadores de agua. El material semiconductor de los

paneles fotovoltaicos se usa comúnmente para fabricar módulos fotovoltaicos. Esta electricidad puede usarse directamente de los paneles o convertirse en otras formas de electricidad (Bernal Sánchez, 2016).

Dentro de un marco resistente de metal, los componentes de un panel solar están dispuestos en forma de celdas fotovoltaicas. Un componente es una cubierta de acetato de vinilo llamada EVA, que sirve como capa protectora para el panel solar. Otros componentes incluyen celdas fotovoltaicas que están conectadas para crear un arreglo que genera electricidad a través de diodos. Los marcos de aluminio anodizado se presionan para formar el producto final (Bernal Sánchez, 2016).

### Figura 23

#### Panel



*Nota.* Tomado de Bernal, S. (2016).

Hay dos tipos diferentes de paneles solares de silicio: monocristalinos y policristalinos. Actualmente, las células fotovoltaicas aún se pueden construir de diversas formas. Las células policristalinas están formadas por varios cristales y las células monocristalinas pese a contar solamente con un cristal de silicio, son muy costosas para producir. Esto se debe a que el

crystal de silicio único que se utiliza en su creación es muy complejo y requiere mayor tiempo de producción. Sin embargo, estos factores de tiempo y costo actuales han disminuido, haciendo que producir una celda monocristalina sea mucho más económico. En consecuencia, esto influye drásticamente en el costo total de los paneles solares para los clientes (Bernal Sánchez, 2016).

En teoría, las baterías monocristalinas proporcionan una mayor producción de energía que las policristalinas. La aplicación práctica de esta teoría muestra que ambos tipos de células funcionan de manera similar; a veces, las células policristalinas son una mejor opción. Varios factores determinan su eficiencia como la temperatura, el clima, el lugar y el viento; como se ve en la Figura 24. Las diferencias entre los módulos con células monocristalinas y aquellos con células policristalinas pueden notarse fácilmente a simple vista. Las celdas monocristalinas tienen un color oscuro y tienen bordes más redondeados, mientras que las celdas policristalinas son azules y rectangulares (Bernal Sánchez, 2016).

## Figura 24

*Módulo monocristalino y policristalino respectivamente*



*Nota.* Tomado de Bernal, S. (2016).

## **Países líderes en producción de energía aprovechada del sol**

El incremento del uso de energía solar en todo el mundo es un hecho innegable. El progreso tecnológico ha tenido un gran impacto significativo en la adquisición de proyectos de energías renovables que contribuyen al medio ambiente y se implementan por las principales potencias económicas del mundo. Encabezando la lista se encuentra China que es un país líder en la producción solar (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

Cada vez existen muchos países a nivel mundial que se suman al uso de energía solar, invirtiendo y reduciendo el costo para construir plantas de energía solar con tecnologías avanzadas innovadoras en el campo y, sin embargo, el alto costo de la electricidad que consumen los hogares, negocios e industrias ha estimulado a más países a involucrarse con la producción de energía solar y eólica. Sin mencionar el deterioro del planeta que fomenta una alternativa macroeconómica a optar por las energías verdes. Todo esto y la constatación de que hoy en día esta energía se utiliza con mayor eficiencia hace que los inversores destinen mucho dinero en este tipo de proyectos. Así que hoy China se une a los principales países productores de energía solar estableciendo un récord de gigavatios producidos en los últimos años. Aumentando así la capacidad de generar energía aprovechando la fuente solar (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

### ***China:***

Por lo cual los países que son un ejemplo en utilización de energía fotovoltaica son:

El país está considerando desafíos energéticos y avanzando hacia un futuro verde por razones geopolíticas y ambientales. Lo mismo se aplica a las plantas fotovoltaicas con una capacidad superior a 130 GW. La energía es costosa en comparación con otros países (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019). Un ejemplo de los grandes sistemas implementados por este país se puede observar en la Figura 25.

**Figura 25***Planta solar flotante*

*Nota.* Tomado de Grupo Solinc S. de R.L. de C.V (2019). <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>.

En comparación con otras naciones, produce un gran porcentaje de la energía solar del mundo. En los últimos años, Alemania no tuvo más remedio que reconocer que China representa más del 50% de esta producción (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

***Estados Unidos:***

Actualmente, el país norteamericano que posee alta tecnología y condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las energías renovables. A pesar de eso, la industria de la energía solar en esta región continúa creciendo a un ritmo constante (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

**Figura 26**

*Producción de energía solar en San Diego- California*



*Nota.* Tomado de Grupo Solinc S. de R.L. de C.V (2019). <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>.

Estados Unidos ocupa actualmente el segundo lugar a escala mundial en lo que respecta a la producción fotovoltaica. Esto se debe a que muchos proyectos y plantas solares han sido construidos por empresas americanas como First Solar y Solar City. Estos proyectos se implementaron con empresas como estas y muchas otras en más de 10 millones de hogares con 85,3 gigavatios de electricidad, la mayoría de los cuales se encuentran en Hawái, Arizona y California (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

**Figura 27**

*Paneles fotovoltaicos instalados en Hawái*



*Nota.* Tomado de Grupo Solinc S. de R.L. de C.V (2019). <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>.

La decisión de Trump fue suspender la participación en el Acuerdo de París amenazando su posición en esta lista. Por lo cual seguirán dependiendo en gran parte con el apoyo de la industria del carbón (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

***India:***

En 2010, India comenzó a producir una gran cantidad de energía solar. Su apuesta por este método de energía verde los llevó a ser el tercer mayor productor; tienen un estimado de 70 gigavatios provenientes de fuentes de energía verde. La ubicación privilegiada de India se da por la gran irradiación solar continua presente en el país. (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

**Figura 28**

*Parque solar 'Shakti Sthala' en la India*



*Nota.* Tomado de Grupo Solinc S. de R.L. de C.V (2019). <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>.

***Japón:***

Japón fue uno de los primeros países en incorporar la producción de energía solar. Su tecnología en auge y su sector manufacturero les dan la ventaja. En 2030 se fijó una nueva meta para la capacidad solar del país. El objetivo era llegar a 63,3 gigavatios; sin embargo, esta hazaña ya está lograda y hoy es un hecho. Además, se agregaron nuevos sistemas solares para aumentar la capacidad total del país a su nuevo objetivo con unos 150 gigavatios (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

Como ejemplo de este avance se tiene a la Isla de Miyako (Miyakojima) localizada aproximadamente a unos 300 km entre Okinawa y Taiwán. Esta población por su ubicación remota depende en gran parte por el uso de combustibles fósiles para un 97% de sus necesidades energéticas. Se declaró en 2008 como isla “ecológica” iniciando esfuerzos por conservar el medio ambiente y los recursos limitados con los que disponían sin cumplir dicho objetivo determinada tras una evaluación en el año 2015, por lo cual en marzo de 2018 se elaboró un plan con la finalidad de abastecer la demanda de energía solar y eólica con un 22.1% para el 2030 y 48.9% para el 2050 (Panasonic Newsroom Global, 2020). En la Figura 29, se muestra cómo desarrollaron el proyecto al instalar un sistema de gestión de energía centrado en 200 hogares, 25 empresas y granjas, colocaron sistema adicional de control directo y remoto de fuentes y cargas utilizando paneles solares y EcoCute de Panasonic, que es un sistema que suministra agua caliente el cual utiliza refrigerantes naturales y cuenta con una bomba de calor, llegando a instalar paneles solares y EcoCutes en una cantidad de 202 unidades en 40 edificios administrados por el gobierno Municipal, los cuales generan, almacenan y distribuyen energía solar a sus alrededores. (Panasonic Newsroom Global, 2020)

**Figura 29**

*Miyako Mirai Energy instaló módulos solares y EcoCutes sin cargo (el equipo es propiedad de terceros) en 10 complejos de viviendas públicas en Shimojiuechi y vende la electricidad generada a los residentes.*



*Nota.* Se presenta una solución de energía solar sostenible en una isla japonesa remota, crea una vida próspera en el presente con miras al 2050. Tomado de Panasonic Newsroom Global (2020). <https://news.panasonic.com/global/stories/873>.

***Alemania:***

Las últimas décadas han visto un crecimiento masivo en la producción de energía renovable en Europa. Las enormes turbinas eólicas y las células solares fotovoltaicas producen electricidad en todo el continente. Este proyecto cuenta con más de millón y medio de instalaciones y más de veinte mil turbinas; sus proyectos a largo plazo pretenden tener un gran impacto en el campo. Alemania es el primer país europeo en términos de producción de energía solar con 48.4 gigavatios. Como se ve en la Figura 30, tienen como objetivo cubrir el

80% de las necesidades eléctricas del país, con fuentes renovables para el año 2050 (Grupo Solinc S. de R.L. de C.V., 2019).

### **Figura 30**

*Instalaciones fotovoltaicas en viviendas de Alemania*



*Nota.* Tomado de Grupo Solinc S. de R.L. de C.V (2019). <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>.

Todos los ejemplos presentados anteriormente nos dan una iniciativa para el cambio hacia una opción para la generación de energía eléctrica ecológica y al alcance de toda la población con varias opciones de instalación adaptables a diferentes zonas tanto urbanas como rurales, pero un país con condiciones similares a las Islas Galápagos es Japón, el cual se encuentra compuesta por más de seis mil Islas dando una muestra que los proyectos de instalación de paneles fotovoltaicos son posibles y viables.

### **Metodología de evaluación de riesgos naturales**

En esta investigación evaluará el riesgo natural al que se encuentran expuestas las edificaciones típicas en Puerto Ayora- Isla Santa Cruz, se utilizan métodos adaptados al medio de nuestro país con la medición de la vulnerabilidad basadas en el Federal Emergency

Management Agency- FEMA y la American Society of Civil Engineers- ASCE. Se recolectarán datos de diseño y construcción de los miembros estructurales y no estructurales, se considerará la configuración estructural (irregularidades tanto en planta como en elevación) junto con la ubicación exacta de cada estructura en análisis. Se definen puntuaciones S y diferentes índices de riesgo, vulnerabilidad, amenazas naturales como (sismos y tsunamis) a través de una inspección rápida visual virtual de cada estructura.

La constante actividad sísmica en las Islas Galápagos pone a sus edificios en alto riesgo de daños estructurales producidos por amenazas naturales. Esta es una de las razones por las que esta investigación se lleva a cabo dentro de las islas. Los índices de riesgo permiten un análisis más profundo de las estructuras más importantes categorizando por prioridades (Vizconde Campos & Delgado Suárez, 2018).

Las edificaciones que se encuentran dentro de la isla Santa Cruz como se presenta en la Figura 31 y Figura 32 posiblemente posean tipologías estructurales similares a los del estudio realizado en la Isla Santa Isabel, Bahía de Caráquez y Pedernales, en donde presentarían un comportamiento dinámico inadecuado ocasionados por la presencia de sismos ocurridos en Ecuador, como el terremoto registrado en Pedernales con una magnitud de 7.8 Mw en el año 2016, el cual en la zona de interés presentó el colapso de un sin número de edificaciones principalmente en Pedernales así como en Bahía (Vizconde y otros, 2017).

Actualmente, hay una falta de conocimiento sobre los datos estructurales disponibles de la zona de estudio, debido a la construcción informal y la falta de control por parte de los organismos municipales. Sin embargo, recopilar y procesar esta información es primordial ya que permite a los investigadores determinar la vulnerabilidad. Después de eso, se puede implementar medidas de mitigación de riesgos para evaluar más a fondo su situación y crear planes de contingencia más precisos (Vizconde Campos & Delgado Suárez, 2018).

Para esto se consideró un formato adaptado de recolección de datos (Nivel 1 de la metodología FEMA) para realizar una inspección sísmica recopilando información estructural y no estructural. Adicionalmente, se tomó como experiencia el estudio propuesto por (López y otros, 2017) los cuales trabajaron con los formatos utilizados para inspección visual rápida (EVR, US). La información y datos fueron elaborados y procesados de acuerdo con lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y con los anexos y formularios de evaluación rápida del (MIDUVI, 2015).

Cabe destacar que para poder seleccionar el formato de estudio adecuado previamente se debe conocer la Región Sísmica, en la Figura 33 se presenta uno de los ejemplos de cómo llenar el nivel 1 del formato de inspección rápida de campo basada en la metodología FEMA P-154. Muestra una estructura de la Isla Santa Isabel con toda la información relevante para la determinación del puntaje S de vulnerabilidad, con datos básicos generales como tipo de estructura, su ubicación, coordenadas geográficas, año de construcción, fotografía de la estructura, bosquejo de la configuración estructural, amenazas geotécnicas, área aproximada, entre otros más, existen otros campos típicos y obligatorios para el desarrollo de este nivel como el tipo de suelo, código constructivo y configuración estructural (planta y elevación), estos modificadores sirven para categorizar de acuerdo a la tipología estructural y posterior procesamiento de resultados (Vizconde Campos & Delgado Suárez, 2018).

**Figura 31**

*Vista general en Puerto Ayora, isla Santa Cruz- Galápagos*



*Nota.* Recuperado de Google Earth (2022).

**Figura 32**

*Vista general en Puerto Ayora con paneles fotovoltaicos, isla Santa Cruz- Galápagos*



*Nota.* Tomado de Google Earth (2022).



### **Tercera edición**

Después de usarse durante 10 años, la segunda edición de FEMA 154 mostró varias áreas donde se necesitaba mejorar. Esto llevó a la creación de una tercera versión FEMA P-154 que incorporó nueva tecnología informática y programas para un uso más eficiente del procedimiento (FEMA, Exploración rápida visual , 2015).

### **Método FEMA P-154**

Después de un terremoto, este método cualitativo se utiliza para evaluar rápidamente los edificios en busca de riesgos potenciales, lesiones y pérdida de funcionalidad. También determina si los edificios deben reforzarse en función de un índice estandarizado (Charón, Ramírez, & Portela., 2003).

Según (Sameh A. El Betar, 2016) el método FEMA P-154 considera la vulnerabilidad sísmica de los edificios al evaluar el riesgo sísmico, el método considera la resistencia de una estructura en comparación con la probabilidad de una cierta magnitud o intensidad de terremoto que afecte a la estructura en análisis. El estudio también establece que la evaluación de la vulnerabilidad de los edificios es importante, esto se debe a que las puntuaciones van en un rango de 0 - 7, y las puntuaciones más altas indican un mejor desempeño esperado, mientras que se recomienda elaborar una evaluación a mayor profundidad a los edificios con una valoración final de 2 o menor durante la evaluación visual.

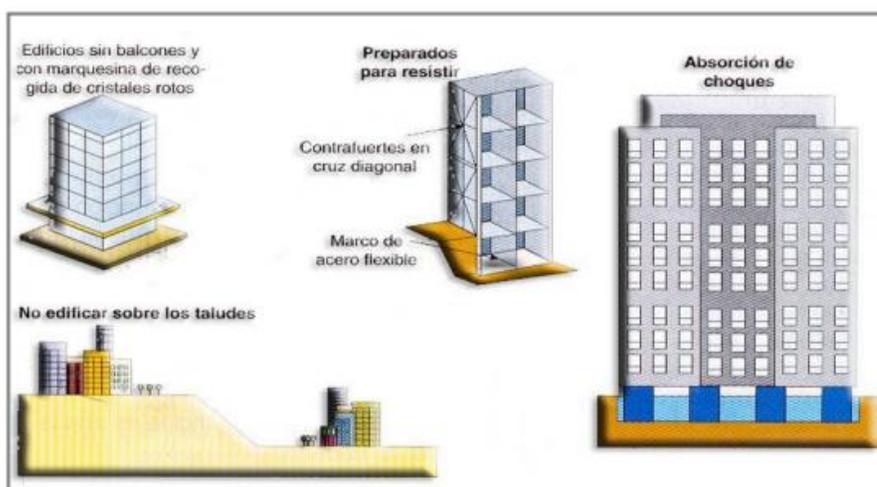
### **Diseño de sismo resistencia ante el peligro sísmico**

La ingeniería sísmica intenta reducir el daño a la infraestructura, la pérdida de vidas humanas y exorbitantes pérdidas económicas causadas por los terremotos durante muchos años. El estudio de los sismos y la creación de diseños resistentes a las amenazas sísmicas son parte de este campo. Estos diseños utilizan conceptos como ductilidad y redundancia estructural. Múltiples elementos y conexiones en la estructura ayudan a disipar la energía y resistir el daño reduciendo las fuerzas sísmicas al tiempo que conservan la integridad

estructural (Bozzo y Barbat, 1995). La mayoría de países que tienen un alto potencial sísmico como Ecuador, emplean diseños capaces de resistir terremotos. Estos métodos se basan en las propiedades físicas de la ductilidad, lo que permite que la estructura resista daños catastróficos. La Figura 34 muestra varios criterios recomendados para este propósito (Moreta Viscarra, 2015).

### Figura 34

#### *Edificios sismo resistente*



*Nota.* Tomado de Moreta, V. (2015).

La Normativa de Construcción Ecuatoriana brinda un mecanismo para incorporar metodologías y estándares para la creación de proyectos de construcción resistentes a sismos. Estas directrices se complementan con estándares internacionales reconocidas. Las actualizaciones a estos estándares se mantienen permanentemente para garantizar que se completen los cálculos y diseños adecuados en todas las estructuras ecuatorianas considerando su potencial amenaza sísmica (NEC, 2015).

## **Evaluación de riesgo en edificios**

### **Generalidades**

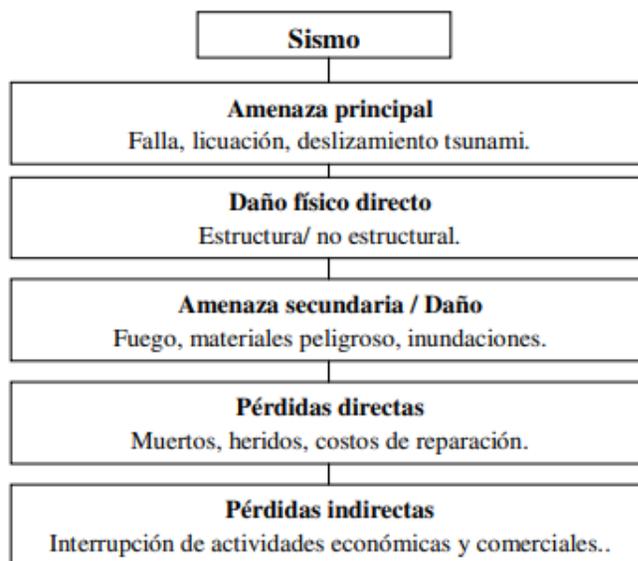
Existen múltiples métodos para estimar futuras pérdidas y daños por terremotos. Estas estimaciones ayudan a países, ciudades o regiones enteras a calcular cómo pueden reducir o prevenir los daños causados por futuros terremotos. Al estimar cuánto pueden perder las personas en el futuro, pueden trabajar para mitigar el daño causado por los sismos. Es imposible determinar con precisión cuándo ocurrirá un terremoto, su ubicación o cuántas personas matará o afectará. Sin embargo, aunque estas amenazas son impredecibles, es posible calcular una estimación aproximada de la magnitud que enfrentará una ciudad o región. Esta es la razón por la cual la planificación de la preparación para terremotos es inevitable y necesaria para cualquier área con alto riesgo de terremotos (Moreta Viscarra, 2015).

La estimación del riesgo sísmico en los edificios es una parte fundamental para la mitigación del daño potencial causado por los terremotos. Esto se debe a que ayuda a las organizaciones a determinar la integridad estructural que se debe mantener para mitigar la destrucción de sus materiales. Esto les permite tomar las decisiones necesarias y oportunas para reducir los daños (Moreta Viscarra, 2015).

Es importante considerar la vulnerabilidad desde varios puntos de vista como que una vez que un terremoto daña un área específica, existen factores adicionales que intervienen en el proceso de daño. Esto incluye las condiciones naturales que influyen en futuras fallas en la sociedad impactada (ver Figura 35). Otro punto es comprender la prioridad de las propiedades geofísicas de los terremotos y cómo las acciones de los humanos influyen en la vulnerabilidad al variar constantemente en el tiempo y el espacio en el que ocurre (Rashed y Weeks 2003).

### Figura 35

#### Cadena de riesgo



*Nota.* Tomado de Moreta, J. (2015) y recuperado de California Seismic Safety Commission (SSC), 1999.

De acuerdo con lo estudiado anteriormente y lo que presenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción vigente, las edificaciones se evalúan para el riesgo sísmico en base a las siguientes puntos para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica.

- Daños causados por movimiento de tierra.
- Estabilidad inadecuada del terreno.
- Daños redundantes.
- Los deslizamientos de tierra.
- Los terremotos provocan licuefacción del suelo, movimientos laterales, asentamientos e inundaciones.

### **Incertidumbre en la evaluación**

Al considerar el riesgo sísmico de un edificio, entran en juego muchos factores. Entre estos se encuentran información relacionada con la estructura como su ubicación y alrededores, planos arquitectónicos y estructurales, pruebas de resistencia de materiales, datos acerca de la estructura obtenida de sus ocupantes o en su defecto por vecinos, etc. Esto conduce a una evaluación en la que hay poca o ninguna certeza o falta de datos confiables. El objetivo principal de esta evaluación es reducir la incertidumbre en las estructuras que necesitan atención inmediata. Es por esto por lo que entre menor sea el nivel de incertidumbre mayor será el nivel de investigación y viceversa. Antes de elegir un nivel de investigación, considere el nivel de incertidumbre que los investigadores esperan lograr y qué tan aceptables son los resultados (NEC, 2015).

Al elegir el nivel apropiado de investigación, cuanto menor incertidumbre busque, más alta debe ser la investigación. Por lo cual, cuanto mayor sea la amenaza sísmica en el área donde se ubica la estructura, mayor será la investigación (Moreta Viscarra, 2015).

### **Evaluación sísmica del edificio**

Antes de que un edificio pueda ser considerado para la investigación, se debe confirmar su integridad estructural. Esto se debe a que el proceso de investigación determina qué tan bien resiste antes o durante un edificio un evento sísmico (Moreta Viscarra, 2015).

### **Nivel BS1 de investigación.**

La Norma Ecuatoriana de Construcción (2015) requiere como requisitos mínimos de investigación:

Obtener documentos de construcción u otra información sobre el sistema estructural del edificio y una inspección visual. Esto permite identificar qué miembros del edificio resisten cargas verticales y laterales.

Conocer el método constructivo y el cumplimiento de los códigos de construcción vigente en su época.

Para evaluar la integridad de una estructura se debe buscar cualquier irregularidad en la estructura. Estos pueden incluir pisos o paredes inestables, materiales de construcción inadecuados como mampostería no reforzada y columnas cortas o agrietadas.

En el nivel de investigación BS1 se emplea el formato FEMA P-154, que evalúa rápidamente las vulnerabilidades de las estructuras a través de una inspección visual (Moreta Viscarra, 2015).

### **Inspección y evaluación visual rápida**

El formato P-154 de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias se utiliza para inspeccionar edificios de forma rápida y visual. Esto es para asegurarse de que los edificios sean seguros y no supongan ningún riesgo para los ocupantes por daños estructurales que podrían costarles la vida en un evento sísmico (Moreta Viscarra, 2015).

El documento FEMA P-154 utiliza un formulario de estudio que considera la configuración del edificio a través de varios parámetros clave que influyen en su evaluación a través de puntajes.

- Tipo de estructura.
- La altura de la edificación.
- Irregularidades tanto en planta como elevación.
- Relación de la estructura con el código de construcción correspondiente.
- El tipo de suelo del lugar donde se construyó el edificio.

Los informes estándar FEMA P-154 marcan que las estructuras poseen una vulnerabilidad alta con una puntuación baja inferior a dos, por lo que estos edificios necesitan un análisis más profundo (Moreta Viscarra, 2015).

## **Evaluación de la estabilidad del Sitio (SS)**

La evaluación de la estabilidad del sitio se realiza para determinar si la ubicación tiene posibles escenarios de fallas en la superficie, licuefacción del suelo o cambios repentinos en la elevación. También verifica seiches, tsunamis y deslizamientos de tierra (Moreta Viscarra, 2015).

### **Nivel SS1 de investigación.**

La investigación SS1 necesita utilizar la Norma Ecuatoriana de Construcción, esto incluye lo siguiente:

Se utilizan informes y mapas geográficos para determinar las condiciones del sitio. Identificando a través de su ubicación áreas de mayor susceptibilidad natural al igual que las áreas con riesgo sísmico.

Los informes y estudios de las propiedades geotécnicas del sitio pueden proporcionar información sobre la probabilidad de licuefacción del suelo, deslizamientos, hundimientos, asentamientos o ruptura de la corteza terrestre (Moreta Viscarra, 2015).

Verificar si el sitio se encuentra cerca de un cuerpo de agua que pueda ser inundado por un tsunami, o cerca de un cuerpo de agua que experimente un seiche causado por un terremoto, o si el sitio se encuentra cerca de un dique que pueda romperse y liberar grandes olas de agua que podrían dañar la propiedad (Moreta Viscarra, 2015).

### **Fuerzas producidas por tsunami**

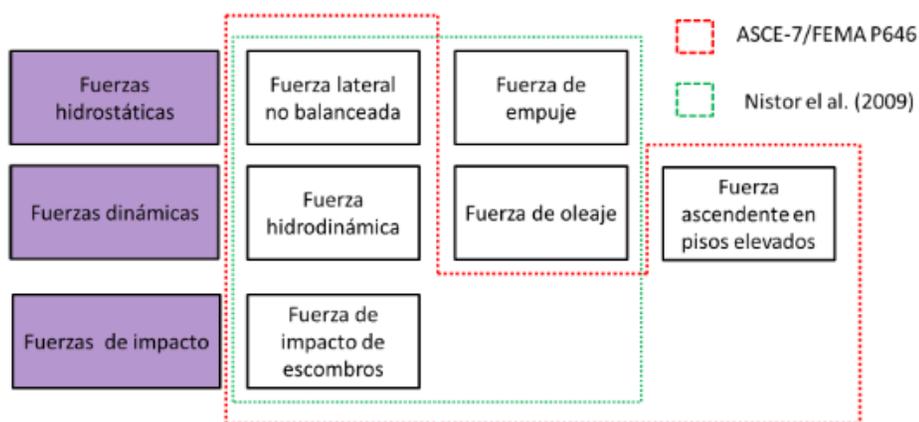
Existen criterios para identificar la magnitud e impacto causado por un tsunami y los parámetros que intervienen como la profundidad con la que se encuentra, la velocidad y orientación del fluido, la configuración de la costa y la rugosidad. En la Figura 36 se presenta un resumen y diferencias de las sollicitaciones relacionadas con la amenaza de tsunami como

la norma ASCE 7, FEMA P- 646 y un artículo publicado referente a la interacción de estas fuerzas descrito por (Nistor y otros, 2009).

Por lo cual se presentará de manera rápida y escueta la intervención de las fuerzas que intervienen y relacionan cuando se presenta un fenómeno natural como el caso de tsunamis. (Rivas Tabares, 2020) indica que el método propuesto por ASCE 7 limita la consideración de escenarios de impacto de ola contra escenarios de inundación y aumento de profundidad del fluido.

### Figura 36

*Diferencias de fuerzas en base a diferente normativa*



*Nota.* Tomado de Rivas, M. (2020).

### Fuerza hidrostática

Se da cuando el fluido se mueve paulatinamente o se estanca por algún obstáculo. Estas fuerzas empujan perpendicularmente contra los elementos como paredes o muros y se plantea la siguiente expresión:

$$Fh = pcAw = (1/2)\rho_s g b h_{max}^2 \quad (2.1)$$

donde  $Fh$  es la fuerza hidrostática,  $pc$  es la presión hidrostática,  $Aw$  es el área sumergida del muro,  $\rho_s$  es la densidad del fluido incluyendo el sedimento ( $1128 \text{ kg/m}^3$  de

acuerdo con el FEMA P646-19),  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $b$  es el ancho del muro y  $h_{max}$  es la máxima altura del agua por encima de la base del muro (Rivas Tabares, 2020).

El reemplazo de la Ecuación 2.1, que involucra que el muro se sumerja, es la Ecuación 2.2 cuando el muro se sumerge por completo.

$$F_h = 1/2 \rho s g b h_{max}^2 - 1/2 \rho s g b (h_{max} - h_w)^2$$

$$F_h = 1/2 \rho s g b (h_{max}^2 - (h_{max} - h_w)^2)$$

$$F_h = 1/2 \rho s g b (2h_{max} - h_w) h_w \quad (2.2)$$

Donde  $h_w$  es la altura del muro y  $h_{max}$  es la diferencia entre la altura de respuesta del tsunami  $R$  y la elevación de la base del muro  $z_w$ , es decir,

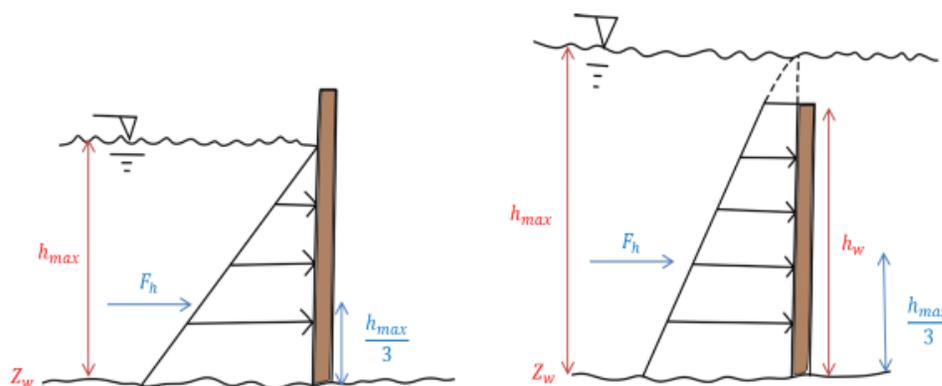
$$h_{max} = 1.3R^* - z_w = R - z_w \quad (2.3)$$

**Nota:** En la Ecuación 2.7 se considera un 30% adicional a la altura de respuesta del tsunami:  $1.3R^*$ .

La Figura 37 presenta una representación gráfica de la fuerza hidrostática para el caso sumergido y no sumergido.

### Figura 37

*Representación de la fuerza hidrostática*



Nota. Tomado de Rivas, M. (2020).

### Fuerza de empuje o fuerza boyante

La sollicitación de empuje ( $F_b$ ) es una fuerza hidrostática que empuja verticalmente contrario a la gravedad provocando que la estructura se desplace parcial o totalmente (FEMA P646-19). La fuerza boyante se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$F_b = \rho \cdot g \cdot V \quad (2.4)$$

donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $V$  es el volumen de agua desplazada por la estructura sumergida. Expresada en términos de la profundidad máxima de inundación ( $h_{max}$ ), la Ecuación 2.4 puede escribirse de la forma:

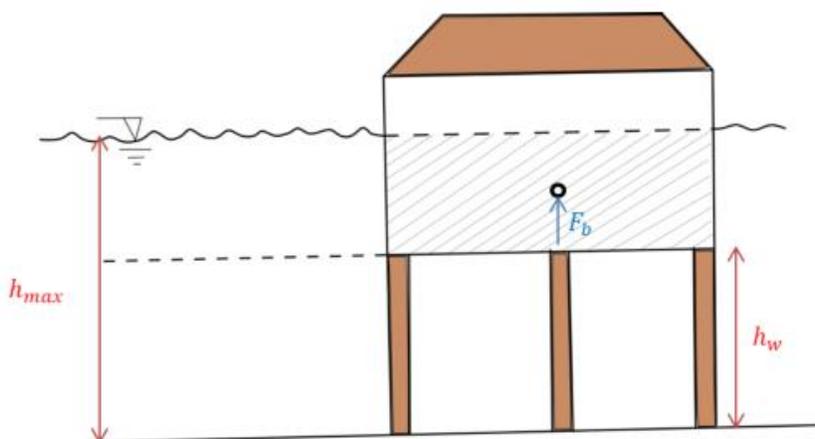
$$F_b = \rho \cdot g \cdot A \cdot (h_{max} - h_w) \quad (2.5)$$

donde  $A$  es el área en planta de la estructura y  $h_w$  es la altura de los pilares.

En la Figura 38 se representa la fuerza de flotación con una vivienda sumergida en forma parcial.

### Figura 38

Intervención de la fuerza  $F_b$



Nota. Tomado de Rivas, M. (2020).

## Fuerza hidrodinámica

La fuerza hidrodinámica ( $F_d$ ) es causada por presencia del fluido y se encuentra en función de la densidad del fluido. Es una fuerza lateral que resulta de la presión ejercida por el fluido sobre la estructura. En la Ecuación 2.6 se muestra una expresión general para estimar fuerzas dinámicas.

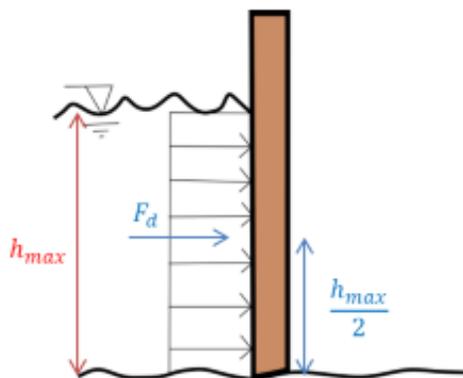
$$F_d = (\rho \cdot CD \cdot A \cdot u^2) / 2 \quad (2.6)$$

Donde  $F_d$  es la fuerza dinámica actuando en la dirección del flujo,  $CD$  es el coeficiente de arrastre (1.2 para pilares circulares de acuerdo con el FEMA 55),  $A$  es el área proyectada del elemento en consideración y  $u$  la velocidad del tsunami.

La Figura 39 muestra la representación gráfica de la fuerza hidrodinámica (Rivas Tabares, 2020).

### Figura 39

*Esquema de la influencia hidrodinámica*



*Nota.* Tomado de Rivas, M. (2020).

## Fuerza de oleaje

La fuerza ( $F_S$ ) se genera por el impacto de la ola de manera frontal contra la estructura

$$F_s = 4.5\rho gh^2 \quad (2.7)$$

donde  $F_s$  es la fuerza de oleaje y  $h$  es la altura de la marea. El punto de aplicación de la fuerza corresponde a la altura de marea  $h$  (Nistor y otros, 2009).

### Fuerza de impacto de escombros

La fuerza de impacto ( $F_i$ ) resulta del arrastre de objetos ocasionados por la ola de tsunami e impactan la estructura.

$$F_i = mb (u_i / \Delta t) \quad (2.8)$$

donde  $mb$  es la masa del cuerpo que impacta la estructura (usualmente se considera la fuerza que genera el impacto de una masa de 455 kg),  $u_i$  es la velocidad aproximada del cuerpo que impacta la estructura (se asume igual a la velocidad del tsunami  $u$ ) y  $\Delta t$  es la duración del impacto. FEMA establece que para construcciones de madera la duración de impacto sobre muros es de 0.7 a 1.1 s y sobre pilares de 0.5 a 1.0 s.

### Fuerza ascendente en pisos elevados

La presión del agua impulsa las fuerzas hacia arriba en las estructuras que se sumergen parcialmente, se considera una carga uniforme ascendente sobre los entrepisos sin importar la presencia de aberturas verticales (puertas y ventanas) y ausencia de muros, para lo cual se presenta las ecuaciones 2.9 y 2.10 con una aproximación para obtener su magnitud:

$$P_u = 1.5 ITSU \rho s u v^2 \quad (2.9)$$

$$u v = \tan \varphi \quad (2.10)$$

donde,  $ITSU$  es la categoría de riesgo de tsunami (1.0 para una categoría de riesgo de tsunami  $I$ , estructuras que representan un riesgo bajo para la vida humana, ASCE 7),  $\rho$  es la densidad del agua y  $u v$  es la velocidad vertical correspondiente a la profundidad del agua considerando la pendiente promedio del terreno ( $\varphi$ ).

El valor de fuerza ascendente (presión) no debe ser inferior a  $0.958 \text{ kPa}$  (Rivas Tabares, 2020).

### **Simulación Numérica de Tsunami**

Para determinar las cargas de tsunami en un área de estudio, se puede recomendar como alternativa utilizar los datos de una simulación numérica digital de tsunami, porque el modelo del área de estudio debe tener un tamaño de cuadrícula adecuado para garantizar la precisión correcta de las cargas de tsunami (FEMA 646). Con la finalidad de que este modelo simule las fases de propagación e inundación de un tsunami basándose en condiciones iniciales de un sismo generador (Palacios Espinoza, 2019).

### **Capítulo 3: Caracterización de la Infraestructura**

En el presente capítulo se analiza todos los parámetros que caracterizan a la infraestructura que se encuentra presente en Puerto Ayora, tomando en cuenta que toda la información recopilada ha sido en base a investigación obtenida a través de libros, artículos científicos, tesis y páginas web con contenido relevante para poder cumplir el objetivo identificando las amenazas en estudio.

#### **Población y Ubicación Geográfica**

##### ***Poblamiento***

El poblamiento de la isla se da con el arribo de 5 familias noruegas en 1927, con la finalidad de crear una planta de enlatados a través de la extracción pesquera. Posteriormente se trasladaron a tierras altas dando origen a Bellavista. Seguidamente atraen el interés de diversos gobiernos con el afán de colonizar la isla y resto del archipiélago, hasta que en 1973 en el Gobierno del General Guillermo Rodríguez Lara se decreta la creación de la Provincia de Galápagos.

Puerto Ayora desde 1940 fue consolidándose a partir de bahía Academia, es un puerto activo muy popular entre turistas y personas de negocios. Está situado en la costa de la isla principal con acceso público y comercial a todas las áreas. Cuenta con un aeropuerto ubicado en la Isla Baltra. Por esta razón estos factores han ayudado al puerto a crecer muy rápidamente con el tiempo (PDOTSC, 2012).

Los datos de la historia indican que la población del puerto contaba con 300 hab. entre el año 1940 hasta 1959. Llegando hasta el año 1970 con 400 hab. repartidas en 70 viviendas cuyo principal ingreso de esta época fue la venta de café y ganado (PDOTSC, 2012).

La década de 1980 se dio la construcción de 42 kilómetros de carretera que conecta Puerto Ayora con el Canal de Itabaca y se consolida una sólida zona urbana bien definida, la

población de la Isla Santa Cruz llegó a 900 personas (PDOTSC, 2012). En el año de 1995 con el incremento turístico y comercial la población creció aproximadamente 5 veces hasta llegar a los 4.855 hab.

Por lo cual en función del crecimiento poblacional esta investigación se enfoca a satisfacer la demanda energética de la población futura de Puerto Ayora sin afectar su ecosistema. Sin dejar de lado la identificación de riesgos ocasionados por las amenazas sísmicas y de tsunami. Hasta implementar técnicamente paneles solares sobre la infraestructura actual.

### **Figura 40**

*Poblamiento Santa Cruz*



*Nota.* Tomado de Secretaría Técnica de Planificación y Desarrollo Sustentable (STPD), 2012.

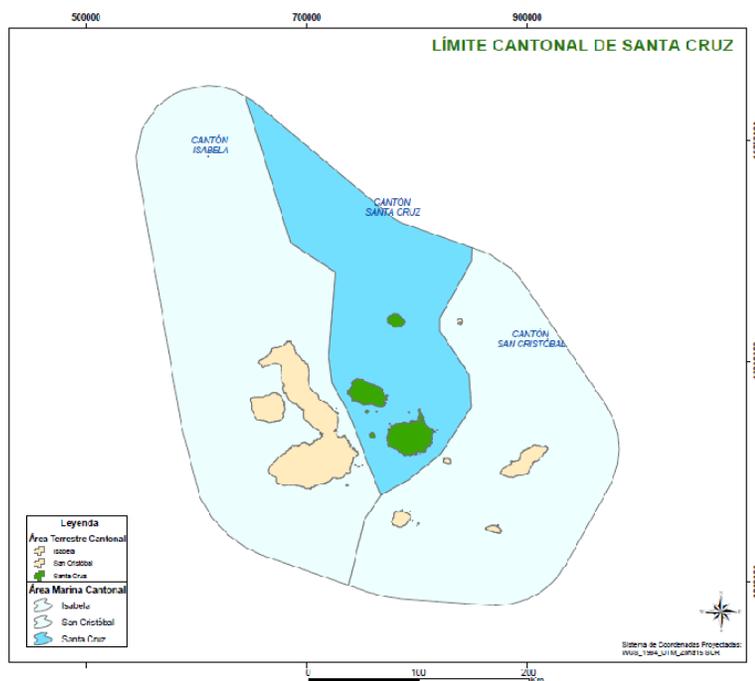
### **Ubicación Topográfica**

El cantón Santa Cruz es una de las tres pertenecientes a la provincia de Galápagos. Se formó el 18 de febrero de 1973 y cubre 31.121,97 kilómetros cuadrados, su territorio incluye islas, rocas y una reserva marina.

Puerto Ayora es la cabecera cantonal de la isla, que incluye las parroquias de Bellavista y Santa Rosa. En la Figura 41 se presenta el límite cantonal de Santa Cruz. Por cuestiones de tiempo y extensión se analizará la parroquia de Puerto Ayora considerando que algunas conclusiones de esta investigación servirán para beneficio de toda la Isla Santa Cruz.

## Figura 41

*Límite cantonal Santa Cruz*



*Nota.* Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Santa Cruz (GADMSC), 2020.

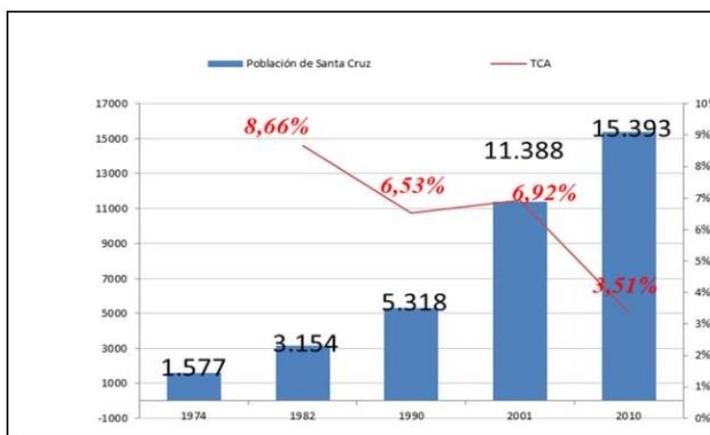
### ***Dinámicas de Movilidad de la Población***

El cantón Santa Cruz tiene una población aproximada de 15.393 hab, según consta en el último censo realizado en el año 2010, lo que lo convierte en el cantón con mayor concentración poblacional con un 61.30 % de Galápagos (GAD Municipal Santa Cruz, 2020).

**Tabla 6***Cuadro crecimiento poblacional*

Cantones	Aporte provincia 2001	Aporte provincia 2010	Cambios	Total
Santa Cruz	8,436	12,103	Igual	15,393

*Nota.* Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Santa Cruz (GADMSC), 2020 y recuperado del Instituto de Censo Población y Vivienda (INEC), 2010.

**Figura 42***Crecimiento de habitantes en Santa Cruz*

*Nota.* Resultados de todas las variables del VII Censo de Población INEC-2010. Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Santa Cruz (GADMSC), 2020 y recuperado de Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos (CGREG), 2010.

En la década de 1980, la tasa de crecimiento de la población alcanzó un máximo del 8,66 %, con 3.154 hab , población que en comparación con las 1.577 hab de la década de 1970. Los habitantes en las próximas dos décadas mantuvieron una tasa de crecimiento extremadamente alta con un valor de 6.53% y 6.92%. Los datos del censo de 2010 indican que la tasa de crecimiento se redujo sustancialmente al 3,51%. Esto probablemente se deba a las nuevas regulaciones aplicadas para restringir la migración a la isla.

Según el censo INEC 2010, las islas Galápagos cuentan con 25.124 hab, es decir 6.484 hab más que en 2001. En realidad, es muy probable que el número de habitantes en Galápagos ya haya superado las 30.000 personas y que casi un tercio de la población en cada isla se haya vuelto invisible (Carrión 2007).

Según las proyecciones del INEC, la población de las Islas Galápagos se registró en 2015. El número de residentes ese año fue de 32.212 hab. Para 2020, la población sería de 33.042, un ligero aumento con respecto a los resultados del censo (Alexa, 2019).

Razón por la cual para este estudio tomando en cuenta el avanzado crecimiento poblacional junto con la gran cantidad de turistas que albergan en estas islas y el menor daño ambiental que se debería ocasionar, podemos evidenciar que se requerirá una mayor demanda de fuentes de energía para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes, por lo cual se realizó una proyección estimada a partir del año 2010 por no contar con los datos del último censo realizado a nivel nacional a la fecha, pero que nos dará una noción del crecimiento poblacional de acuerdo al siguiente cálculo:

$$Pf = Pa (1 + r)^t \quad (3.1)$$

$$Pf = 15393 (1 + 0.00866)^{30} = 185.957,75 \text{ hab; (Proyección censo 2010)}$$

$$Pf = 33042 (1 + 0.00866)^{20} = 173.964,38 \text{ hab; (Proyección INEC 2020)}$$

**Donde:**

Pf= Población futura (hab)

Pa= Población actual (hab); Pf= 15393 (Censo 2010); Pf= 33042 (Proyección 2020)

r= Tasa de crecimiento anual; r= 8.66%

t= Periodo de diseño (años); r= 30 años (Censo 2010); r= 20 años (Proyección 2020)

Por lo cual en base a los cálculos realizados debemos considerar nuevas fuentes de energías como las propuestas en esta investigación, porque la población podría incrementarse hasta aproximadamente 186.000 habitantes sin considerar la población turística que arriba anualmente y de la cual dependen económicamente los habitantes de las Islas Galápagos.

### **Topografía y reconocimiento de las estructuras.**

#### ***Condición topográfica.***

La Isla Santa Cruz es una isla formada por rocas volcánicas con forma semicircular. Su capital provincial Puerto Ayora se encuentra en el lado sur de la isla, con una elevación de 0 a 70 metros sobre el nivel del mar. La isla Santa Cruz se asienta sobre una falla geológica que se rompió hace millones de años (GAD Municipal Santa Cruz, 2020). Cabe destacar que la presencia de dichas fallas no representa mayor afectación, por cuanto la magnitud de las amenazas naturales (sismo y tsunami) son leves o no tienen la intensidad necesaria para afectar el sitio de estudio.

El punto más alto de la isla es de 864 metros sobre el nivel del mar. En algunas áreas, los acantilados costeros se elevan hasta los 12 metros de altura (GAD Municipal Santa Cruz, 2020). La zona de estudio oscila entre la altura del nivel del mar hasta unos 60 a 70 m.s.n.m.

#### ***Reconocimiento de las estructuras.***

Para (Murphy, 2016) La demografía presenta un grupo de aspectos claramente definidos y establecidos que se relacionan con sus rasgos específicos (Ita Cerna, 2021).

#### ***Criterios de Inclusión***

Se consideró el sector hotelero y las viviendas tomando en cuenta que son las estructuras que predominan en gran parte en Puerto Ayora y son parte de su desarrollo económico.

### ***Criterios de Exclusión***

Para esta investigación se aislaron estructuras de menor jerarquía y tamaño, estructuras de interés social y aquellas que se encontraban en zonas de inundación generados por la amenaza de tsunamis a fin de maximizar resultados de la infraestructura necesaria para la instalación de paneles fotovoltaicos. Para esta investigación la muestra se conformó en gran parte la estructuras que se encuentran en la parte más alta de Puerto Ayora las cuales adicionalmente corresponden a estructuras nuevas construidas recientemente a partir del año 2015 en adelante.

**El muestreo.** como cito (Arias, 2012) es un método para determinar el porcentaje de participación de una unidad con respecto a la muestra. Esto se logró a través de un muestreo no probabilístico que empleó un criterio de exclusión (Ita Cerna, 2021).

### ***Técnicas e instrumentos***

Para (Sajjad, 2016). La investigación básica requiere el uso de esta técnica para recopilar datos principales (Ita Cerna, 2021). Para este trabajo se elaboraron observaciones rápidas e información catastral de la zona de estudio para reunir la información requerida para encontrar todos los parámetros utilizados para determinar la vulnerabilidad sísmica con ayuda de procedimientos del MIDUVI 2015 y los formatos FEMA P-154 que anexan para estos informes.

Para (Flores & Nina, 2021) como cito (Moore, y otros, 2017) “El instrumento de recolección de datos es el proceso por el cual el investigador puede acercarse a la problemática estudiada y extraer la información necesaria para el desarrollo, estos son documentos escritos que deben estar en contacto con la práctica”. (pág.390) (Ita Cerna, 2021).

En esta investigación se utilizó formatos descargados de la página oficial MIDUVI que utilizan la metodología FEMA P-154 nivel 1, donde se recogió las características de los

elementos estructurales, el tipo de estructura, año de construcción, tipo de suelo, irregularidades en planta y elevación entre otros.

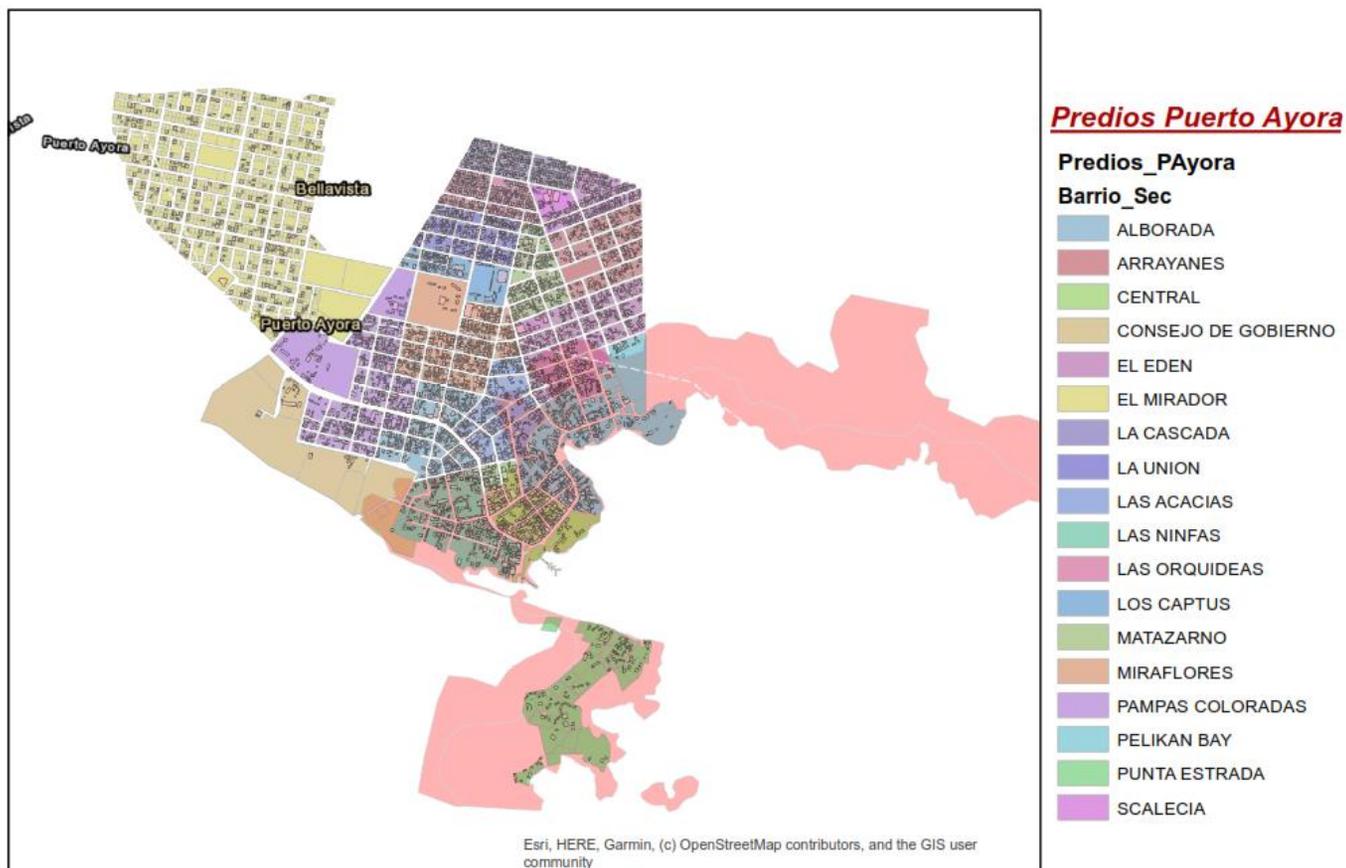
### **Información Catastral de la Infraestructura**

La Información Catastral de la infraestructura para esta investigación fue proporcionado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz, los cuales proporcionaron datos relevantes para el desarrollo de este estudio tales como: Capa geográfica (.shp) de predios de Puerto Ayora con los atributos de parroquia, barrio, área del predio, área de construcción, calve catastral; Capa geográfica (.shp) de edificaciones de Puerto Ayora con los atributos de clave catastral, clave de la construcción, uso de la construcción, estado de la construcción, etapa de la construcción, tipo de acabado de la construcción; y un reporte (.xls) de edificaciones de Puerto Ayora con los atributos de clave catastral del predio, clave catastral de la estructura, clase de estructura, tipo de estructura, materiales de la estructura y área de la construcción.

En la Figura 43 se representa los predios que se encuentran en Puerto Ayora clasificado por Barrios y con las estructuras que se encuentran en el área de estudio y se ha analizado aquellas estructuras que podrían resultar afectadas por la amenaza de Tsunami y se ha representado de color rosa. Las estructuras que se encuentran dentro y fuera de la zona de afectación por Tsunami también han sido estudiadas bajo el efecto de la amenaza sísmica determinando su grado de vulnerabilidad.

Figura 43

*Influencia catastral de amenaza tsunamigénica categorizado por barrios en Puerto Ayora*



*Nota.* Elaborado a través de la Información catastral, GADM Santa Cruz, noviembre 2022 y Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2022).

## **Descripción y evaluación estructural**

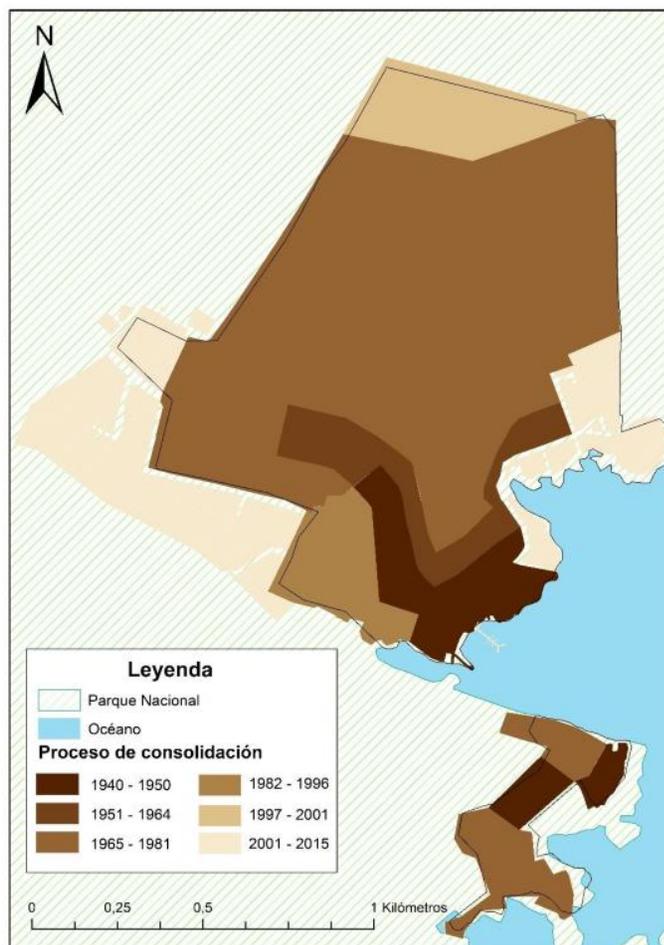
### ***Condición socioeconómica.***

El turismo es un ingreso que aprovechan las Islas Galápagos, esto se debe a poseer varios sectores económicos como pesca, manufactura y comercio. En Puerto Ayora existe un gran número de restaurantes y hoteles que pueden enfrentar riesgos de tsunamis. Como información adicional existe un registro de ingreso mayor a 194.522 turistas que ingresaron al territorio de Santa Cruz en 2019, lo que representa un 72 % de visitantes de todas las islas (Parque Nacional Galápagos, 2019). El sector agropecuario en la parte rural tiene un desarrollo del 11,48 % de la extensión de la isla y puede estar propenso a amenazas de inundación o sequía (GAD Municipal Santa Cruz, 2020).

### ***Caracterización de Puerto Ayora***

Aproximadamente el 88 % de la superficie de la Isla Santa Cruz (98.600 hectáreas) es parque nacional, la cual está colonizada inicialmente por áreas urbanas con 163 hectáreas y rurales con 11.22 hectáreas (PDOT SANTA CRUZAME, 2011).

La expansión urbana de Puerto Ayora se muestra en la Figura 44 con sus respectivos años, empezando como punto inicial en el muelle hasta encontrarse con los límites del Parque Nacional de la isla (Bonilla y otros, 2020).

**Figura 44***Proceso consolidación Puerto Ayora*

*Nota.* Tomado de Bonilla, A. y otros (2020) en base a datos del PDTOSC (2015).

En la década de 1940, el área urbana más grande de Santa Cruz comenzó a incrementarse desde el Centro Urbano hasta PelikanBay, apareció el barrio las Ninfas y Punta Estrada ubicado cerca del borde marino. El eje Charles Darwin se construyó para comunicar estos barrios.

Entre los años 50 a 65 después de la puesta en marcha de la carretera de Baltra hacia Bellavista. La construcción de la vía provocó una gran expansión del territorio de la ciudad hacia el exterior, lo que dio lugar a la creación de los barrios de Las Acacias y Alborada. Poco

después, comenzó a formarse un corredor comercial y por las grandes demandas poblacionales debido a crecientes migraciones entre el año 65 a 80 se forma el barrio de Miraflores, Pampas Coloradas y El Edén, con crecimiento concéntrico alrededor de estos barrios. A partir del año 80 se duplica la ocupación en Punta Estrada por lo cual se amplían los barrios Arrayanes, Cactus, Matazarnos, Orquídea, Pampas Coloradas y La Unión.

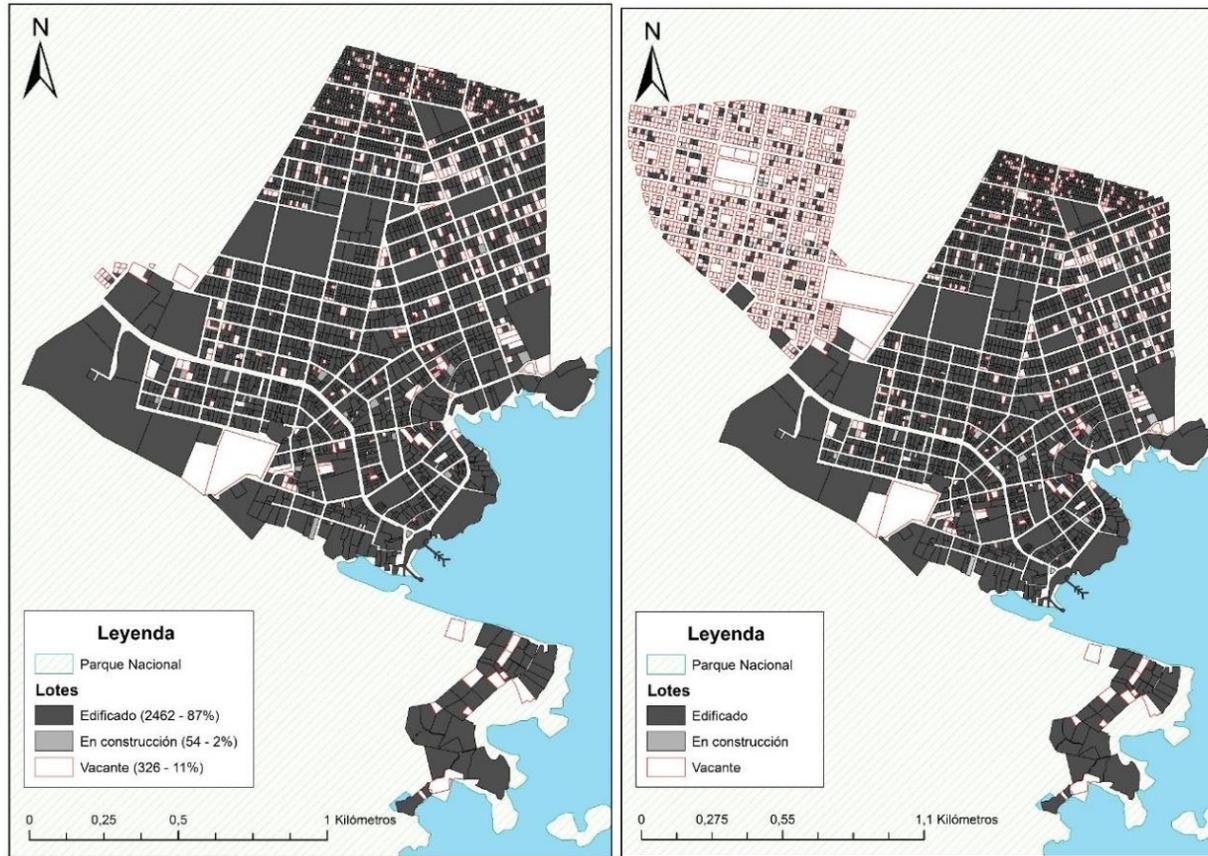
Antes de que se llevarán a cabo las elecciones, aparecieron los barrios Cascada y Scalesia en el extremo norte del área. Estos dos barrios tienen un estilo de planificación urbana completamente diferente al de los anteriores; tienen caminos de 3 metros de ancho lo que conduce a una comunidad muy densa.

Las ideas populistas y los estrechos lazos familiares entre los planificadores urbanos y pobladores hacen que crezca la expansión urbana. Los métodos de fijación de precios en respuesta a las compensaciones tradicionales entre la accesibilidad y el costo por metro cuadrado están empujando la expansión urbana hacia el exterior (Bonilla y otros, 2020).

El Municipio de Santa Cruz en función de presiones sociales afirmó que solo el 55% de su población es propietaria de una vivienda; por lo cual identificó alrededor de 326 lotes restantes como se presenta en la Figura 45, obligando a expandir el límite urbano en un 50% adicional hacia el botadero El Mirador.

**Figura 45**

*Ocupación de los lotes de Puerto Ayora*



*Nota.* Datos en base a datos de catastro del Municipio de Santa Cruz. Tomado de Bonilla, A. y otros (2020) .

### ***Planificación sobre la urbanización del barrio El Mirador***

Se consideraron varios aspectos al diseñar la urbanización “El Mirador” con 70 hectáreas, tiene **1133** predios; mientras que Puerto Ayora con 238 hectáreas, tiene **2631** predios, para definir una solución arquitectónica bien planificada (Bonilla y otros, 2020). En la Figura 46 se presenta la infraestructura del sector El Mirador.

#### **Figura 46**

*Vista panorámica de El Mirador*



*Nota.* Trabajo de campo 2019. Tomado de Bonilla, A. y otros (2020).

En función del número de predios registrados en el 2020 y los que proporcionó el GADM de Santa Cruz se calcula la muestra de este estudio con un nivel de confianza de 95% y un margen de error de 5%, esta operación se lo realizó en función del tamaño de infraestructura con un valor aproximado de 3764, el cual podemos determinar como una cantidad finita y aplicar la siguiente expresión:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (3.2)$$

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$n = \frac{3764 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (3764 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{3614.9456}{10.3679} = 348.67 = 349$$

**Donde:**

N= Total de infraestructura; N= 3764

Z= Valor estandarizado (Según el nivel de confianza aplicado); Nivel de confianza= 95%  
(Z= 1.96)

P= Proporción de éxito esperado (en el caso que no se conozca su valor se utiliza el 50%); p= 0.5

q= 1-p: Proporción de fracaso en la obtención de la información; q= 1- 0.50= 0.50

e= Nivel de error ( que en general es recomendable un 5%); e= 0.05

Por lo cual en esta investigación se utilizará un tamaño de muestra n= 365

Como se pudo apreciar en la planificación de Puerto Ayora existen 70 ha. disponibles en la Urbanización El Mirador, los cuales cuentan con muchas áreas verdes que en función de esta investigación podrán construir estructuras nuevas que cumplan con criterios sismo resistentes de acuerdo con las normativas vigentes que las rigen, estas estructuras pueden ser ecológicas y ecoeficientes al considerar la instalación de paneles fotovoltaicos sobre su estructura.

**Uso y Ocupación del Suelo*****Análisis previo***

Para planificar ciudades, es crucial comprender la zonificación del sector y la cantidad de estructuras construidas y por construirse, permitiendo conocer el terreno disponible en el

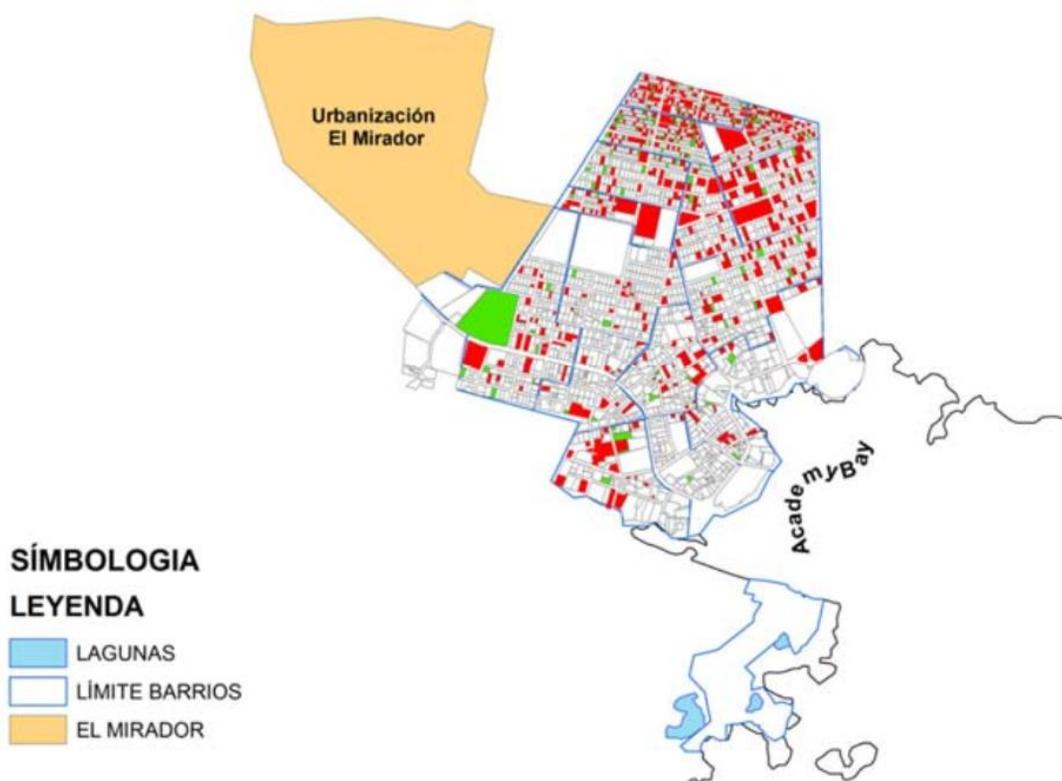
área de estudio. Esta información permite a los planificadores urbanos tener una idea clara del lugar y tomar decisiones sobre el espacio disponible en función de las necesidades de la población.

### **Ocupación del suelo**

Esta información nos permite comprender la cantidad de estructuras no construidas y construidas en la zona lo que ayuda a los urbanistas a planificar de mejor manera ciudades nuevas y existentes en función de la disponibilidad de terreno en cada área.

### **Figura 47**

*Mapa con ubicación de predios de Puerto Ayora sin considerar El Mirador*



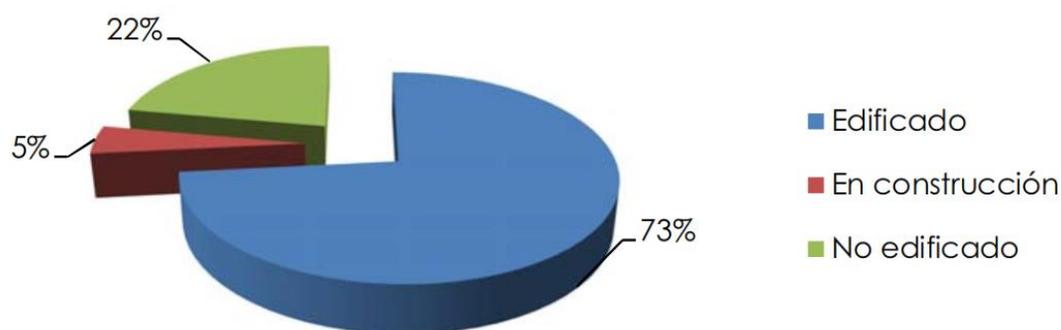
*Nota.* Tomado de Secretaría Técnica de Planificación y Desarrollo Sustentable (STPDS), 2011.

El plan de zonificación de Puerto Ayora presenta 558 lotes sin construir, este dato se estableció en 2011 y representó el 22% del total de lotes en Puerto Ayora y constan en la

Figura 48. Mucha gente piensa que esto es problemático; porque al combinar la cantidad de suelo sin edificar con la alta densidad de habitantes de Puerto Ayora, el problema se agrava como el barrio la Cascada que presenta un alta densificación poblacional. Esta información nos servirá al momento de calcular el índice de vulnerabilidad con el parámetro año de construcción y normativa vigente.

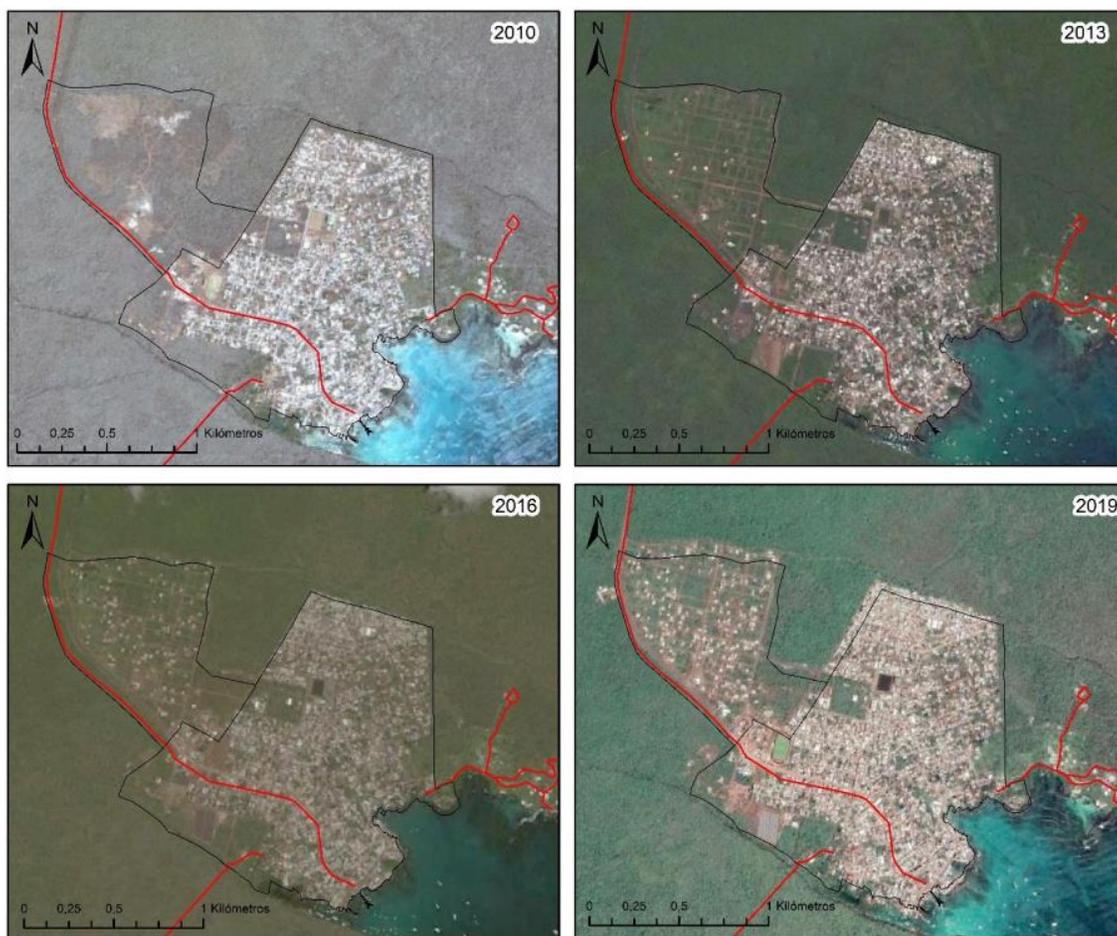
### Figura 48

*Porcentaje catastro urbano año 2011*



*Nota.* Tomado de Secretaría Técnica de Planificación y Desarrollo Sustentable (STPDS), 2011.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica requerimos como uno de los datos principales el año de construcción, por lo cual en la Figura 49 podemos apreciar la evolución de crecimiento urbano y la edad aproximada de las estructuras a ser consideradas dentro de esta investigación, la cual se ha cotejado y revisado con la ayuda del histórico de Google Earth a más de la información proporcionada por el GAD Municipal de Santa Cruz y el PDOT.

**Figura 49***Evolución del crecimiento urbano de El Mirador*

*Nota.* Datos de Google Earth. Tomado de Bonilla, A. y otros, (2020).

## **Evaluación de Vulnerabilidad**

### ***Registro de Desastres***

Las Islas Galápagos están ubicadas en el Océano Pacífico, y el cantón de Santa Cruz está expuesto a eventos peligrosos como tsunamis e inundaciones, terremotos, lluvias torrenciales y sequías. De estos fenómenos naturales el terremoto de Japón ocurrido el 11 de marzo de 2011, provocó el origen de un tsunami costero que afectó a la isla de Santa Cruz. En



*Nota.* Tomado del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.

### **Sismo**

En Galápagos se origina por sismos superficiales en la plataforma submarina y en la costa continental debido al proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa Continental de Sudamérica. Para determinar la amenaza sísmica, se tomó como referencia la zonificación sísmica establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la cual caracteriza la amenaza sísmica del cantón Santa Cruz como INTERMEDIA con un valor de 0.3 g (GAD Municipal Santa Cruz, 2020). En la Tabla 7 se indica el valor seleccionado por la zona de estudio y representa en la Figura 51.

**Tabla 7**

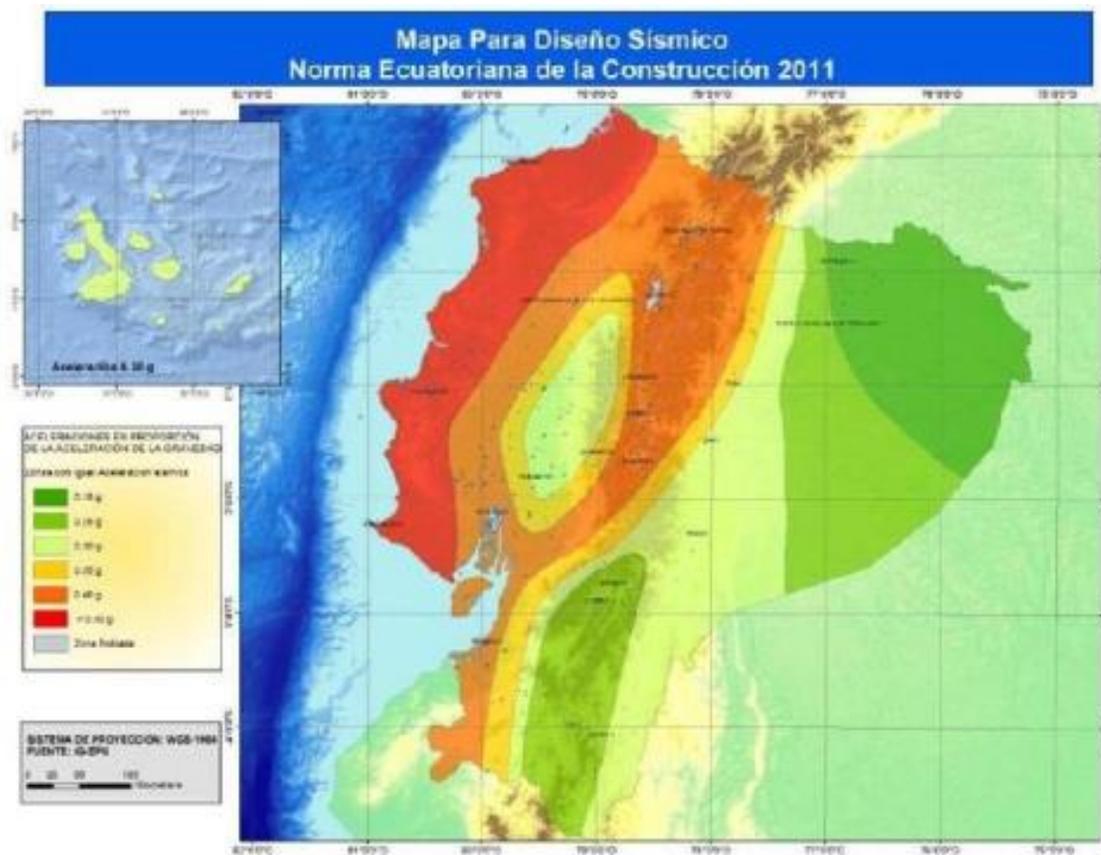
*Valores factor de zona sísmica adoptada*

<b>Zona sísmica</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>
<b>Valor factor Z</b>	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
<b>Caracterización de la amenaza sísmica</b>	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

*Nota.* Extraído y adaptado de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2015.

Figura 51

Zonas sísmicas



Nota. Extraído de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2015.

### Espectros para el sismo de Diseño

Para este trabajo se ha utilizado los factores de sitio ( $F_a$ ), desplazamiento ( $F_d$ ) y de suelo ( $F_s$ ), para Puerto Ayora considerando de acuerdo con la zona de Zonificación los cuales nos ayudan a construir el Espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción de acuerdo con el siguiente detalle:

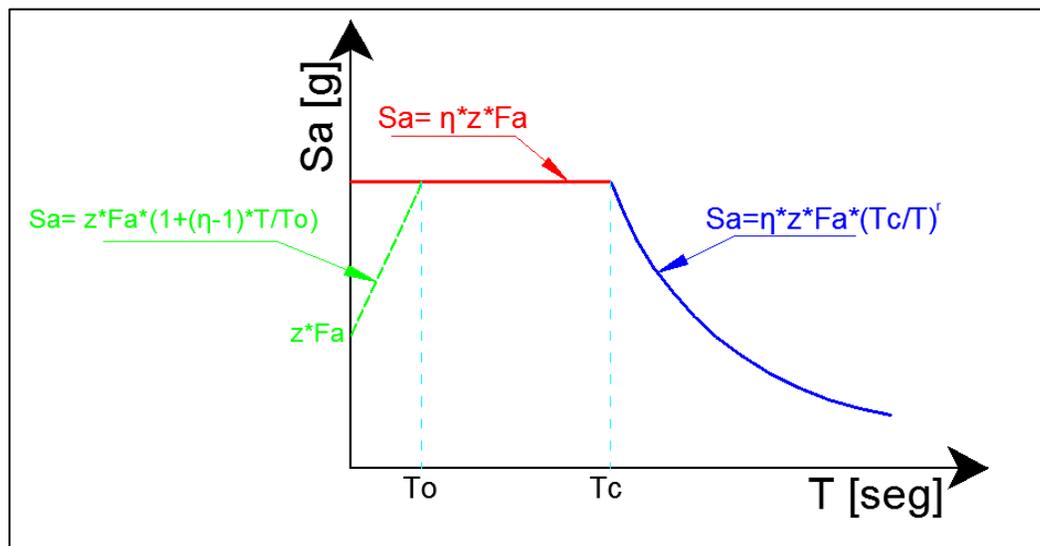
$Z =$	<b>0.30</b>	[ $Z$ , Tabla 2.1, NEC-15]
$F_a =$	<b>1.25</b>	[ $F_a$ , Tabla 2.5, NEC-15]

$F_d =$	<b>1.19</b>		$[ F_d , \text{Tabla 2.6, NEC-15}]$
$F_s =$	<b>1.02</b>		$[ F_s , \text{Tabla 2.7, NEC-15}]$
$r =$	<b>1.00</b>		
$T_o =$	<b>0.10</b>	seg	$[ T_o = 0,10 * F_s * F_d / F_a ]$
$T_c =$	<b>0.53</b>	seg	$[ T_c = 0,55 * F_s * F_d / F_a ]$
$T_L =$	<b>2.86</b>	seg	$[ T_L = 2,4 * F_d ; \text{Para suelo D o E} \rightarrow$ $T_L \text{ max}=4 \text{ seg}]$

En la Figura 52 se presentan las expresiones necesarias para construir el espectro de diseño elástico de acuerdo con la normativa que rige en nuestro país.

### Figura 52

*Espectro sísmico elástico*



*Nota.* Consideraciones necesarias para la obtención de espectro de respuesta en función de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2015.

### Determinación de valores SS y S1 para caracterización sísmica

Para la determinación del valor SS y S1 se debe trabajar con el espectro **MCE**, para lo cual trabajamos con el espectro de diseño **DE** que se ha construido en base a la NEC-15, el cual resulta al multiplicar por 1.5 para conseguir las nuevas aceleraciones espectrales las cuales se seleccionará para un período de 0.20 s (SS) y 1.00 s (S1). En la Tabla 8 se presentan los valores correspondientes al espectro sísmico.

**Tabla 8**

*Período vs. respuesta de aceleración espectral*

	T (seg)	Sa (g)	Sa (g)	Sd (m)	Sa [V/W]		Sa (MCE) (g)
					Inelástico (g)	Inelástico (g)	
	0.000	0.390	0.967	0.000	0.130	0.3224	0.585
	0.023	0.505	0.967	0.000	0.168	0.3224	0.758
	0.046	0.621	0.967	0.000	0.207	0.3224	0.931
	0.070	0.736	0.967	0.001	0.245	0.3224	1.104
	0.093	0.852	0.967	0.001	0.284	0.3224	1.278
To→	0.116	0.967	0.967	0.002	0.322	0.3224	1.451
<b>SS</b>	<b>0.200</b>	<b>0.967</b>	<b>0.967</b>	<b>0.006</b>	<b>0.322</b>	<b>0.3224</b>	<b>1.451</b>
	0.300	0.967	0.967	0.013	0.322	0.3224	1.451
	0.400	0.967	0.967	0.024	0.322	0.3224	1.451
	0.500	0.967	0.967	0.037	0.322	0.3224	1.451
	0.600	0.967	0.967	0.053	0.322	0.3224	1.451
	0.700	0.882	0.882	0.109	0.294	0.2942	1.324
	0.800	0.772	0.772	0.124	0.257	0.2574	1.158
	0.900	0.686	0.686	0.140	0.229	0.2288	1.030
<b>S1</b>	<b>1.000</b>	<b>0.618</b>	<b>0.618</b>	<b>0.155</b>	<b>0.206</b>	<b>0.2059</b>	<b>0.927</b>
	1.100	0.562	0.562	0.171	0.187	0.1872	0.842
	1.200	0.515	0.515	0.186	0.172	0.1716	0.772
	1.300	0.475	0.475	0.202	0.158	0.1584	0.713
	1.400	0.441	0.441	0.217	0.147	0.1471	0.662

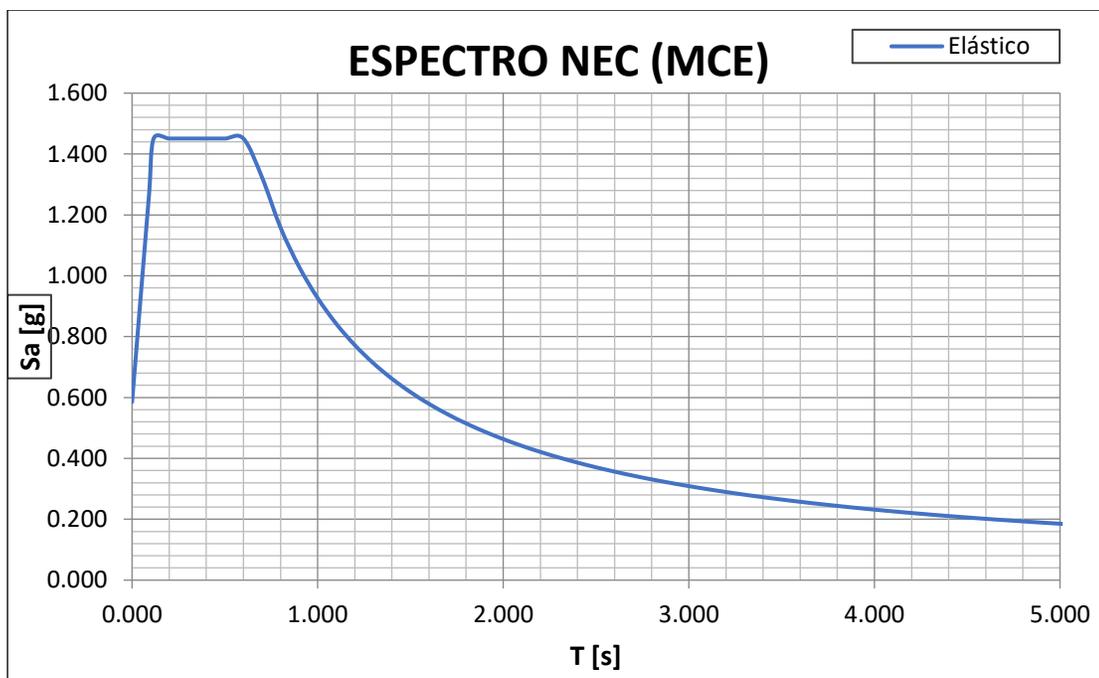
<b>T</b>	<b>Sa</b>	<b>Sa</b>	<b>Sd</b>	<b>Sa [V/W]</b>	<b>Sa [V/W]</b>	<b>Sa (MCE)</b>
<b>(seg)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(m)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>
				<b>Inelástico</b>	<b>Inelástico</b>	
1.500	0.412	0.412	0.233	0.137	0.1373	0.618
1.600	0.386	0.386	0.248	0.129	0.1287	0.579
1.700	0.363	0.363	0.264	0.121	0.1211	0.545
1.800	0.343	0.343	0.279	0.114	0.1144	0.515
1.900	0.325	0.325	0.295	0.108	0.1084	0.488
2.000	0.309	0.309	0.310	0.103	0.1030	0.463
2.100	0.294	0.294	0.326	0.098	0.0981	0.441
2.200	0.281	0.281	0.341	0.094	0.0936	0.421
2.300	0.269	0.269	0.357	0.090	0.0895	0.403
2.400	0.257	0.257	0.372	0.086	0.0858	0.386
2.500	0.247	0.247	0.388	0.082	0.0824	0.371
2.600	0.238	0.238	0.403	0.079	0.0792	0.356
2.700	0.229	0.229	0.419	0.076	0.0763	0.343
2.800	0.221	0.221	0.434	0.074	0.0735	0.331
2.900	0.213	0.213	0.450	0.071	0.0710	0.320
3.000	0.206	0.206	0.465	0.069	0.0686	0.309
3.100	0.199	0.199	0.481	0.066	0.0664	0.299
3.200	0.193	0.193	0.496	0.064	0.0643	0.290
3.300	0.187	0.187	0.506	0.062	0.0624	0.281
3.400	0.182	0.182	0.506	0.061	0.0606	0.273
3.500	0.176	0.176	0.506	0.059	0.0588	0.265
3.600	0.172	0.172	0.506	0.057	0.0572	0.257
3.700	0.167	0.167	0.506	0.056	0.0557	0.250
3.800	0.163	0.163	0.506	0.054	0.0542	0.244
3.900	0.158	0.158	0.506	0.053	0.0528	0.238
4.000	0.154	0.154	0.506	0.051	0.0515	0.232

*Nota.* Basado en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2015.

En la Figura 53 se presentan los valores detallados en la Tabla 8, para visualizar los valores utilizados para los periodos necesarios para esta investigación y serán utilizados al momento de utilizar los formularios FEMA P-154.

Figura 53

Espectro del sismo máximo considerado



Nota. Basado en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2015.

Tabla 9

Determinación para un MCE (fuente ASCE/SEI 41-13)

Región sísmica	Respuesta de aceleración espectral, $S_s$ (período corto, o 0.2 segundos)	Respuesta de aceleración espectral, $S_1$ (período largo, o 1.0 segundo)
Baja	$S_s < 0.25g$	$S_1 < 0.10g$
Moderada	$0.25g < S_s < 0.50g$	$0.10g < S_1 < 0.20g$
Moderadamente alta	$0.50g < S_s < 1.00g$	$0.20g < S_1 < 0.40g$
Alta	$1.00g < S_s < 1.50g$	$0.40g < S_1 < 0.60g$
<b>Muy alta</b>	$S_s > 1.50g$	$S_1 > 0.60g$

Nota. Adaptado y tomado por Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), 2015.

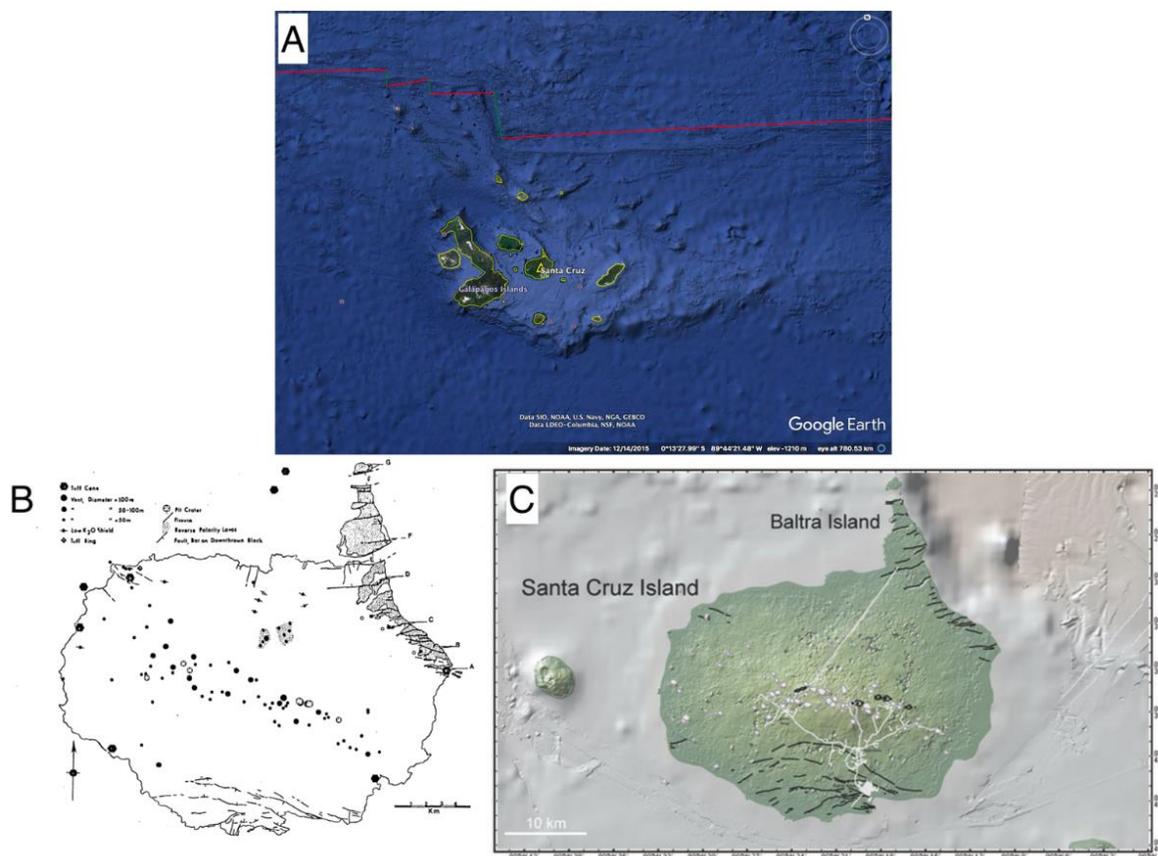
En función de los valores obtenidos  $SS = 1.45$  g y  $S1 = 0.93$  g tenemos Región sísmica “Alta” y “Muy Alta” respectivamente, por lo cual seleccionamos el formulario más crítico por lo cual trabajamos en la Región Sísmica “**Muy Alta**”.

### Caracterización Geológica de la Isla Santa Cruz

En este punto se representan algunas de las características geológicas presentes en la Isla Santa Cruz el cual nos da noción de la existencia de estas, las cuales deberían ser analizadas a mayor profundidad en caso se requiera de un mejor análisis en otro nivel de estudio.

### Figura 54

*Figura compuesta que muestra la ubicación de la isla Santa Cruz y algunas de sus características geológicas*



Nota. Tomado de Hayward, C. A. (2020).

La parte (A) muestra una imagen satelital de Galápagos con Santa Cruz marcada con un triángulo amarillo, con una línea roja que indica la ubicación del centro de expansión de Galápagos [Google, 2018]; la parte (B) muestra un croquis de mapa de Isla Santa Cruz, con fallas marcadas con líneas negras sólidas en las costas norte y sur, conos de ceniza marcados con círculos sólidos, cráteres marcados con círculos vacíos y flujos de lava de polaridad inversa como áreas punteadas [Bow, 1979]; la parte (C) muestra las fallas como líneas negras continuas sobre una imagen de mapa base (modificado de [Harpp and Geist, 2018]).

Dado esto, sería pertinente continuar investigando el área para determinar la estabilidad de los sistemas de fallas y a su vez la probabilidad de ruptura de una falla lo suficientemente grande como para causar daño a Puerto Ayora, y/o la probabilidad y escala de deslizamiento en el fallas que rodean el municipio. Además de esto, se podría obtener una velocidad sísmica más precisa para las ondas de cuerpo y de superficie que reduciría la incertidumbre en la ubicación de la fuente mediante la realización de estudios de reflexión sísmica (Hayward, 2020).

Esta información es muy importante tomando en cuenta que en la zona de estudio existe la presencia de fallas como se ha mostrado en la Figura 54, las cuales en el sector análisis no representan algún inconveniente tomando en cuenta que las amenazas como sismo o tsunami requieren la magnitud necesaria para que estas fallas pueden representar algún riesgo.

### **Geología y Geomorfología**

Las dos unidades geológicas que dan origen a las islas Galápagos son las lavas basálticas submarinas levantadas de la plataforma y los volcanes jóvenes contruidos por basaltos y materiales piroclásticos (Black, 1973). Las rocas del archipiélago son volcánicas en casi su totalidad y < 1 % son rocas sedimentarias. Las islas Santa Cruz y San Cristóbal están conformadas por basaltos alcalinos ricos en magnesio, con presencia de volcanes con calderas

erosionadas (Bristow y Hoffstetter, 1977). Los basaltos pueden ser afaníticos y porfiríticos con grandes fenocristales de plagioclasas, asociadas a intercalaciones de sedimentos de origen submarino (Winckell, 1997).

Las islas se han formado por la acumulación de dos tipos de lava, aquella que ha fluido libremente formando grandes mantos en planchas o enrollamientos (lava tipo pahoehoe o planchonada) y la que por su viscosidad ha sido lanzada en bloques que luego se han revuelto formando aristas agudas y cortantes que impiden el ingreso al interior de las islas (lava denominada quemado o AA) (Black, 1973).

El basalto afanítico, muy coherente y medianamente poroso, se meteoriza lentamente, mientras que las proyecciones piroclásticas se meteorizan rápidamente. Los bloques de lavas tipo AA tienen un proceso de alteración más veloz que los mantos de lava tipo pahoehoe (Winckell, 1997).

En las islas Galápagos existe una falta de microzonificación de suelos y una limitación respecto a la falta de laboratorios para el análisis, pero como se puede resaltar que la formación de la isla santa cruz es de hace aproximadamente 2 millones de años de origen volcánico y constituido por material rocoso basáltico (Balón y Balladares, 2018). Y existe la presencia de la meteorización de esta.

El basalto de acuerdo con estudios realizados cuenta con una velocidad de onda de corte ( $V_{s30}$ ) mínima de 271.27 m/s y máxima de 579.73 m/s, por lo cual si se trabajase con el promedio se podría categorizar como suelo tipo "C" por presentar valores entre 300 m/s y 720 m/s como se describe en el capítulo 2 en la sección 3.2.1 de la NEC-15.

De acuerdo con las consultas técnicas realizadas sobre el tema al experto geológico como el Ing. Miguel Ángel Chávez Moncayo quien menciona que: "En la parte interior de la Isla se encuentra la presencia de Roca Basáltica producida por extrusiones ígneas o producto de

erupciones volcánicas provenientes del punto caliente que se encuentra bajo las Islas, sobre esta roca se encuentra la presencia de **suelos coluviales**, las cuales se originan por la meteorización y erosión de la roca y proceden de las partes altas de la Isla. Estos suelos coluviales pueden tener espesores variados pudiendo llegar hasta unos 10 m o más de profundidad dependiendo del sitio sobre el cual se requiera cimentar algún tipo de estructura. Estos pueden tener una capacidad portante entre 10 a 15 T.”, razón por la cual en esta investigación se ha seleccionado un **tipo de suelo “D”** a más de considerar el valor mínimo de velocidad de onda de corte de roca basáltica con un valor aproximado de 271.27 m/s encontrándose en el rango de 180 m/s y 300 m/s de acuerdo con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente en nuestro país. Adicionalmente podemos tomar en cuenta que la sobrecarga que se generaría por la instalación de paneles fotovoltaicos es mínima, pero si se debe considerar las zonas de riesgo que han sido analizadas en esta investigación.

### **Evaluación de la exposición ante las amenazas.**

Las amenazas estudiadas son aquellas de sismo y tsunami que se pueden presentar sin previo aviso teniendo en cuenta que estos fenómenos naturales hasta la fecha son impredecibles y se pueden exponer a lo largo de las 308 hectáreas aproximadamente de la zona de estudio en la cual se encuentra toda la infraestructura de Puerto Ayora.

## **Capítulo 4: Metodología y resultados para análisis de riesgo**

En este capítulo mostraremos gráficamente los resultados obtenidos tras los respectivos análisis metodológicos aplicados en esta investigación para la determinación de los lugares más vulnerables y el riesgo al que se encuentran expuestos al presentarse las amenazas tanto de sismo como de tsunami.

### **Tipo de investigación**

En este estudio se decidió realizar una investigación aplicada debido a que se utilizó métodos existentes, como la metodología FEMA P-154 (sismo) y FEMA P-646 (tsunami) con la finalidad de conocer la vulnerabilidad de la infraestructura de Puerto Ayora, los datos de campo se obtuvieron a través de fuentes digitales y una gran base de datos catastral proporcionada por la Municipalidad de Santa Cruz, tales como mediciones, características físicas, tipología y muchos más. Por lo cual el desarrollo será prospectivo y transversal.

Este estudio es descriptivo ya que en esta investigación se describen las características principales de la infraestructura de Puerto Ayora e interpreta el objeto en estudio.

Mediante el procesamiento de datos y resultados, este estudio es cuantitativo, no experimental y no altera variables de estudio tales como cito (Kerlinger y otros, 2000) “Una investigación no experimental está referida a investigar la realidad con una metodología ya establecida, esto debido a que el evento ya ha sucedido y no se puede manipular (Ita Cerna, 2021).

### **Índice de amenazas naturales**

Como se ha determinado anteriormente se ha identificado las amenazas naturales tanto de sismo como de tsunami, los cuales son fenómenos que no son controlables e influyen a la hora de calcular el índice de riesgo. En la Figura 55 se presenta la amenaza sísmica presente en galápagos con una caracterización de amenaza alta y un valor aproximado de 0.3 por

encontrarse categorizado en la Zona 3 de acuerdo con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción vigente y en la Figura 56 se muestra la amenaza de tsunami presente en Puerto Ayora la cual ha sido extraída de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencia (SNGRE) con su caracterización correspondiente.

### Figura 55

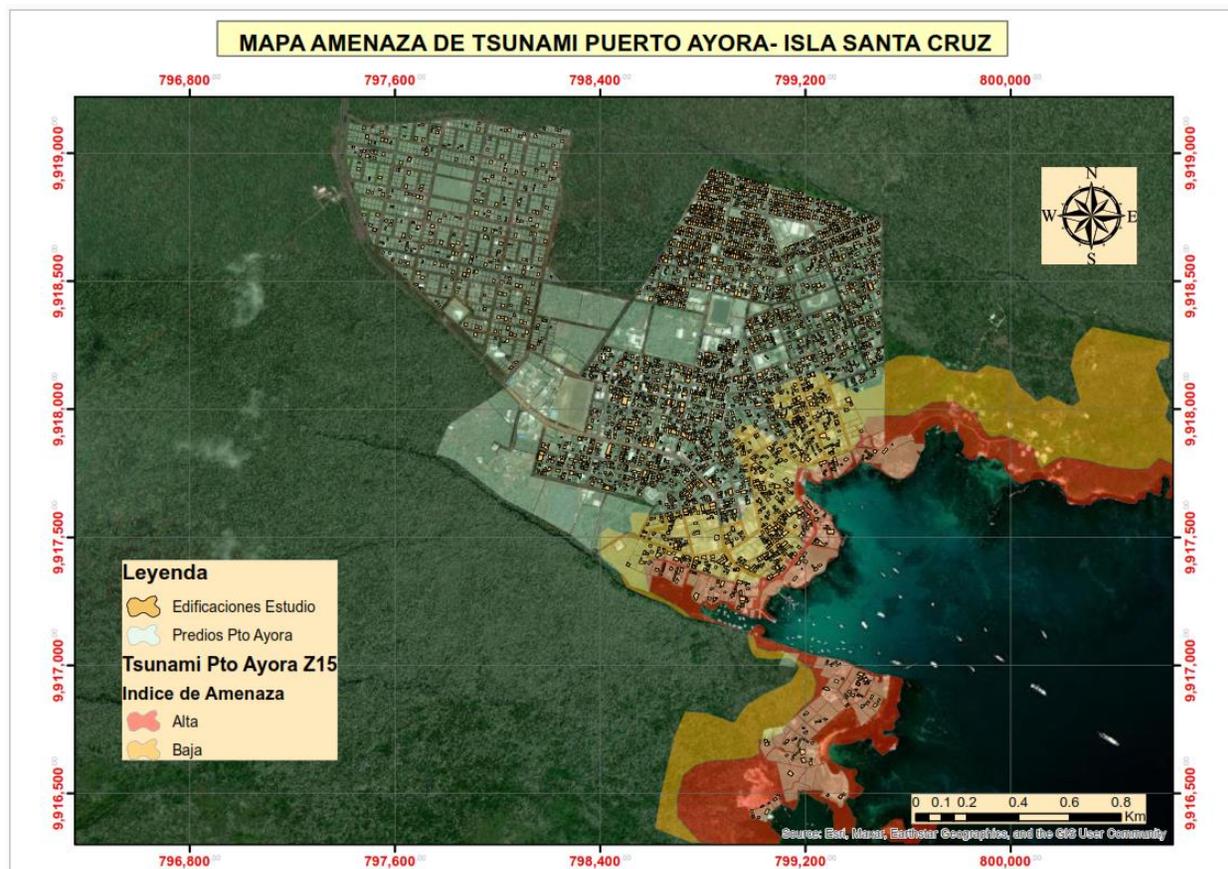
Mapa de amenaza sísmica de Puerto Ayora- Isla Santa Cruz



- En la parte de apéndices se presenta a mayor escala- A1.

Figura 56

Mapa de amenaza de tsunami en Puerto Ayora- Isla Santa Cruz



- En la parte de apéndices se presenta a mayor escala- A2.

### Grado de exposición

Las estructuras expuestas son todo el conjunto de elementos que son propensos a sufrir los daños y pérdidas una vez que se presente la amenaza. Estas estructuras se caracterizan por el tipo, la ubicación geográfica en la que se encuentran dentro de nuestra zona de estudio y su valor de reposición, para lo cual a continuación se presenta la Figura 57 con todas las estructuras que se encuentran presentes en Puerto Ayora. Cabe destacar que nos enfocamos tanto en viviendas, departamentos, hoteles y hostales.



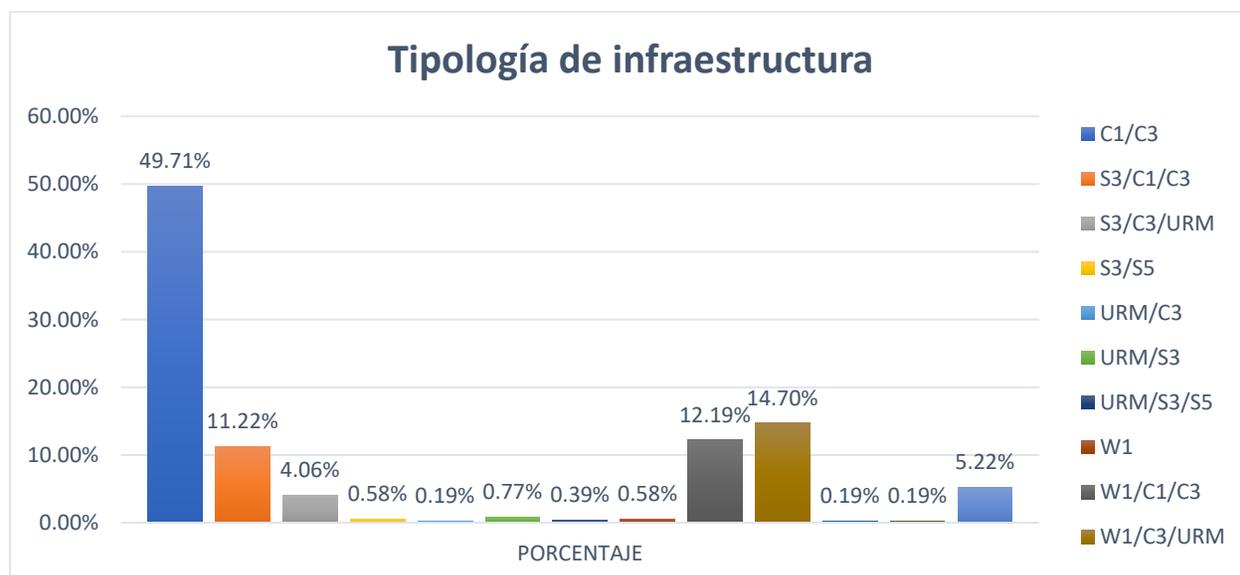
Tabla 10

Tipología infraestructura Puerto Ayora

Tipología	Cantidad	Porcentaje	Descripción tipología
<b>C1/C3</b>	257	49.71%	Hormigón
<b>S3/C1/C3</b>	58	11.22%	Hormigón mamp- Acero
<b>S3/C3/URM</b>	21	4.06%	Hormigón- Acero- Mampostería
<b>S3/S5</b>	3	0.58%	Acero
<b>URM/C3</b>	1	0.19%	Mampostería- Hormigón
<b>URM/S3</b>	4	0.77%	Mampostería- Acero
<b>URM/S3/S5</b>	2	0.39%	Mampostería- Acero mamp
<b>W1</b>	3	0.58%	Madera
<b>W1/C1/C3</b>	63	12.19%	Hormigón mamp- Madera
<b>W1/C3/URM</b>	76	14.70%	Hormigón- Madera- Mampostería
<b>W1/S3</b>	1	0.19%	Acero- Madera
<b>W1/S3/S5</b>	1	0.19%	Acero mamp- Madera
<b>W1/URM</b>	27	5.22%	Mampostería- Madera
<b>TOTAL</b>	<b>517</b>	<b>100.00%</b>	

Figura 58

Grafica representación tipología infraestructura Puerto Ayora



Como se puede observar en los resultados presentados con la estructuras analizadas en esta investigación existe un predominio de la tipología de hormigón con la clase C1 y C3 con un 49.71%, seguido de estructuras clase W1/C3/URM, con pórticos de hormigón con elementos de madera o mampostería con elementos de madera con un 14.70%, tenemos pórticos de hormigón con elementos de madera correspondiente a la clase W1/C1/C3 con 12.19% y pórticos de hormigón con elementos de acero representados por la clase S3/C1/C3 con un 11.22%.

A continuación, se presentan resultados en la Tabla 11 en función del tipo de materiales con los cuales han sido considerados a la hora de la construcción de la infraestructura presente en Puerto Ayora. Seguido de la Figura 59 que representa con una gráfica de barras la clasificación de dichos materiales.

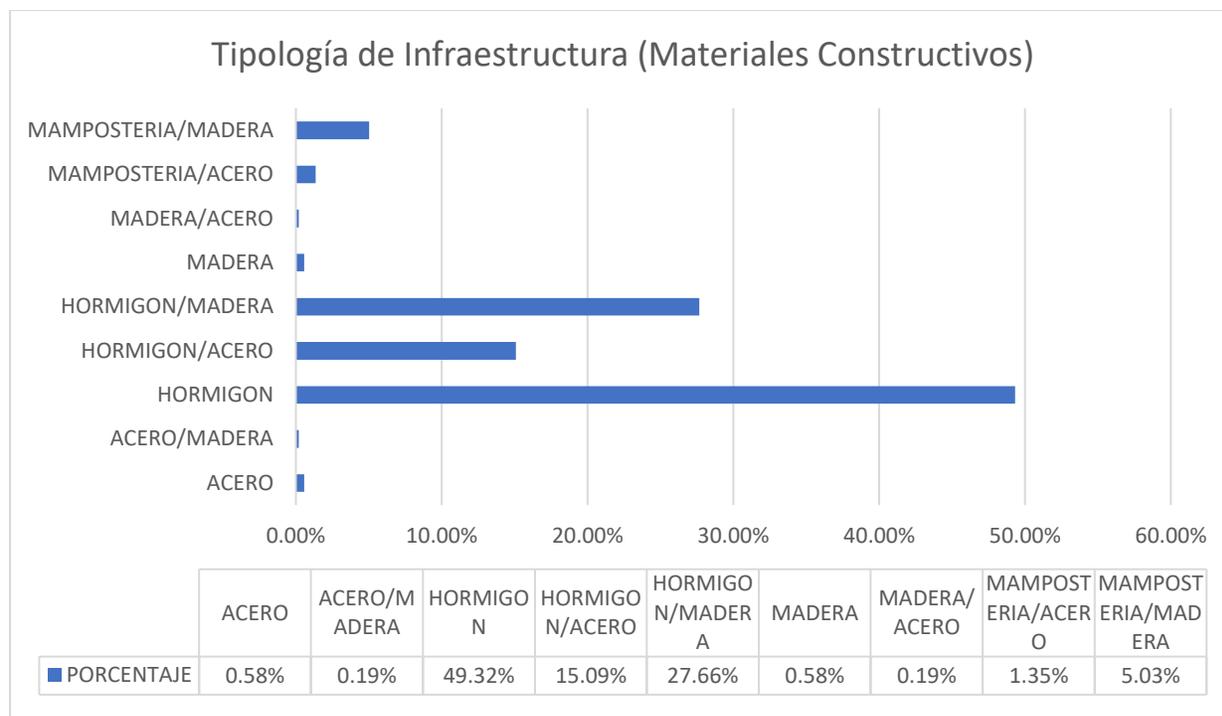
**Tabla 11**

*Resultados vulnerabilidad de muestra de catastros clasificado por tipo de materiales de Puerto Ayora*

<b>Estructura/Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Acero	3	0.58%
Acero/Madera	1	0.19%
Hormigón	255	49.32%
Hormigón/Acero	78	15.09%
Hormigón/Madera	143	27.66%
Madera	3	0.58%
Madera/Acero	1	0.19%
Mampostería/Acero	7	1.35%
Mampostería/Madera	26	5.03%
<b>TOTAL</b>	<b>517</b>	<b>100.00%</b>

**Figura 59**

Gráfica representación tipología infraestructura clasificado por tipo de materiales Puerto Ayora



En la Tabla 12 y 13 se muestran los resultados correspondiente al índice de vulnerabilidad categorizado desde alta a baja, respetando los límites que se han presentado en la teoría del capítulo 2 y lo establecido con la metodología FEMA P-154 al momento de realizar la inspección visual rápida. Estos valores se esquematizan en la Figura 60.

**Tabla 12**

Resultados vulnerabilidad de muestra de catastros Puerto Ayora

Tipología	Vulnerabilidad	Cantidad
C1/C3	Alta:0-2	257
S3/C1/C3	Alta:0-2	58
S3/C3/URM	Alta:0-2	21
S3/S5	Alta:0-2	3
S3/S5/URM	Alta:0-2	1
URM/C3	Alta:0-2	1

Tipología	Vulnerabilidad	Cantidad
URM/S3	Alta:0-2	4
URM/S3/S5	Alta:0-2	1
W1	Alta:0-2	1
W1	Baja;>2	2
W1/C1/C3	Alta:0-2	63
W1/C3/URM	Alta:0-2	76
W1/S3	Baja;>2	1
W1/S3/S5	Alta:0-2	1
W1/URM	Alta:0-2	27
<b>Total</b>		<b>517</b>

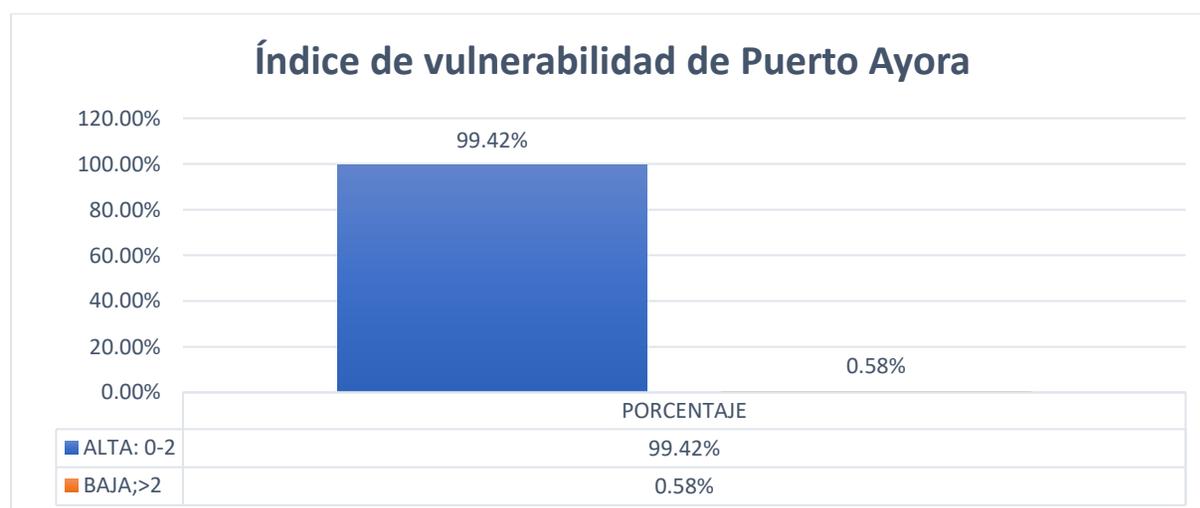
**Tabla 13**

*Resumen análisis vulnerabilidad Infraestructura Puerto Ayora*

Vulnerabilidad	Número	Porcentaje
ALTA: 0-2	514	99.42%
BAJA;>2	3	0.58%
<b>TOTAL</b>	<b>517</b>	

**Figura 60**

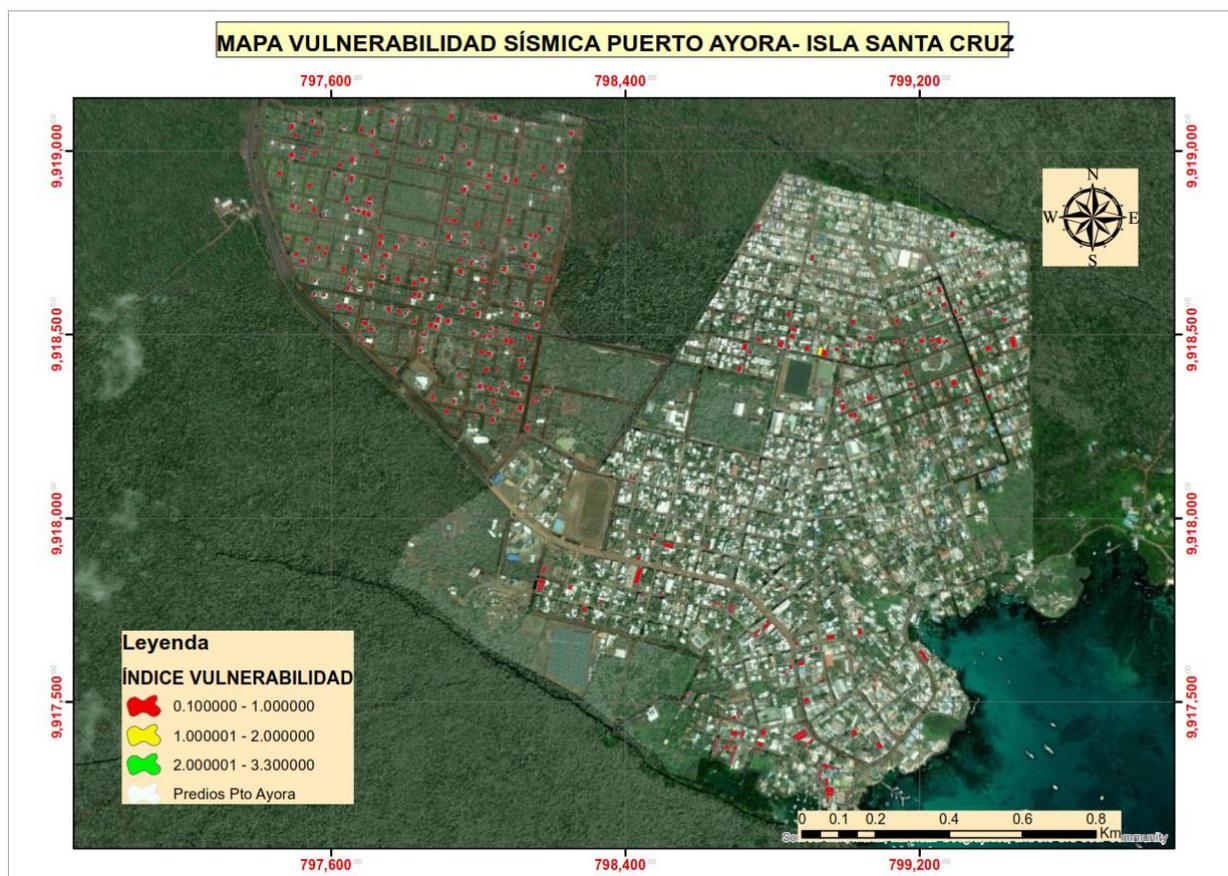
*Gráfica representativa de la vulnerabilidad de la infraestructura de Puerto Ayora*



Para que se pueda entender de mejor manera a continuación se detalla la Figura 61, en donde se puede visualizar todas las estructuras con los valores que se obtuvieron después de analizar la vulnerabilidad de aproximadamente 517 catastros que corresponden a 365 estructuras con sus diferentes tipologías y los cuales se encuentran adjuntos como apéndices de esta investigación. Y en la Figura 62 un resumen general con la vulnerabilidad sísmica categorizada como alta y baja.

### Figura 61

*Mapa de vulnerabilidad sísmica cuantitativa de la infraestructura de Puerto Ayora*



- En la parte de apéndices se presenta a mayor escala- A4.

Figura 62

Mapa de vulnerabilidad sísmica cualitativa de la infraestructura de Puerto Ayora



- En la parte de apéndices se presenta a mayor escala- A5.

### Parámetros para el cálculo del índice de riesgo

Este parámetro se deriva de la combinación de los componentes analizados anteriormente como la amenaza, las estructuras expuestas y la vulnerabilidad de la infraestructura, por lo cual el índice de riesgo tiene como objetivo estimar la probabilidad de una pérdida económica de las estructuras en análisis, sin considerar el factor humano el cual es prioritario pero no hemos investigado a fondo en este trabajo, tomando en cuenta que se enfocó solamente en la viabilidad de instalar técnicamente paneles fotovoltaicos sobre las estructuras que tenemos actualmente y en proyección en Puerto Ayora.

Para este capítulo se ha calculado el índice de riesgo con un método simplificado el cual se encuentra establecido por la expresión  $I_r = I_a * I_v$ , donde  $I_a$  representa el índice de amenaza y el de vulnerabilidad está representado por  $I_v$ . Por lo cual a continuación se presenta la Tabla 14 y Figura 63 un resumen de los índices de riesgo predominantes encontrados con sus respectivos porcentajes y un mapa que representa el índice de riesgo presente en Puerto Ayora detallado en la Figura 64.

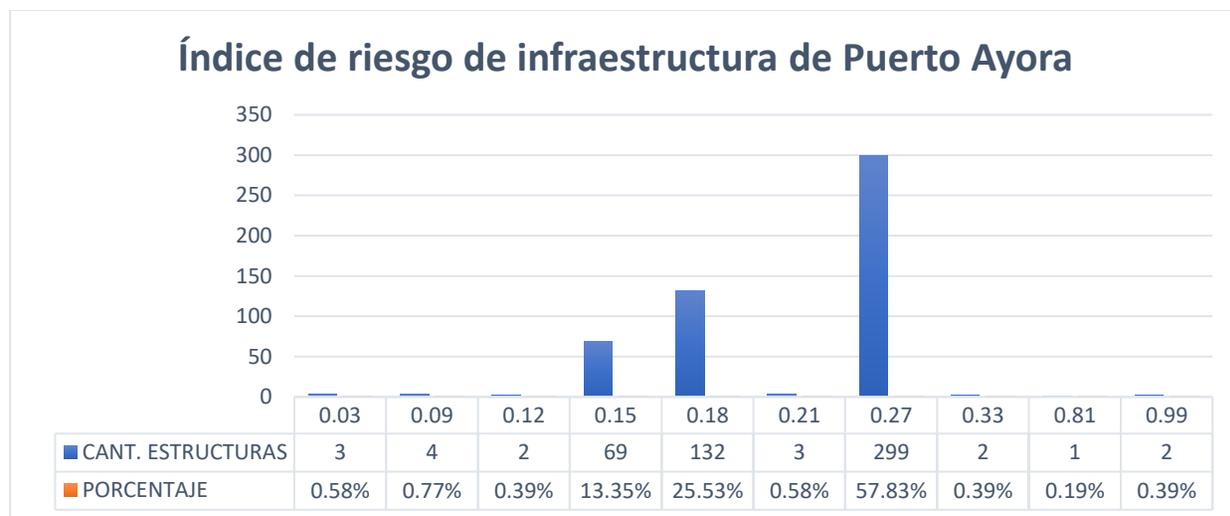
**Tabla 14**

*Resumen índice de riesgo infraestructura Puerto Ayora*

<b>Índice riesgo</b>	<b>Cant. Estructuras</b>	<b>Porcentaje</b>
0.03	3	0.58%
0.09	4	0.77%
0.12	2	0.39%
0.15	69	13.35%
0.18	132	25.53%
0.21	3	0.58%
0.27	299	57.83%
0.33	2	0.39%
0.81	1	0.19%
0.99	2	0.39%
<b>TOTAL</b>	<b>517</b>	<b>100.00%</b>

**Figura 63**

Gráfica representativa de índice de riesgo en la infraestructura de Puerto Ayora



**Figura 64**

Mapa con índice de riesgo sísmico en Puerto Ayora



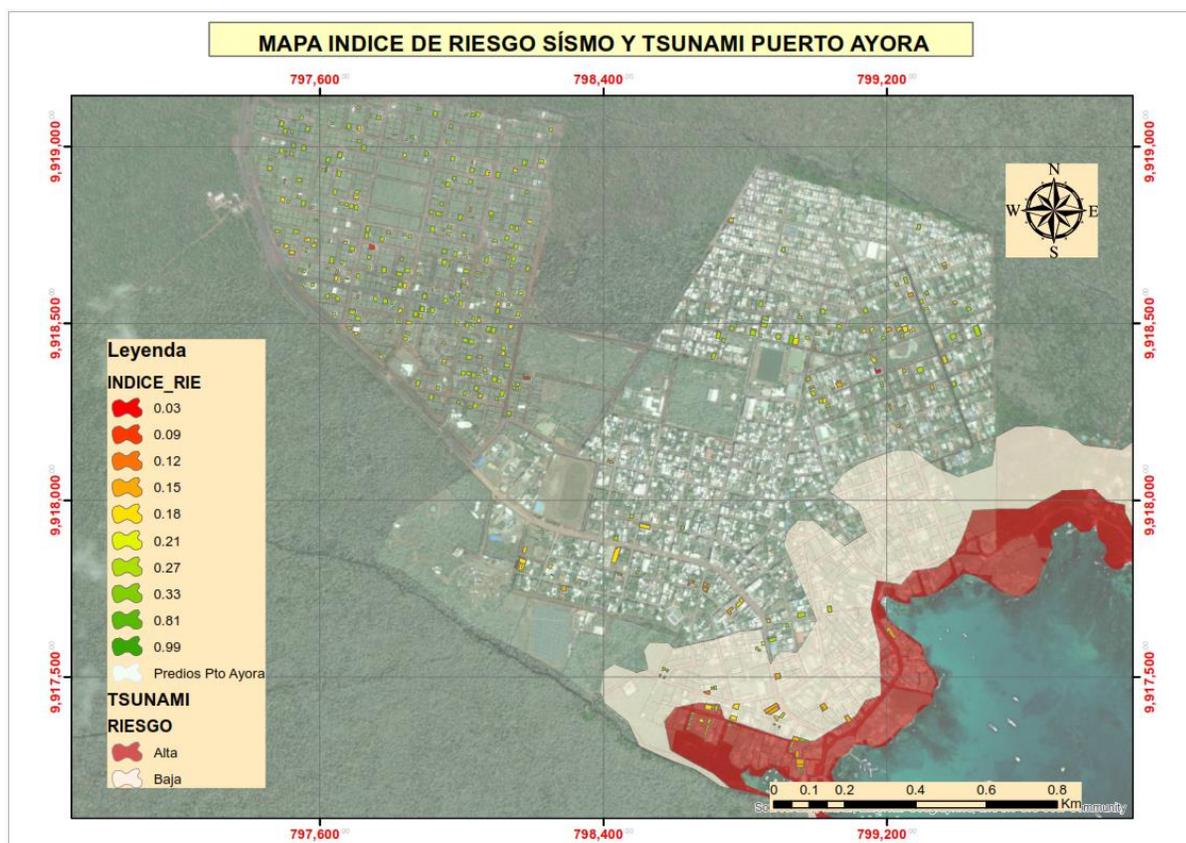
- En la parte de apéndices se presenta a mayor escala- A6.

### Modelo digital

Una vez procesada la información en la Figura 65 se presenta un mapa con los índices de riesgo tanto de sismo como de tsunami presentes en Puerto Ayora, así como todas las estructuras analizadas en esta investigación. Este mapa servirá para identificar los lugares más adecuados reduciendo la vulnerabilidad de cada una de las futuras edificaciones a través de estructuras sismo resistentes que eviten las irregularidades tanto en planta como en elevación al momento de planificar nuevas construcciones que se encuentren alejadas de zonas de riesgo.

### Figura 65

*Mapa con Índice de riesgo sísmico y tsunami en Puerto Ayora*



- En la parte de apéndices se presenta a mayor escala- A7.

## **Capítulo 5: Propuesta para la instalación técnica de paneles fotovoltaicos**

En este capítulo proporcionaremos criterios técnicos para la instalación de los paneles fotovoltaicos una vez que hemos identificado los riesgos presentes en el sector de estudio, se propondrá un sistema de instalación tomando en cuenta la tipología estructural que predomina en la isla.

### **Criterio para la ubicación de los paneles fotovoltaicos**

En este apéndice vamos a mostrar los criterios técnicos y procedimientos previos que se deben realizar para la instalación de paneles fotovoltaicos.

Como primer paso debemos conocer la ubicación y metodología que se va a aplicar, una vez que se identifica las amenazas con los que se va a trabajar, en nuestro caso se trataba de sismo y tsunami en la parroquia de Puerto Ayora.

Debemos identificar los parámetros que intervienen en el riesgo, es decir debemos conocer la vulnerabilidad de la infraestructura, en nuestro caso se trabajó con la metodología FEMA P- 154 para el sismo y para el tsunami se consideró lo establecido en el FEMA P- 646; la amenaza se lo ha conseguido en base a la Norma Ecuatoriana de Construcción- NEC 15 en el cual presenta la intensidad de la amenaza sísmica categorizado por zonas, y para el tsunami se trabajó con los mapas elaborados por la SNGRE institución que cuenta con información referente a la afectación de tsunami; y por último y no menos importante la exposición será el área en la cual va a influir la amenaza que en nuestro caso se trató de la parroquia Puerto Ayora.

Para el desarrollo de vulnerabilidad sísmica debemos conocer los valores  $SS$  y  $S1$  del sismo máximo esperado (MCE) el cual para nuestro estudio se ha mayorado con un factor de 1.50 al espectro de diseño (DE), para posteriormente seleccionar el formulario FEMA P-154. En nuestro estudio se han generado 365 formularios que se encuentran apéndices a esta

investigación. Para el tsunami se consideró la máxima inundación que puede tener nuestra zona de estudio.

Se procede a llenar los formularios FEMA P-154, para lo cual debemos contar como datos obligatorios para la elaboración correcta de este documento como el año de construcción, la configuración estructural (elevación y planta) y tipo de suelo. Otra información importante son todas las características estructurales y no estructurales de la vivienda en análisis.

Seguidamente se procesan los resultados con la ayuda de las herramientas digitales con las cuales se elabora una base de datos que almacenará los valores de cómo vulnerabilidad, amenaza y otros.

Finalmente podemos calcular el riesgo aplicando un método simplificado con los elementos que se ha considerado anteriormente y dependiendo de los resultados se pueden instalar los paneles fotovoltaicos o en su defecto pensar en reforzar la estructura con el técnico correspondiente previo a una posible instalación de paneles solares

En una segunda parte se presentarán criterios en función de los resultados obtenidos de la investigación como el tipo de estructura que se podría utilizar para la instalación de los paneles fotovoltaicos sobre las estructuras de Puerto Ayora.

Debemos contar con el profesional eléctrico indicado para poder instalar los paneles solares.

Debemos conocer la ubicación de la estructura para evaluar la irradiación solar que existe en el lugar de estudio para poder realizar la instalación de los paneles fotovoltaicos.

La estructura en la que se va a implementar deberá contar con el espacio necesario para poder colocar los paneles solares, a la par de esto debemos conocer el tipo de panel solar a utilizar en la estructura.

Se debe tener en cuenta como es la orientación de los rayos solares en el sitio que se instalará las estructuras eco amigables, que en nuestro caso caen en forma perpendicular por encontrarnos cercanos a la línea equinoccial.

Debemos escoger el tipo de arriostramiento con el cual se instalarán los paneles solares

Considerar el sistema de soporte que sea útil para sostener los paneles fotovoltaicos, como el sistema de soporte simplemente apoyado llamado balasto o tipo cercha, estos deberán garantizar su anclaje cumpliendo con las normas de diseño vigentes.

Existe un amplia gama de formas para instalar paneles solares, pero en nuestro caso como la tipología de estructura que predomina en Puerto Ayora son de Hormigón (C1/C3) y se encuentra el espacio libre en la terraza a continuación se presentara una metodología para poder instalar de forma puntual en este caso de estudio.

### **Alternativas de instalación técnica de paneles fotovoltaicos con losas planas**

En nuestro país existen empresas que ofertan opciones de paneles solares tales como fotovoltaicos y térmicos, los cuales en gran medida son provenientes de China por lo cual los proveedores ofertan una misma marca en común de estos paneles.

La instalación de paneles solares se clasifica de acuerdo con las necesidades energéticas de los proyectos que se encuentran en función de la potencia que requieren para la obtención de energía. Existen paneles con varias dimensiones y pesos que van directamente relacionados a la potencia que se necesita, por lo que para este punto se requiere de un técnico especializado para que proponga el panel que mejor se adapte a la estructura de trabajo.

***Superficie de instalación***

Debemos seleccionar la superficie en la cual vamos a colocar los paneles buscando la orientación más adecuada para la instalación de los paneles evitando obstáculos, para lo cual debemos conocer el área donde se va a instalar y el área que ocupará los paneles.

***Sistema de montaje de los paneles fotovoltaicos***

Actualmente en nuestro país los proveedores no cuentan con fichas técnicas de montaje por tratarse de una tecnología relativamente nueva en nuestro país, Por lo general al momento de adquirir dichos paneles para zonas rurales se lo hace de manera rústica anclando sobre cualquier tipo de superficie o material accesible como madera o aluminio.

Las estructuras que soportan los paneles pueden colocarse directamente sobre la losa o aplicando algún peso extra que sea soportado con bloques de hormigón conocidos como balasto.

***Estructura de soporte con balasto***

Este es un sistema que se coloca sin anclaje y en países más desarrollados en donde existe un mayor desarrollo respecto a este tema podemos encontrar empresas que se encuentran dedicadas al montaje de estas estructuras. A continuación, se presenta la Figura 66 con un ejemplo de este tipo de soporte.

**Figura 66***Soporte de balasto para el panel fotovoltaico*

*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

Esta estructura depende tanto de las dimensiones del panel solar y la inclinación necesaria en el lugar de emplazamiento. Existen estudios en donde determinan que la inclinación requerida se encuentra en un rango entre  $0^\circ$  hasta  $30^\circ$  con dirección hacia el norte para así captar la mayor cantidad de rayos solares. Nuestra zona de estudio se encuentra cercana a la zona ecuatorial, por lo que tenemos que los rayos solares caen en forma perpendicular, por lo cual los soportes se podrían instalar hasta unos  $10^\circ$  de inclinación para autolimpieza y no exista acumulación de polvo, granizo, agua que puedan caer sobre el panel (Cano Usiña & Dávila Revelo, 2021).

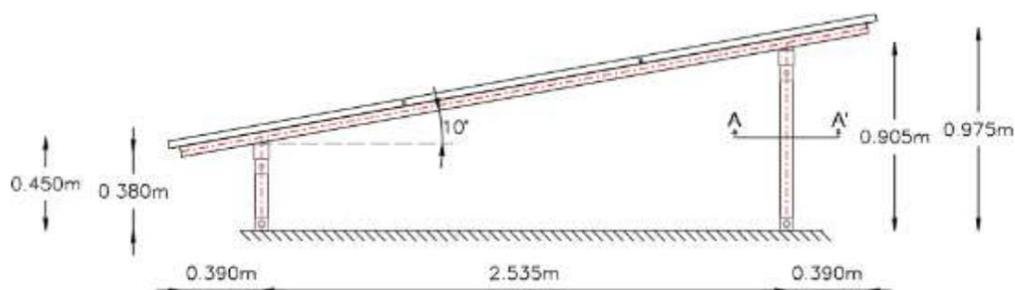
***Sistema de anclaje sobre la losa***

Se puede instalar un sistema de montaje que se acople a las dimensiones que presentan los paneles solares conservando los criterios del sistema de montaje de balasto, ubicación para la instalación de los paneles, la inclinación aproximada de  $10^\circ$  hacia el norte como se representa en la Figura 67. y 68. Este sistema varía tomando en cuenta que la ASCE

7 no especifica espacios mínimos que deben existir entre los sistemas anclados por lo que se recomienda el cálculo de la proyección de sombra, distancia de circulación y mantenimiento de los paneles que se presentan más adelante.

### Figura 67

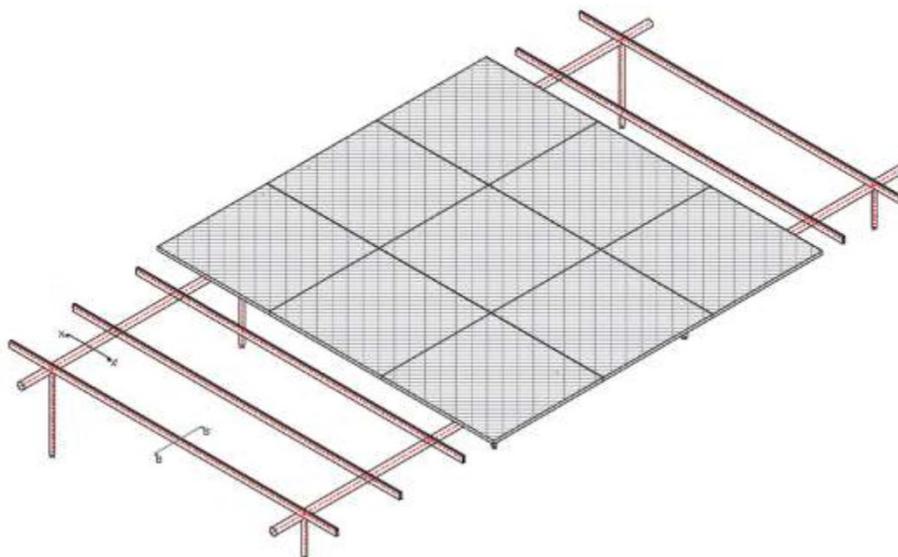
*Dimensiones e inclinación - Sistema de montaje de anclaje sobre losa*



*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

### Figura 68

*Representación para la colocación de paneles solares sobre el sistema de montaje sobre losa*



*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

## **Propiedades mecánicas y comportamiento estructural**

El peso de los paneles solares y su sistema de soporte, así como la estructura de balasto pueden ser consideradas como carga muerta (ASCE 7-16).

### ***Aspectos generales de la estructura***

De acuerdo con la normativa ASCE 7-16 en el capítulo 13 menciona que los paneles con estructuras de balasto se podrán colocar en estructuras con una categoría de riesgo I, II y III, que tengan como máximo 6 pisos y la pendiente del techo sea menor o igual a 1:20 es decir terrazas planas

## **Cálculos estructurales generales**

### ***Distribución geometría de los paneles fotovoltaicos con estructura de balasto***

En el capítulo 13 de la Norma ASCE 7-16 se establecen consideraciones sísmicas para la instalación de los paneles solares con estructura de balasto, incluyendo las consideraciones tanto de su ubicación geométrica, así como la superficie de emplazamiento.

Para lo cual primero calcularemos el desplazamiento sísmico relativo tomando en cuenta que la norma ASCE 7-16 señala que cada panel está diseñado para que se acomode al movimiento sin impacto, inestabilidad o daño al soportar un desplazamiento sísmico relativo  $\delta_{mpv}$  hacia cualquier borde, u obstrucción en la superficie del techo que impida su corrimiento y esta no debe ser menor a 0.61 m y se calcula de acuerdo con la ecuación (5.1) (Cano Usiña & Dávila Revelo, 2021).

$$\delta_{mpv} = 5I_e(S_a - 0.4)^2 \quad (5.1)$$

Donde:

$\delta_{mpv}$  = desplazamiento sísmico relativo, m

$I_e$  = factor de importancia de la estructura del caso de estudio

$S_a$ = pseudoaceleración espectral de diseño, m/s<sup>2</sup>

El coeficiente de importancia ( $I_e$ ) se lo puede establecer según la Norma Ecuatoriana de Construcción (2015), capítulo Peligro Sísmico, así como la pseudoaceleración espectral ( $S_a$ ) que se lo determina a partir del espectro de diseño obtenido con el procedimiento indicado en la Norma Ecuatoriana de Construcción, capítulo Peligro Sísmico.

Una vez calculado el desplazamiento sísmico relativo se procede a calcular la separación mínima entre los paneles conforme a lo que nos recomienda la ASCE 7-16 y corresponde a  $0.50 \delta_{mpv}$ , espacio que debe estar libre de cualquier obstrucción y delineado con señales o marcas y se puede apreciar en la ecuación (5.2) (Cano Usiña & Dávila Revelo, 2021).

$$\text{Separación de paneles} = 0.50 \delta_{mpv} \quad (5.2)$$

El desplazamiento sísmico  $\delta_{mpv}$  puede ser determinado en una tabla de prueba sísmica o con un análisis de respuesta no lineal, por lo que el valor  $\delta_{mpv}$  no debe ser menor al 80% del valor obtenido con la ecuación (5.1) (Cano Usiña & Dávila Revelo, 2021).

Los bordes de la superficie de la terraza en donde se van a instalar los paneles deben estar limitados por un bordillo o antepecho que no sea menor a 0.30 m de altura y diseñados para resistir cargas concentradas no menores a  $0.2 * S_a * W_{panel}$  en los posibles puntos de impacto entre el antepecho y panel. Los paneles pueden estar instalados a una distancia no menor a 1.22 m o  $2.0 \delta_{mpv}$  medido desde cualquier borde del techo.

### ***Consideraciones generales para evitar la sombra***

Debemos tomar en cuenta la separación que existe entre los paneles evitando que estos presenten o generen sombra alguna, debido a su altura e inclinación o la altura de antepechos que puedan obstruir a los demás paneles adyacentes. Para lo cual se muestra a continuación se presenta la expresión (5.3) que se encuentra en función de la latitud en donde

serán instalados los paneles y la altura que genera sombra. En la Figura 69 y 70 se representan las distancias que se deberán tomar en cuenta al momento de instalar los paneles fotovoltaicos.

$$s = \frac{h_{elem}}{tg(61-latitud)} \quad (5.3)$$

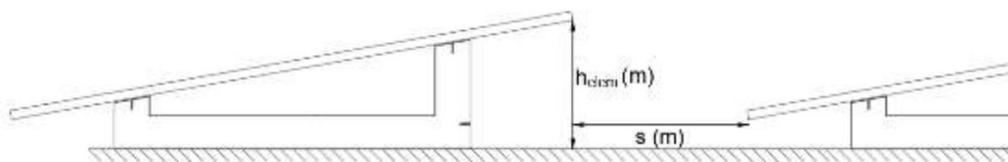
Donde:

$h_{elem}$  = Altura del elemento que genera sombra, m

Latitud = valor del lugar de emplazamiento de los paneles solares

### Figura 69

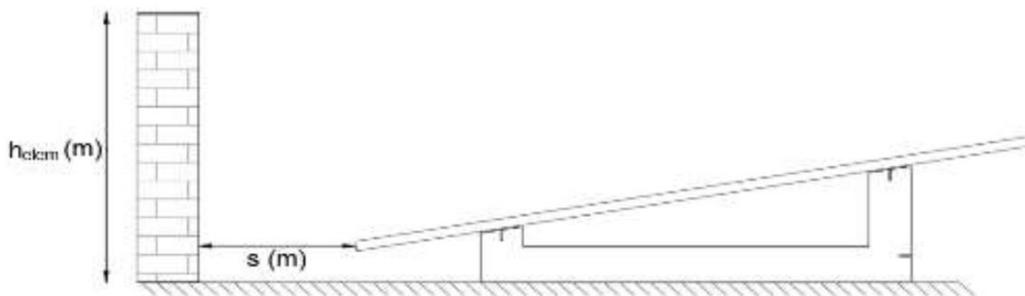
*Mínima distancia para evitar sombras entre los paneles*



*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

### Figura 70

*Mínima distancia entre el antepecho y panel para evitar sombras*



*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

Adicional debemos considerar un distancia mínima de circulación y montaje de los paneles para lo cual se puede tomar una distancia mínima de 0.60 m, en las especificaciones de montaje del soporte se puede dejar una distancia entre paneles de 0.90 m.

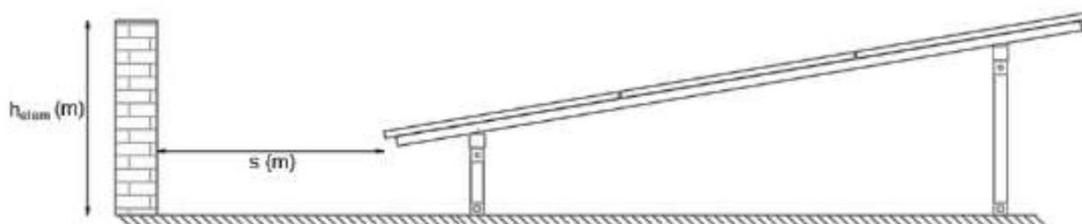
Como última recomendación se debe calcular todas las fuerzas que intervienen estructuralmente considerando las fuerzas de interconexión, fuerzas cortantes entre el balasto y los pernos de anclaje, fuerza de fricción verificando que no existan deficiencias estructurales y comprobando que la fuerza de fricción es mayor que la fuerza sísmica lo cual nos garantiza que el sistema de montaje en conjunto con los paneles fotovoltaicos no se desplacen sobre la superficie de la terraza al momento de la presencia de la amenaza sísmica.

### ***Distribución geometría de paneles anclados sobre losa***

Para esta instalación podemos considerar la distancia mínima de sombra como se expresó en la ecuación (5) en donde se tomó la de los antepechos, así como la que se produce por la presencia de los paneles solares como se presenta en las Figuras 71 y 72 mostradas a continuación:

#### **Figura 71**

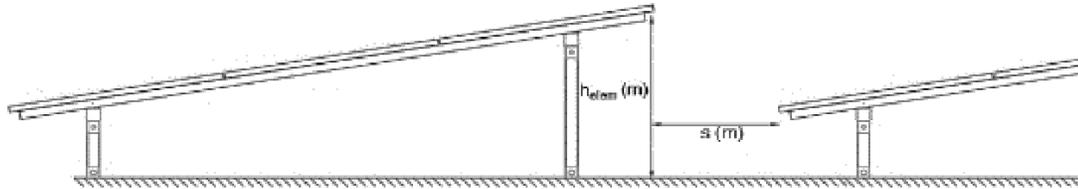
*Distancia de la sombra generada entre el antepecho y el panel en sistema anclado sobre losa*



*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

**Figura 72**

*Distancia de sombra entre paneles adyacentes con sistema anclado sobre losa*



*Nota.* Tomado de Cano, M. & Dávila, C. (2021).

Al igual que el otro sistema de anclaje podemos tomar 0.60 m como distancia mínima para la circulación de las personas y el transporte de las herramientas necesarias para la instalación y posterior mantenimiento de los paneles.

## Conclusiones

Para la identificación del peligro o amenaza sísmica se ha considerado un espectro sísmico (DE) del NEC-15 con un periodo de retorno de 475 años, el cual ha sido mayorado con un factor de 1.50 para conseguir un espectro estimado para el sismo máximo considerado (MCE) con un periodo de retorno de 975 años basado en un peligro uniforme, debido a que en esta investigación la metodología utilizada se ha desarrollado en base a la normativa internacional como ASCE 7-16 y FEMA P-154 y requirió esta información para su desarrollo.

En este estudio se ha podido comprobar que la mayoría de estructuras de Puerto Ayora que se encuentran en la zona costera y sus alrededores fueron construidas antes del año 2000, por lo cual de acuerdo con los formularios de Inspección Visual Rápida FEMA P-154, existe un muy alto grado de sismicidad con una vulnerabilidad alta, siendo necesario una evaluación de nivel 2 el cual requiere mayor detalle de información (planos, inspección visual en el interior de la estructura, verificación de elementos estructurales, existencia de peligros no estructurales, ensayo de materiales constructivos, estudios geotécnico, configuración estructural y otros que se encuentren de acuerdo con el criterio del técnico encargado) previo a la instalación de paneles fotovoltaicos.

El peligro de Tsunami ha sido representado como alto y bajo considerando una altura máxima de aproximadamente 10 m, el cual se ha tomado de la base de datos del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, identificando el bloque constructivo existente en Puerto Ayora, la información catastral que ha sido proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz, con la cual se ha podido conocer tanto sus características constructivas, área del predio, el número de pisos y la altura de cada predio.

En Puerto Ayora de acuerdo con los cálculos realizados se puede evidenciar que predominan estructuras compuestas por Pórticos de Hormigón Armado (C1) o (C3) que corresponde a Pórticos Hormigón Armado con mampostería de relleno sin refuerzo con

aproximadamente un 49.71 % de las estructuras existentes de Puerto Ayora hasta la fecha y se han identificado para considerar la implementación de paneles fotovoltaicos, que al momento de instalarlos requieren los criterios de especialistas en el campo.

Una vez que se ha realizado la evaluación de vulnerabilidad, con la normativa FEMA P-154 de 517 predios, correspondientes a 365 estructuras se ha determinado que el 99.42 % cuenta con un índice de vulnerabilidad comprendido entre 0 a 2 y solamente el 0.58 % con un valor de vulnerabilidad mayor a 2, lo que nos indica que se requiere una investigación a mayor detalle con todas las pruebas técnicas que requiera y posea la estructura, previo a instalar los paneles solares sobre su cubierta.

Se ha identificado que aproximadamente un 49.32 % de las estructuras analizadas en esta investigación están construidas con hormigón, adicional a esto existen sistemas mixtos como hormigón con madera con un 27.66 % o hormigón con acero con un 15.09 %, dando un total de 92.07 % de estructuras construidas con hormigón que predominan en Puerto Ayora.

El índice de riesgo se encuentra con un valor de 0.27 correspondiente a 299 predios que representan el 57.83 %, lo que nos indica gráficamente que está en una posición 7/10, en esta investigación se utilizó un método simplificado directo para el cálculo del índice de riesgo, por lo cual debemos mejorar el índice de vulnerabilidad si queremos mejorar la valoración del riesgo, ya que la amenaza es un fenómeno que no podemos cambiar y que depende de la naturaleza del evento, que para nuestro caso es impredecible. Por lo cual debemos considerar estructuras que cumplan con criterios de sismo- resistencia y aquellas que se encuentren sobre los 10 m de altura para instalar paneles fotovoltaicos.

## Recomendaciones

En esta investigación se realizó una inspección de nivel 1 con la metodología FEMA P-154 dándonos mapas que contienen el índice de riesgo, vulnerabilidad y amenaza presente en Puerto Ayora. Por lo cual se podría realizar un nivel de investigación más profundo (el cual no ha sido desarrollado por la gran extensión que conlleva a este estudio, que podría ser otro tema de análisis directamente en la zona de interés) para determinar otros valores nuevos de vulnerabilidad tanto sísmico como de tsunamis.

En caso de contar con estructuras construidas antes del año 2000, se debería plantear un estudio estructural para cada estructura, con la finalidad de mejorar el sistema estructural reforzándolo para aumentar su índice de vulnerabilidad, a fin de aumentar directamente el índice de riesgo, para una posible instalación de paneles fotovoltaicos.

La instalación de paneles fotovoltaicos podría ser considerado en gran parte en estructuras nuevas, que vayan a construirse con la normativa vigente NEC-15 o cualquier nueva actualización de este código o aquellas que hayan sido construidas a partir del año 2015 y aquellas que se encuentren sobre los 10 m de altura.

En la Urbanización “El Mirador” existen muchos predios baldíos, es decir sin ninguna estructura visible, terrenos que a lo largo de toda su extensión se encuentran libres o exentos de la amenaza causada por tsunamis, sin embargo, la amenaza sísmica se encuentra presente y está en función del tipo de estructura como se ha analizado en esta investigación, por lo cual se recomienda optar por construir estructuras que cumplan con toda la normativa vigente y los técnicos especialistas en cada campo.

Por la gran extensión de esta investigación no se pudo tocar otras amenazas que son muy importantes y de gran impacto con el lugar de estudio, por lo cual debería ser un tema de investigación la amenaza volcánica en especial en la Isla Santa Isabela que cuenta con

volcanes activos que pudiesen tener influencia en la Isla Santa Cruz y la amenaza de viento que influirá en la instalación técnica de paneles fotovoltaicos.

Esta investigación podría servir como base para que las entidades del estado encargadas de la mitigación de riesgos realicen mapas con los índices correspondientes a toda la población, que se encuentren expuestos a varias amenazas naturales, con la finalidad de socializar con la población y en caso de tener estructuras muy vulnerables se realice informes adecuados elaborados por los técnicos expertos en el campo para mejorar las estructuras en análisis.

## Bibliografía

- Alexa. (30 de Mayo de 2019). *Noticias ambientales*. Galápagos: población sigue creciendo y científicos temen impacto en la biodiversidad:  
<https://es.mongabay.com/2018/09/galapagos-ecuador-crecimiento-poblacional/>
- Augusti, G., Borri, C., & Niemann, H. (2001). *Is Aeolian risk as significant as other environmental risks?. Reliability Engineering System Safety*.
- Barckhausen, U., Ranero, C. R., Huene, R. v., Cande, S. C., & Roeser, H. A. (2001). Revised tectonic boundaries in the Cocos Plate off Costa Rica: Implications for the segmentation of the convergent margin and for plate tectonic models. *Journal of Geophysical Research*, 106, 19207-19220. <https://doi.org/10.1029/2001JB000238>
- Bernal Sánchez, J. E. (2016). Dimensionamiento e instalación de sistemas fotovoltaicos para demandas de consumo. *Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas*, 35.
- Bonilla, A., Durán, G., Bayón, M., Santelices, C., & y Villavicencio, J. (2020). VII. Puerto Ayora (Galápagos): Entre el turismo internacional y la expansión mediante redes clientelares. *Flacso Ecuador*, 42. <https://doi.org/ISBN: 978-9942-38-189-7>
- Cano Usiña, M. P., & Dávila Revelo, C. S. (2021). *Consideraciones sísmicas para la instalación de sistemas fotovoltaicos en terrazas planas de hormigón armado: Estudio de caso*. Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".
- Cazar Cadena, S. I. (2015). *Vulnerabilidad ante el cambio climático de los ecosistemas y especies icónicas de Galápagos*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE).

- GAD Municipal Santa Cruz. (2020). Agenda de reducción de riesgos del cantón Santa Cruz. (terremoto Y tsunami). *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Santa Cruz, Agencia Japonesa de Cooperación Internacional, SNGRE, Consejo de Gobierno Santa Cruz*, 1, 51.
- Garrido, D. O. (2009). *Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampollitas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile.
- Grupo Solinc S. de R.L. de C.V. (19 de Junio de 2019). *Países pioneros en la producción de energía solar*. Grupo Solinc S. de R.L. de C.V.: <https://gruposolinc.com/paises-pioneros-en-la-produccion-de-energia-solar/>
- Hayward, C. A. (2020). *Characterising seismic activity and hazard observed on Isla Santa Cruz, Galápagos*. The University of Edinburgh- School of GeoSciences.
- Ita Cerna, L. A. (2021). Estudio comparativo respecto FEMA P-154 y modal espectral respecto la vulnerabilidad sísmica de I. E. Señor De La Soledad, Ancash – 2021. *Universidad César Vallejo*, 130.
- Lonsdale, P. (1988). Structural pattern of the Galapagos microplate and evolution of the Galapagos triple junctions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93, 13551-13574. <https://doi.org/10.1029/JB093iB11p13551>
- Morales Topón, C. C. (2021). Consideraciones estructurales y geotécnicas para cimentaciones de sistemas de generación fotovoltaica en zonas rurales remotas. *Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"*, 188.

- Moreano, H., Arreaga, P., & Nath, J. (2012). The 2010 Chilean tsunami: Behavior on the Ecuadorian coast and the Galapagos islands. *Journal of Tsunami Society Internacional-Science of Tsunami Hazards*, Vol. 31(No. 3), 200. <https://doi.org/ISSN 8755-6839>
- Moreno Bungacho, D. P. (2019). Análisis de Factibilidad de la implementación de corriente continua en viviendas familiares aisladas de la red en las Islas Galápagos. *Universidad Politécnica de Valencia*, 172.
- Moreta Viscarra, J. V. (2015). Evaluación estructural mediante el fema 154 del NEC y propuesta de reforzamiento del Centro Educativo Juan Pablo I del DM Q. *Universidad Central del Ecuador (UCE)*, 225.
- Moya Cajas, M., & Arroyo, D. (2015). Análisis de los resultados de la operación del catamarán “Génesis Solar” en el estrecho de Itabaca (Islas Galápagos). *INER*, 6.
- Nájeras Herranz , J. C. (2005). *El mapa de riesgos de la naturaleza. MAPFRE. Gerencia de riesgos y seguros. División de Grandes Riesgos* (Vol. 23).
- Nistor, I., Palermo, D., Nouri, Y., Murty, T., & Saatcioglu, M. (2009). Tsunami-Induced Forces on Structures. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, 261- 286.  
[https://doi.org/https://doi.org/doi:10.1142/9789812819307\\_0011](https://doi.org/https://doi.org/doi:10.1142/9789812819307_0011)
- Palacios Espinoza, J. M. (2019). *Evaluación estructural de un edificio existente como refugio vertical ante sismo y tsunami en el distrito de La Punta*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Panasonic Newsroom Global. (30 de Enero de 2020). *Sustainable Solar Power Solution on a Remote Japanese Island Creates an Affluent Life in the Present with Eye on 2050*. Sustainable Solar Power Solution on a Remote Japanese Island Creates an Affluent Life in the Present with Eye on 2050: <https://news.panasonic.com/global/stories/873>

- PDOTSC. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santa Cruz*. Cantón Santa Cruz.
- Pérez Larco, G. E. (2019). *Caracterización de las fisuras eruptivas y morfologías de los volcanes Wolf y Alcedo del Archipiélago de Galápagos: Aporte a la evaluación de amenaza volcánica*. Quito: Escuela Politécnica Nacional (EPN).
- Reinoso Ordóñez, W. S., & Sánchez Jumbo, D. J. (2022). *Diseño e implementación de electrificación en un sector rural del Golfo de Guayaquil mediante sistema fotovoltaico aislado*. Universidad Politécnica Salesiana (UPS).
- Rentería, W. (2013). Pronóstico de tsunamis para las islas Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 18(1), 151-161.
- Rentería, W., Lynett, P., Weiss, R., & De La Torre, G. (2012). Informe de la investigación de campo de los efectos del tsunami de Japón Marzo 2011, en las islas Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 17(1), 177-203. <http://hdl.handle.net/1834/4719>
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Rivas Tabares, M. Á. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas de madera en San Andrés de Tumaco ante cargas de sismo y tsunami*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, F., Cruz D'Howitt, M., Toulkeridis, T., Salazar, R., Ramos Romero, G. E., Recalde Moya, V. A., & Padilla, O. (2016). The economic evaluation and significance of an early relocation versus complete destruction by a potential tsunami of a coastal city in

Ecuador. *Journal of Tsunami Society International- Science of Tsunami Hazards*, 35(1), 33. <https://doi.org/ISSN 8755-6839>

Villacrés Cañizares, L., & Suárez Toscano, A. (2011). *Estudio de factibilidad para instalación de paneles fotovoltaicos en la residencia estudiantil de la universidad de GRANMA*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Vizconde Campos, A., & Delgado Suárez, R. (2018). Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones existentes en la Isla Isabela, Galápagos. *Journal of Science and Research- Revista de Ciencia e Investigación*, 3(ICCE), 102-109. <https://doi.org/10.26910/E-ISSN: 2528-8083>

## Apéndices