

**Relieved foundations for expansive and soft soils in the Santa Isabel  
Cantón, Ecuador.**  
**Cimentación aliviada para suelos expansivos y blandos en el Cantón  
Santa Isabel, Ecuador**

**Autores:**

Arq. Saavedra-Piedra, Pablo Xavier  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Maestría en Construcciones  
Cuenca – Ecuador



[pablo.saavedra.16@est.ucacue.edu.ec](mailto:pablo.saavedra.16@est.ucacue.edu.ec)



<https://orcid.org/0009-0004-4153-0056>

Dr. Paucar-Camacho, José Abelardo  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
Maestría en Construcciones  
Cuenca – Ecuador



[jose.paucarmacho@ucacue.edu.ec](mailto:jose.paucarmacho@ucacue.edu.ec)

[apaucar@ueb.edu.ec](mailto:apaucar@ueb.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0003-2722-1850>

Fechas de recepción: 17-JUN-2025 aceptación: 17-JUL-2025 publicación: 30-SEP-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



## Resumen

Las construcciones en la región han sufrido daños principalmente por deficiencias en las características del suelo y las cimentaciones. Este estudio se llevó a cabo en el cantón Santa Isabel, Ecuador, una zona con alta actividad sísmica y tectónica, lo que incrementa su vulnerabilidad estructural. Se planteó como objetivo analizar el suelo para desarrollar una propuesta técnica de cimentación aliviada adaptada a suelos expansivos y blandos. Se utilizó un enfoque cualitativo con método analítico-descriptivo, revisando bases de datos de eventos de desastre, 18 sondeos geotécnicos provenientes de estudios privados en las parroquias Santa Isabel y Abdón Calderón, y documentación técnica sobre cimentaciones. Los resultados muestran antecedentes de daños por sismos y deslizamientos, ubicando al área en la zona III de alta amenaza sísmica según la (Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-2015). Los tipos de suelo predominantes son C y D, caracterizados como suelos blandos. Se recomienda el uso de losas de cimentación aliviadas, complementadas con tratamientos de mejora del suelo. Asimismo, se insta al GAD del cantón a fortalecer y aplicar estrictamente la normativa de construcción vigente para fomentar edificaciones seguras y sostenibles, (Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-2015).

**Palabras claves:** cimentación; edificaciones; suelos blandos; suelos expansivos



## Abstract

Buildings in the region have suffered damage primarily due to deficient soil and foundation characteristics. This study was conducted in the Santa Isabel canton of Ecuador, an area with high seismic and tectonic activity, which increases its structural vulnerability. The objective was to analyze the soil to develop a technical proposal for lightweight foundations adapted to expansive and soft soils. A qualitative approach with an analytical-descriptive method was used, reviewing disaster event databases, 18 geotechnical surveys from private studies in the parishes of Santa Isabel and Abdón Calderón, and technical documentation on foundations. The results show a history of damage from earthquakes and landslides, placing the area in Zone III of high seismic hazard according to the Ecuadorian Construction Standard (NEC-2015). The predominant soil types are C and D, characterized as soft soils. The use of lightweight foundation slabs, complemented by soil improvement treatments, is recommended. Furthermore, the canton's GAD (Government of Ecuador) is urged to strengthen and strictly enforce current construction regulations to promote safe and sustainable buildings (Ecuadorian Construction Standard – NEC-2015).

**Keywords:** foundation; buildings; soft soils; expansive soils



## Introducción

América Latina y el Caribe se encuentran entre las regiones más propensas a sufrir los efectos de eventos sísmicos. Ejemplos significativos incluyen el terremoto de magnitud 9.5 ocurrido en Valdivia, Chile, en 1960, que causó cerca de 2.000 muertes y dejó a unos 2 millones de personas afectadas; el sismo de Ecuador en 1906 con una magnitud de 8.8, que dejó entre 500 y 1.500 víctimas; el terremoto de Perú en 1970, de 7.8 grados, con aproximadamente 66.000 fallecidos; y el devastador sismo en Haití de 2010, de magnitud 7.0, que cobró alrededor de 316.000 vidas (BBC News Mundo, 2017). El impacto de los sismos sobre las edificaciones varía según el tipo de suelo. Por ello, los estudios sobre efectos de sitio permiten comprender cómo se modifican los movimientos sísmicos al atravesar distintos terrenos dentro de una misma región (Universidad Nacional del Cuyo, 2016). Cuando las ondas sísmicas se propagan por suelos rocosos tienden a atenuarse, mientras que en suelos blandos (arenosos, finos o arcillosos) se amplifican, generando fenómenos como licuación, asentamientos diferenciales o resonancia, lo que aumenta el riesgo de daños estructurales (Instituto Geofísico del Perú, 2020). Las cimentaciones superficiales en suelos blandos pueden provocar deformaciones permanentes tras un sismo, lo que compromete la estabilidad de las estructuras (Xin, Haojiang, & Yingxiong, 2025). Por esta razón, en zonas con este tipo de suelos, se recomienda optar por cimentaciones profundas (Peduto, y otros, 2016). Además, los suelos expansivos con alto contenido de arcillas que absorben agua presentan una problemática adicional: su volumen cambia significativamente, afectando la estabilidad de las edificaciones. La magnitud del daño depende del potencial expansivo del terreno y de las características estructurales de la edificación, pudiendo incluso generar fallas irreversibles (Colorado Geological Survey, 2025; Zapata & Angelone, 2018). En Estados Unidos, se ha reportado que este tipo de suelo ha ocasionado más pérdidas económicas que los desastres naturales combinados como terremotos, huracanes o inundaciones (Jones y Jefferson, 2012 en Peralta-Tingal, 2021). Las estrategias para mitigar estos efectos incluyen el reemplazo con suelos granulares, instalación de drenajes, estabilización de terreno o empleo de cimentaciones profundas (Peralta-Tingal, 2021).



Los estudios geotécnicos son fundamentales para el diseño estructural, ya que permiten determinar el sistema de cimentación adecuado y prevenir fallas. Además, fomentan construcciones más seguras, eficientes y duraderas (EGC Consulting, 2023). En suelos expansivos, es esencial controlar la humedad del terreno o aislar la estructura del contacto directo con el suelo (Hernández-Valerio, 2024). En el caso de suelos blandos con baja capacidad portante, una solución efectiva es el uso de cimentaciones alivianadas (KNAUF INDUSTRIES, 2024). En Ecuador, según DesInventar – Sendai (1970-2023), se registraron 233.745 viviendas afectadas por eventos naturales. Los sismos fueron responsables del 9,5% de los casos, seguidos por deslizamientos con el 4,2%. En cuanto a viviendas destruidas (33.553), los terremotos fueron la causa principal con el 37,1%, y los deslizamientos ocuparon el cuarto lugar con el 8,2%. Estos datos evidencian la necesidad de realizar estudios geotécnicos que permitan prevenir afectaciones futuras en edificaciones. En el cantón Santa Isabel, provincia de Azuay, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2030, aproximadamente el 75% del territorio se encuentra expuesto a amenazas medias, altas o muy altas por movimientos de masa. Además, el 77,27% del cantón se ubica en zona de amenaza sísmica media y el 22,73% en zona de alta intensidad sísmica. Otros riesgos incluyen inundaciones, incendios forestales y sequías (GAD Santa Isabel, 2020). Por ello, el Plan de Uso y Gestión del Suelo 2021-2032 propone identificar y zonificar áreas de riesgo para destinarlas a protección ambiental mediante medidas regulatorias específicas (GAD Santa Isabel, 2021). Este estudio tiene como finalidad “analizar el tipo de suelo para elaborar una propuesta de cimentación alivianada para suelos expansivos y blandos en la zona urbana del cantón Santa Isabel”. Se aplicó una metodología cualitativa, con sistematización de información técnica y científica existente, la cual se espera sea replicable en territorios con características similares.

## Metodología

El presente estudio se desarrolló en el Cantón Santa Isabel, el mismo se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, al Sur de Ecuador. Según el (INEC, 2022), esta jurisdicción tiene una población de 20.733 hab. y cuenta con aproximadamente 12.643 viviendas, distribuidas



en un área de 82.692,99 ha (CONALI, 2023). El cantón está conformado por dos parroquias urbanas, Santa Isabel y Abdón Calderón centro y cuatro rurales: Abdón Calderón, Shaglli, El Carmen de Pilijí y San Salvador de Cañaribamba (GAD Santa Isabel, 2020). La investigación centró su análisis en las zonas urbanas de las parroquias Santa Isabel y Abdón Calderón, tal como se ilustra en la Figura 1.

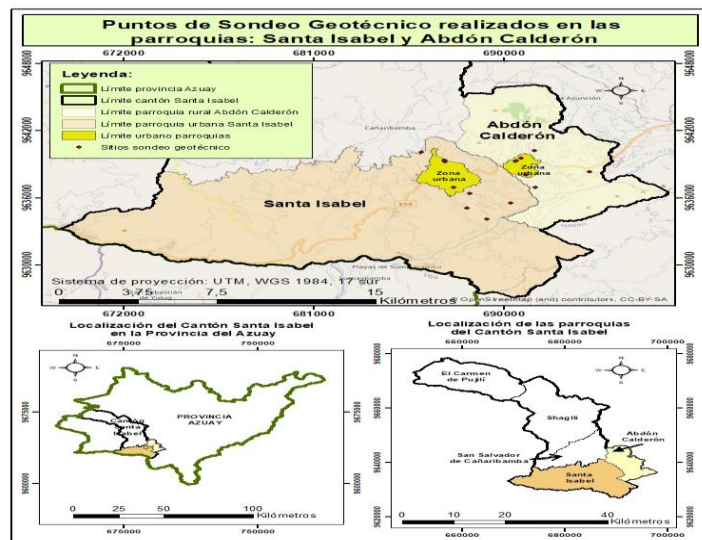
En las áreas seleccionadas, se llevaron a cabo estudios geotécnicos que incluyeron un análisis exhaustivo de cada predio. Para ello, se identificó el sitio específico donde se realizaría el sondeo para la obtención de muestras de suelo. Este proceso de muestreo implica la extracción de muestras a diferentes profundidades, lo que garantiza una representación adecuada del perfil del suelo.

Una vez recolectadas las muestras, se procede a realizar un **análisis de laboratorio**. En esta fase, se determinan las propiedades físicas del suelo, tales como la textura, densidad y porosidad, así como sus propiedades químicas. Estos análisis son fundamentales para evaluar la resistencia del suelo y su capacidad para soportar estructuras de construcción.

Los resultados obtenidos permiten caracterizar el tipo de suelo presente en cada área y, en consecuencia, formular recomendaciones adecuadas para la cimentación, asegurando así la estabilidad y seguridad de los futuros proyectos de construcción.

**Figura 1.**

*Puntos de Sondeo Geotécnico realizados en las parroquias: Santa Isabel y Abdón Calderón*



**Nota:** Los límite provincial, cantonal y parroquial corresponde a la fuente de la Comisión Nacional de Límite Internos (CONALI, 2023).

Para esta investigación se adoptó un enfoque cualitativo, utilizando el método analítico-descriptivo. A través del análisis de bases de datos históricas, se evaluaron los antecedentes de eventos naturales que han causado daños a viviendas en el cantón. Además, se recopilaron y sistematizaron 18 estudios geotécnicos realizados por entidades privadas en la zona de intervención. Estos datos fueron fundamentales para identificar las características geotécnicas del suelo. También se incluyó una revisión documental de fuentes secundarias especializadas, estudios técnicos y bibliografía relevante, lo cual permitió desarrollar una propuesta de lineamientos técnicos para cimentaciones alivianadas aptas para suelos blandos y expansivos.

## **Resultados**

### **Antecedentes históricos de eventos de desastres naturales y afectación a las viviendas del Cantón Santa Isabel**

Revisada la base de datos de DesInventar – Sendai, durante el periodo de 1971 a 2023 (DesInventar - Sendai, 2025), como se muestra en la tabla 1, el cantón Santa Isabel ha experimentado principalmente deslizamientos, incendios en estructuras, inundaciones y sismos, entre otros incidentes. No obstante, los deslizamientos y los sismos han sido los eventos que más daño y destrucción han causado en las viviendas. Además, es importante señalar que en el cantón han ocurrido eventos peligrosos relacionados con las características del suelo, como deslizamientos, sismos, hundimientos y socavamientos, que pueden comprometer la integridad de las construcciones.

#### **Tabla 1.**

*Eventos peligrosos y afectación a las viviendas del cantón Santa Isabel, período 1971 al 2023*



Tipo de evento	Número de eventos		Viviendas afectadas		Viviendas destruidas	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Deslizamiento	17	32,7	54	60,7	16	29,1
Incendio estructural	14	26,9	7	7,9	10	18,2
Desbordamiento / inundaciones	6	11,5	3	3,4	4	7,3
Sismo	4	7,7	13	14,6	18	32,7
Colapso estructural	3	5,8	0	0,0	1	1,8
Hundimientos	2	3,8	4	4,5	0	0,0
Aluvión	1	1,9	8	9,0	6	10,9
Déficit hídrico	1	1,9	0	0,0	0	0,0
Explosión	1	1,9	0	0,0	0	0,0
Socavamiento	1	1,9	0	0,0	0	0,0
Accidente	1	1,9	0	0,0	0	0,0
Accidente minero	1	1,9	0	0,0	0	0,0
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>100,0</b>	<b>89</b>	<b>100,0</b>	<b>55</b>	<b>100,0</b>

## **Caracterización de la amenaza sísmica y características geotécnicas de los suelos de las áreas urbanas del Cantón Santa Isabel.**

### **Amenaza sísmica de las áreas urbanas del Cantón Santa Isabel.**

Según el mapa de zonificación de peligros sísmicos del Ecuador de la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC elaborado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda – MIDUVI del año 2015 (NEC-2015), la parroquia urbana de Santa Isabel y la parroquia rural de Abdón Calderón se localizan en la zona III el cual significa un alto peligro sísmico con un grado de aceleración en roca de 0,30 gals (MIDUVIa, 2015); además, como se detalló en la tabla 1, el cantón registra afectaciones a viviendas por sismos, el evento corresponde al 18 de marzo de 2023 (DesIventar - Sendai, 2025).

### **Criterios de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) para perfil de suelo**

Para determinar el tipo de cimentación para las edificaciones, es necesario determinar el perfil del suelo del área de estudio, para ello, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) establece en el capítulo “Peligro sísmico, diseño sismo resistente” (NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismo resistente parte 1) los criterios para determinar los tipos de perfiles de suelos que se presentan en la tabla 2, los suelos de tipo A y B constituyen suelos duros, mientras que los tipos C, D y E corresponden a suelos blandos, en el caso del tipo F requieren en sitios específicos el análisis geotécnico a detalle por las condiciones especiales como suelos licuables o taludes inestables (MIDUVIa, 2015).



**Tabla 2.**

*Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda, que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50,0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50,0 > N \geq 15,0$ $100 \text{ kPa}$ $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Perfiles de suelo tipo F que requieran una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnia	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Asimismo, la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 define los lineamientos para calcular el coeficiente de amplificación del suelo, considerando tanto el tipo de perfil del subsuelo como el factor Z, el cual representa el nivel de amenaza sísmica de la zona. Una vez identificado el tipo de suelo, se establecen los valores del coeficiente de amplificación correspondiente al periodo corto ( $F_a$ ), en función del perfil geotécnico y del valor de Z. Según la tabla 3, para suelos clasificados como tipo C y D, y un factor Z de 0,30, los valores de  $F_a$  son 1,25 y 1,30 respectivamente (MIDUVIa, 2015).

**Tabla 3:**

*Factor de ampliación ( $F_a$ ) en función de zona (Z) y el perfil del suelo.*

Tipo de perfil del subsuelo	Factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
A	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,40	1,30	1,25	1,23	1,20	1,18
D	1,60	1,40	1,30	1,25	1,20	1,12
E	1,80	1,50	1,39	1,26	1,14	0,97



De igual manera, la NEC-2015 (MIDUVIb, 2015) establece los criterios para determinar la capacidad de carga admisible y diseño estructural, para ello, se debe catalogar el tipo de construcción que se va a emplazar en el terreno, con la finalidad de determinar parámetros de análisis de cálculo de la capacidad portante, los criterios se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4:**

*Clasificación de las unidades de construcción por categorías*

Clasificación	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4000
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4001 y 8000
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8000

**Características geotécnicas y perfil de los suelos de las áreas urbanas de Santa Isabel y Abdón Calderón**

Como se visualiza en la tabla 5, del total de 18 sondeos geotécnicos del área de estudio la mitad corresponden a al tipo de suelos C y D que corresponden a suelos blandos; por consiguiente, con base a los lineamientos de la NEC-2015 al ubicarse en la zona III de peligro sísmico con el valor Z de 0,30 g, para la cimentación, se determinará el coeficiente de amplificación del suelo corresponde al valor Fa para el tipo C de 1,25 y para D el 1,30, de igual forma, para la capacidad de carga admisible y el diseño estructural, para el suelo de tipo C y D al no superar los 800 kN de capacidad portante, la clasificación es baja con el nivel de construcción hasta 3 niveles, que son utilizadas para viviendas residenciales y quintas vacacionales (área rural), además, se incluye el tipo de cimentación y recomendaciones.

**Tabla 5.**

*Perfil de los suelos de las áreas urbanas de Santa Isabel y Abdón Calderón*

No. Sondeo	Tipo suelo	Vs 30	Mod. Elasticidad	Capacidad portante	Tipo cimentación	Recomendaciones	Estratificación
1	D	309	7290 KPA	483 KN	Muros	muros	Arcilloso consolidado
2	D		7290 KPA	400 KN	Cimentación	Desplazar el suelo capa 50 cm	Arcilloso consolidado
3	D		18000	800 KN	Cimentación	Cimentación superficial, 2 capas de 30 cm	
4	C	386		657 KN	Cimentación	Cimentación superficial y drenaje	
5	C		1962 KG/cm <sup>2</sup>		Cimentación	Piscina	
6	C	377	8632,96	500		Proyección de viviendas, drenajes	
7	C	377	58920	500		Proyección de viviendas, drenajes	
8	D	360				Cimentación profunda	
9	D			1,65 KG/cm <sup>2</sup>	Zapatas aisladas, arriostras bidireccionales	Cimentación min 1,75, sustituir suelo 0,50 cm 2 capas de 25 cm, canalización de aguas, no infiltrar al suelo	
10	D	360	6894	200	Zapatas corridas	Cimentación min 2m, sustituir suelo 0,40, drenes	Blanda y media
11	C	360	34470	1,93 KG/cm <sup>2</sup>	Zapatas aisladas	Cimentación min 1,5 m, sustituir suelo 0,30, drenajes	Arcilloso arenoso
12	D	360	4596	800	Zapatas corridas	Cimentación min 1,5 m, sustituir suelo 0,50	Blando
13	C				Zapatas aisladas, arriostras bidireccionales	Cimentación min 1,75 m, sustituir suelo 0,40	Arcilloso arenoso
14	C				Zapatas aisladas, arriostras bidireccionales	Cimentación min 1,75 m, sustituir suelo 0,40	Arcilloso arenoso
15	C				Zapatas aisladas, arriostras bidireccionales	Cimentación min 1,5 m, sustituir suelo 0,40	Arcilloso arenoso
16	D	360	20,28	600	Zapatas corridas	Cimentación min 1,5 m, sustituir suelo 0,50	Blando
17	C				Zapatas aisladas, arriostras bidireccionales	Cimentación min 1,5 m, sustituir suelo 1mt, las primeras capas debe estar constituido por piedras	Arcilloso arenoso
18	D	345	10909		Plintos aislados	Losa rigidizada, vigas perdidas bidireccional, sustituir suelo 0,40, pozos de absorción	Blando

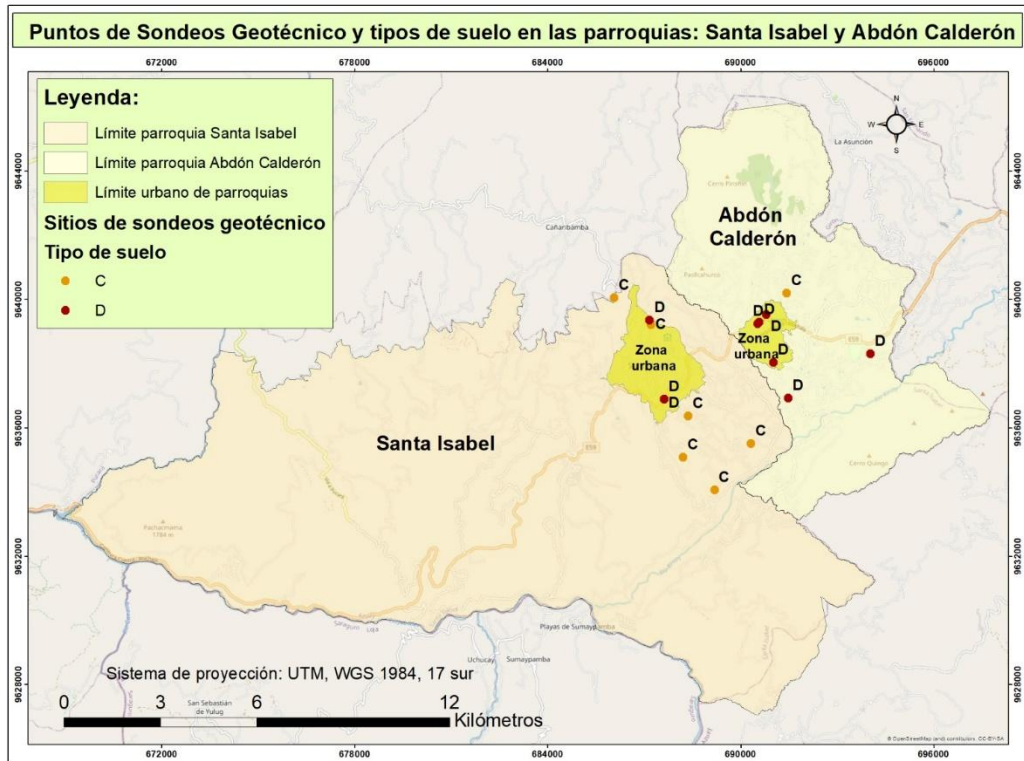
**Nota:**

Los resultados se basan en informes geotécnicos de estudios particulares para cimentación. En la figura 2 se representa los sitios de sondeos geotécnicos, en la parroquia Santa Isabel la mayoría son de tipo C, mientras que en la parroquia Calderón de tipo D, en las áreas urbanas de las dos parroquias se ubican suelos de tipo D.

**Figura 2:**

*Sitios de sondeos geotécnicos y tipo de suelo en las áreas urbanas de la parroquias de Santa Isabel y Abdón Calderón.*





### **Propuesta de lineamientos para la cimentación alivianada y resistentes para suelos expansivos y blandos del cantón Santa Isabel**

Los resultados de los apartados anteriores establecen que en la zona de estudio registra antecedentes de afectación por sísmicos y otros eventos peligrosos (deslizamientos, hundimientos y socavamientos) que han afectado a las edificaciones, así como, se ubica en la zona III de peligro alto a sismos (NEC-2015); en la zona de intervención (parroquias Santa Isabel y Abdón Calderón) los estudios geotécnicos disponibles determinan que prevalecen los suelos de tipo C y D y sus características de suelos blandos, la capacidad portante correspondería al nivel bajo de construcción hasta 3 niveles. Por tal razón, se desarrolla la propuesta o lineamientos para cimentaciones alivianadas para suelos blandos que permita prevenir daños en las edificaciones e infraestructuras que se desarrollarán en el Cantón Santa Isabel.

### **Técnicas constructivas para cimentaciones alivianadas**

En áreas con riesgo sísmico y suelos expansivos y blandos, como en Santa Isabel y Abdón Calderón, es fundamental emplear técnicas constructivas que disminuyan el peso de la

estructura y mejoren su resistencia ante sismos (Reinert, Duarte, Lugo, & De Sousa, 2013). Por esta razón, las cimentaciones deben adaptarse a las características del terreno para crear las condiciones más adecuadas para las edificaciones, evitando así que las infraestructuras sufran daños (Moya-Andino, 2015). A continuación, se presentan algunas técnicas constructivas para cimentaciones aliviadas.

**Zapatas aisladas:** Según (Méndez-Herrada, 2022), en suelos blandos y expansivos es recomendable utilizar zapatas aisladas que se apoyen sobre una capa de grava o material granular, lo que ayuda a disminuir la carga sobre el terreno. Además, es importante incorporar plintos aislados que contribuyan a la estabilidad de la estructura, manteniendo la estabilidad del terreno y previniendo deslizamientos y desplomes (Romo-Proaño, 2008), como se ilustra en la figura 3.

**Figura 3.**

*Plintos aislados*



**Vigas de cimentación:** (Romo-Proaño, 2008) sugiere el uso de vigas de cimentación en suelos de baja resistencia, permitiendo la integración lineal de la cimentación de varias columnas. Al conectar las columnas superficialmente mediante vigas de cimentación bidireccionales, así creando una malla de cimentación, como vemos en la figura 4. Además, las vigas aligeradas reforzadas son vigas de concreto con secciones transversales huecas que ayudan a reducir el peso de la estructura. Para suelos expansibles y colapsables, el refuerzo de estas vigas aligeradas se puede lograr utilizando materiales compuestos, como fibras de carbono o polímeros reforzados con fibra, que se incorporan a la estructura para aumentar su capacidad de carga y resistencia a las fuerzas externas.

**Figura 4.**

*Vigas de cimentación*



**Pilotes prefabricados:** de igual manera, (Romo-Proaño, 2008) considera que se utilizan pilotes prefabricados que se hincan en el suelo hasta llegar a capas más resistentes y estables, como se observa en la figura 5.

**Figura 5.**

*Pilotes prefabricados*



**Losas de cimentación:** Asimismo (Romo-Proaño, 2008) indica que, para integrar superficialmente la cimentación de varias columnas, al diseñar la cimentación con plintos aislados, cuando la superficie de cimentación excede el 25% del área total, es recomendable utilizar losas de cimentación, como se ilustra en la figura 6. Además, las losas aligeradas o alivianadas reforzadas consisten en losas de concreto con secciones transversales huecas que ayudan a reducir el peso de la estructura. En suelos expansibles y colapsables, la losa se refuerza con una malla de acero para incrementar su resistencia y prevenir deformaciones.

**Figura 6.**

*Losas de cimentación*



Además, (Garza-Vásquez, 2019) señala que en el diseño estructural de cimentaciones es fundamental considerar las losas de cimentación, las cuales pueden ser diseñadas y construidas de diversas maneras, que se describen brevemente a continuación:

**Losa Maciza:** Generalmente, requiere un mayor esfuerzo en las capas y un volumen considerable de hormigón, así como de refuerzo.

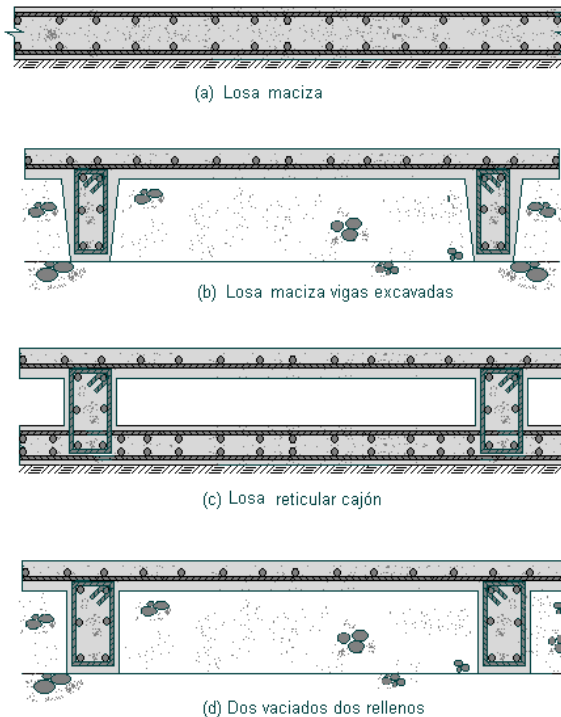
**Losa de Vigas Excavadas:** Este sistema consiste en una losa aligerada donde las vigas colgadas se excavan en el suelo, utilizándolo como formaleta, ya que permite una sección más alta para las vigas.

**Losa Reticular en Cajón:** Se construye una losa inferior apoyada sobre el suelo, en la que se embeben los vástagos para el armado de las vigas que forman la retícula. Estas vigas se construyen en un segundo llenado con su formaleta correspondiente.

**Losa Vaciada sobre Relleno:** Se realiza el llenado de las vigas utilizando formaleta; posteriormente, se efectúa un segundo llenado que sirve como formaleta para el vaciado de la losa.

**Figura 7.**

*Diversas formas de diseñar y construir una losa de cimentación*

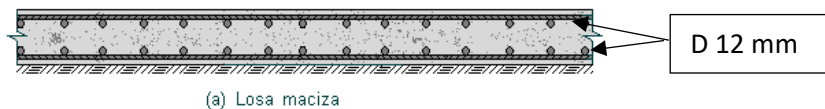


Igualmente, se recomienda al GAD del Cantón Santa Isabel la aprobación de los planos de construcción que incluyan el uso de losas de cimentación alivianadas, ya que son resistentes en zonas sísmicas. Este diseño propuesto ayuda a mitigar el impacto de desastres naturales sobre la población y la infraestructura del cantón, contribuyendo así a la seguridad de sus habitantes y edificaciones.

Por otro lado, (Garza-Vásquez, 2019) sugiere que, para las viviendas de interés social, que generalmente tienen una altura de 3 m, se debe considerar la cimentación con losas macizas de un espesor de entre 7 y 8 cm. La rigidez de estas viviendas se logra a través de los muros y no por el espesor de la losa, lo que permite utilizar la losa de cimentación como placa de piso. Además, se recomienda el uso de mallas electrosoldadas con un diámetro de 10 mm y un espaciamiento de 15 cm como refuerzo de acero. Para las losas de cimentación macizas de 30 cm de espesor, se sugiere emplear varillas de 1 mm con una separación de 20 cm entre ellas, colocadas de manera bidireccional (ver figura 8).

**Figura 8.**

*Losa de cimentación maciza*



(a) Losa maciza

### **Caracterización geotécnica de los suelos**

Según el Reglamento Ecuatoriano de la Construcción (MIDUVIa, 2015), los **suelos tipo C** corresponden a materiales poco cohesivos como arenas sueltas o limos, con una capacidad portante de aproximadamente **100–150 kPa**, y coeficiente de permeabilidad entre  **$10^{-4}$  a  $10^{-5}$  m/s**. Por su parte, los **suelos tipo D** son más blandos, como arcillas altamente plásticas o limos saturados, con capacidad portante de apenas **50–100 kPa** y permeabilidades tan bajas como  **$10^{-7}$  m/s** (Peduto, y otros, 2016).

Ambos tipos presentan alta compresibilidad, lo que incrementa el riesgo de asentamientos diferenciales. A esto se suma su **mala respuesta sísmica**, especialmente en zonas de actividad tectónica como el caso del cantón Santa Isabel (Seed & Idriss, 1982).

### **Justificación del uso de losas de cimentación**

La losa de cimentación tiene la capacidad de distribuir las cargas estructurales de manera uniforme sobre un área amplia, lo que disminuye el esfuerzo ejercido sobre el suelo y minimiza los asentamientos. Además, su diseño monolítico mejora el comportamiento sísmico del sistema estructural, reduciendo el riesgo de fallas en áreas localizadas.

La implementación de losas de cimentación en suelos clasificados como tipo C y D en el Cantón Santa Isabel se presenta como una solución técnica eficiente, sostenible y viable, tanto desde el punto de vista arquitectónico como de la ingeniería estructural. Este tipo de cimentación ayuda a mitigar los efectos negativos de suelos problemáticos, reduce los riesgos asociados a eventos sísmicos y mejora la estabilidad y durabilidad de las edificaciones.

Es crucial complementar su uso con estudios geotécnicos exhaustivos, monitoreo continuo y supervisión profesional en todas las etapas del diseño y la construcción. Bajo estas condiciones, las losas de cimentación constituyen una alternativa efectiva para fortalecer la infraestructura urbana en zonas vulnerables como Santa Isabel.

**Tabla 6**

*Comparación Técnica entre Suelos Tipo C y D y Recomendaciones de Diseño de Losa de Cimentación*

Parámetro	Suelo Tipo C	Suelo Tipo D
Descripción	Arenas sueltas o limos poco consolidados.	Arcillas plásticas o limos saturados.
Capacidad portante	100 – 150 kPa	50 – 100 kPa
Compresibilidad (Cc)	0.1 – 0.3	0.3 – 0.5
Permeabilidad (k)	$10^{-4}$ a $10^{-5}$ m/s	$10^{-7}$ a $10^{-8}$ m/s
Respuesta sísmica esperada	Moderada amplificación	Alta amplificación y potencial de licuación
Asentamientos esperados	Moderados	Significativos
Recomendación de espesor de losa	20 – 25 cm	25 – 30 cm (losa más robusta y reforzada)
Tipo de refuerzo sugerido	Varilla $\varnothing 12$ mm @ 20 cm o malla $\varnothing 10$ mm @ 15 cm	Varilla $\varnothing 12-16$ mm @ 20 cm (bidireccional)
Recomendación de drenaje	Tubos perimetrales de 100 mm, grava compactada y pendiente mínima de 1%	Sistema de drenaje más agresivo, mayor pendiente, membranas impermeabilizantes
Elevación de la losa	30 cm sobre el terreno natural	30-40 cm sobre el terreno natural
Monitoreo recomendado	Sensores de asentamiento $\pm 1$ mm	Sensores + control geotécnico periódico
Criterio estructural clave	Distribución uniforme de cargas	Prevención de deformaciones y asentamientos diferenciales

**Fuente:** Elaboración propia con base a: (Peduto, y otros, 2016); Garza-Vásquez (2019); NEC-SE-GDS-15 (MIDUVIa, 2015); (Seed & Idriss, 1982).



## Técnicas para mejoramiento del suelo

Entre las técnicas de mejoramiento del suelo para la cimentación de edificaciones en suelos blandos y expansivos, se pueden considerar las siguientes:

**Geotextiles:** Son materiales sintéticos permeables que se instalan entre el suelo y la estructura para distribuir las cargas de manera uniforme y reducir la deformación del suelo. Actúan como una capa protectora para las membranas impermeabilizantes, evitando daños mecánicos durante la construcción.

**Compactación Superficial con o sin Reemplazo:** Consiste en el uso de equipos rotatorios impulsados por un tractor para densificar los estratos superficiales mediante un proceso de compactación continua con el equipo sobre el sitio hasta alcanzar la densidad requerida.

**Compactación Dinámica:** Implica el uso de grúas para elevar y soltar desde grandes alturas masas que compactan el suelo debido al impacto, hasta lograr un grado de compactación predefinido.

**Vibro Compactación:** Se realiza la densificación del suelo mediante un vibro apisonador con frecuencia de impacto regulable.

**Geosintéticos:** Son elaborados con productos sintéticos q contienen de diferentes polímeros, utilizados en geotecnia para reforzar la superficie del suelo.

**Modificación química del suelo:** Este método se ejecuta mediante la inserción de mezclas profundas a través de perforaciones verticales utilizando equipos de mezcla rotatoria. El objetivo es generar columnas de suelo mejorado al incorporar materiales como cal, cemento, betún, entre otros aditivos. En el caso de las mezclas masivas, se intervienen grandes cantidades de terreno superficial con agentes químicos que incrementan sus características geotécnicas.

**Precarga:** Esta técnica implica la aplicación de una carga definida sobre un terreno compresible, con el propósito de consolidarlo y mejorar su comportamiento mecánico. En muchos casos, se incorporan drenes verticales para acelerar el proceso de consolidación.

**Columnas de grava:** Consisten en la inserción de materiales granulares dentro del terreno, utilizando agregados con granulometría controlada. Al compactarse, estas columnas generan estructuras densas que interactúan con el suelo adyacente, incrementando su capacidad de soporte.

**Inyecciones de compactación:** Se aplica una mezcla espesa compuesta de suelo, cemento y agua, la cual se inyecta para densificar el terreno mediante el desplazamiento del material circundante.

**Inyecciones a presión:** Este procedimiento emplea chorros de alta presión y velocidad que se introducen en perforaciones previas. El fluido inyectado se combina con el suelo, originando columnas o paneles tratados in situ.

**Inyecciones por permeación:** Utilizan una lechada de baja viscosidad introducida por gravedad, la cual penetra en los poros del suelo para reforzarlo y aumentar su resistencia al corte.

**Drenes verticales:** Se emplean para disipar el exceso de presión intersticial generado por cargas estáticas o dinámicas en suelos saturados, facilitando el proceso de consolidación.

### **Regulaciones en el diseño y ejecución de obras de construcción por el GAD cantón Santa Isabel**

Por parte del GAD cantón Santa Isabel debe desarrollar estudios geotécnicos para zonificar el territorio cantonal, los resultados permitirán fortalecer las regulaciones (ordenanzas) para el diseño e implementación de las infraestructuras considerando los tipos y características de los suelos; además, se incorpore en la normativa urbanística y los usos de suelo en el Plan de Uso y Gestión del Suelo – PUGS de 2021, así como, el fortalecimiento de los procesos de ordenamiento territorial en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - PDOT cantonal de 2020; de esta forma, propender al desarrollo de construcciones seguras y sostenibles.

### **Discusión**

El terremoto del 16 de abril de 2016, con epicentro en Pedernales (Ecuador), causó serios daños a las edificaciones. Entre las principales causas se identificó la tipología estructural, que exige que las edificaciones cuenten con una planta baja de 5 metros de altura, así como la amplificación de las ondas sísmicas debido a efectos del sitio (Aguiar & Mieles, 2016). En un estudio realizado por (Alcívar, Mieles, & Pierre Ostaiza, 2021) en la ciudad de Portoviejo, que se encuentra en la zona V de peligro sísmico muy alto con un valor  $Z \geq 0,50g$  según la norma NEC-2015, se estableció que la velocidad de onda de corte en suelos blandos oscila entre 180 m/s y 225 m/s.



Se llevó a cabo un análisis sísmico dinámico modal espectral utilizando los espectros de la norma NEC-15 para suelos tipo D y E. Los resultados mostraron que, en estructuras regulares de tres niveles, los espectros de respuesta son más altos en suelos tipo D, lo que podría resultar en daños significativos a las edificaciones. En la zona de estudio (parroquias Santa Isabel y Abdón Calderón), los sondeos geotécnicos disponibles revelaron que al menos la mitad de los sondeos identificaron suelos tipo D, con valores  $V_{s30}$  entre 309 y 360 m/s, clasificados como suelos blandos. Esta área se sitúa en la zona III de peligro sísmico, con un valor  $Z$  de 0,30g (NEC-2015), y ha registrado daños en edificaciones debido al sismo del 18 de marzo de 2023 (DesIventar - Sendai, 2025). Por lo tanto, los cálculos para el diseño estructural y las cimentaciones deben tener en cuenta las condiciones geotécnicas del tipo de suelo local y cumplir con la normativa NEC-2015.

En la investigación realizada por (Altamiranda-Martelo & Florián-Reinel, 2017), titulada “Análisis comparativo entre losas de cimentación macizas y aligeradas, sobre el terreno y sobre pilotes”, se determinó que las losas aligeradas sobre pilotes son una opción más económica (con un costo 13% menor) y requieren menos tiempo de ejecución en comparación con las losas macizas. Además, la diferencia en los asentamientos observados entre ambos tipos de losas fue mínima, sin que los asentamientos diferenciales representaran un riesgo para la construcción. Las losas aligeradas también contribuyen a reducir los asentamientos máximos. En este estudio, se propone utilizar losas de cimentación aligeradas como una alternativa para mitigar los asentamientos en construcciones sobre suelos blandos.

## Conclusiones

El análisis realizado en las áreas urbanas de las parroquias urbanas Santa Isabel y Abdón Calderón pertenecientes al cantón Santa Isabel ha puesto de manifiesto la **vulnerabilidad de las edificaciones** ante eventos sísmicos y deslizamientos, evidenciando daños significativos en las viviendas a lo largo del tiempo. Esta área se clasifica en la **zona III de alto riesgo sísmico**, con un valor de aceleración de **0,30 g**, lo que incrementa la necesidad de realizar estudios geotécnicos exhaustivos para garantizar la estabilidad de las construcciones. Los sondeos geotécnicos realizados han encontrado principalmente **suelos tipo C y D**, considerados **suelos blandos** debido a sus características específicas, como la velocidad de onda de corte ( $V_{s30}$ ) y la forma en que están estratificados. Estos suelos tienen una



**capacidad portante inferior a 800 kN**, lo que significa que no son suficientemente fuertes para soportar edificaciones altas. Por lo tanto, se recomienda construir **edificaciones de hasta tres niveles**, lo cual es adecuado para **viviendas residenciales y quintas vacacionales**.

Para asegurar la estabilidad de las construcciones, se recomienda utilizar **losas de cimentación aliviada**. Se sugiere el siguiente tipo de refuerzo para el diseño de la losa:

- **Suelo Tipo C:** Varilla Ø12 mm @ 20 cm o malla Ø10 mm @ 15 cm.
- **Suelo Tipo D:** Varilla Ø12-16 mm @ 20 cm (bidireccional).

Esto ayudará a:

- **Reducir Asentamientos:** Minimizar los hundimientos que pueden afectar la estructura, especialmente en elementos no estructurales como paredes y techos.
- **Disminuir Costos y Tiempos:** Facilitar la construcción, lo que puede resultar en ahorros económicos y una ejecución más rápida del proyecto.

Además, se sugiere complementar esta solución con **pilotes prefabricados** y realizar un **tratamiento de los suelos blandos y expansivos** para mejorar su comportamiento.

Es fundamental que el **Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD)** del Cantón Santa Isabel refuerce las regulaciones y el control en el diseño y la ejecución de estas construcciones. Esto garantizará que se sigan las mejores prácticas y se asegure la seguridad de las edificaciones en esta área.

## Referencias

- Aguiar, R., & Mielles, Y. (2016). Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 257-282. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/601/496>
- Alcívar, S., Mielles, Y., & Pierre Ostaiza, J. (2021). Estudio comparativo de análisis y diseño de estructuras aperticadas de hormigón armado, aplicando los espectros de la microzonificación sísmica del cantón Portoviejo y los espectros de la NEC-15. *RIEMAT. Revista de Investigación en Energía, Medio Ambiente y Tecnología*, 26-35. doi:<https://doi.org/10.33936/riemat.v6i1.3687>
- Altamiranda-Martelo, S., & Florián-Reinel, N. (2017). *Análisis comparativo entre losas de cimentación macizas y aligeradas, sobre el terreno y sobre pilotes*. Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería. Obtenido de



<https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/03cfe638-b107-49ac-9386-9d4b5b2dd955/content>

BBC News Mundo. (2017). Los 10 terremotos más potentes y mortíferos de la historia en América Latina. págs. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-41343606>.

Colorado Geological Survey. (2025). *Expansive Suelo y Roca*. Obtenido de <https://coloradogeologicalsurvey.org/hazards/expansive-soil-rock/>

CONALI. (2023). Shapefile de Organización Territorial del Estado por provincias, cantones y parroquias. (Consejo Nacional de Límites Internos - CONALI). Quito.

DesInventar Sendai. (2023). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres*. Obtenido de Ecuador: <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=ecu&continue=y&dataalg=LL>

DesInventar - Sendai. (2025). *Ecuador, Azuay, Santa Isabel*. (M. d. Desastres, Editor) Obtenido de <https://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp>

EGC Consulting. (2023). *Estudio de suelo para cimentaciones: Qué hay que saber antes de construir una estructura*. Obtenido de <https://egcconsulting.net/estudio-de-suelo-para-cimentaciones-que-hay-que-saber-antes-de-construir-una-estructura/>

GAD cantón Santa Isabel. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Santa Isabel 2020 - 2030*. Santa Isabel, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado - GAD del cantón Santa Isabel.

GAD cantón Santa Isabel. (2021). *Plan de Uso y Gestión del Suelo 2021 - 2032 del cantón Santa Isabel*. Santa Isabel, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado - GAD del cantón Santa Isabel.

Garza-Vásquez, L. (2019). *Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo a NSR-10*. (U. N. Medellín, Editor) Obtenido de <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/09/DISENO-DE-ESTRUCTURAS-DE-CIMENTACION.pdf>

Hernández-Valerio, C. (2024). *SOILSOLUTION, GEOPIER*. Obtenido de Conoce cómo mitigar los problemas asociados a suelos expansivos: <https://soilsolution.com/blog/cimientos-suelos-expansivos-estrategias-soluciones>

INEC. (2022). *Octavo censo de población y séptimo de vivienda*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Censo - INEC: <https://cubos.inec.gob.ec/AppCensoEcuador/>



- Instituto Geofísico del Perú. (22 de octubre de 2020). *Los efectos de los sismos en los tipos de suelo*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/309366-los-efectos-de-los-sismos-en-los-tipos-de-suelo>
- KNAUF INDUSTRIES. (2024). *Cimentación aligerada con EPS: estabilidad en suelos de baja capacidad portante*. Obtenido de <https://knauf-industries.es/cimentacion-aligerada-eps-en-suelos-baja-capacidad-portante>
- Méndez-Herrada, I. (2022). *Metodología para el diseño de cimentaciones superficiales en suelos expansivos con un modelo elastoplástico basado en esfuerzos efectivos*. Santiago de Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, tesis Maestría en Ciencias (Geotecnia). Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3320>
- MIDUVIa. (2015). *Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente*. (M. d.-N. MIDUVI, Editor) Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- MIDUVIb. (2015). *Geotécnica y cimentaciones*. (N. E.-2. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI, Editor) Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>
- Moya-Andino, G. (2015). *Estudio y análisis del comportamiento estructural de cimentaciones superficiales por efectos de consolidación del suelo de fundación, según la metodología propuesta por la norma ecuatoriana de la construcción*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, tesis de grado Ingeniería Civil. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/11738>
- Peduto, D., Nicodemo, G., Maccabiani, J., Ferlisi, S., D'Angelo, R., & Marchese, A. (2016). Investigating the behaviour of buildings with different foundation types on soft soils: two case studies in The Netherlands. *Procedia Engineering*, 529-534. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.484>
- Peralta-Tingal, S. (2021). *Caracterización de arcillas expansivas y mitigación de riesgos*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/22093>
- Reinert, H. O., Duarte, J. A., Lugo, A. A., & De Sousa, G. A. (2013). Evaluación de Esfuerzos y Asentamientos Diferenciales en Platea de Cimentación de Viviendas Sociales - Importancia del Modelo de Análisis Empleado. *Mecánica Computacional*, 3597-3615. Obtenido de <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4572>



- Romo-Proañó, M. (2008). *Temas de hormigón armado*. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/890713/temas-de-concreto-armado-marcelo-romo-proano-ed>
- Seed, H., & Idriss, I. (1982). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. Obtenido de [https://help.geostru.eu/geostruformula/es/spt\\_liquefazione.htm](https://help.geostru.eu/geostruformula/es/spt_liquefazione.htm)
- Universidad Nacional del Cuyo. (12 de septiembre de 2016). *Sismos, cómo impactan en los edificios de acuerdo al tipo de suelo*. Obtenido de [https://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=sismos\\_cmo\\_impactan\\_en\\_los\\_edificios\\_de\\_acuerdo\\_al\\_tipo\\_de\\_suelo&id=2770](https://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=sismos_cmo_impactan_en_los_edificios_de_acuerdo_al_tipo_de_suelo&id=2770)
- Xin, Z., Haojiang, S., & Yingxiong, W. (2025). Analysis of Seismic Response of Existing Stone Masonry Structures on Soft Soil Foundations. *Earthquake Research Advances*, 1-21. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eqrea.2025.100370>
- Zapata, R., & Angelone, S. (2018). *Tipos de suelo: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*. Rosario, Argentina: Universidad nacional del Rosario. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente, y Tecnología (CAT), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.

