

Zonificación de cargas portantes en suelos con incidencia sísmica en el sector sur de la ciudad de Guayaquil

Zoning of load-bearing soils with seismic incidence in the southern sector of the city of Guayaquil

Christian Eduardo Almendariz Rodríguez
Universidad de Guayaquil
christian.almendarizr@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5832-1654>
Guayas-Ecuador

Christian Arturo Merchán Sánchez
Universidad de Guayaquil
christian.merchans@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-6481-8385>
Guayas-Ecuador

Carlos Joshua Terán Intriago
Universidad de Guayaquil
carlos.terani@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-7524-7560>
Guayas-Ecuador

Carlos Alejandro Carrillo Morales
Universidad de Guayaquil
carlos.carrillom@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-3884-3431>
Guayas-Ecuador

Formato de citación APA

Almendariz, C. Merchann, C. Teran, C. & Carrillo, C. (2026). Zonificación de cargas portantes en suelos con incidencia sísmica en el sector sur de la ciudad de Guayaquil. *Revista REG*, Vol. 5 (Nº. 2), p. 176 – 189.

INTELIGENCIA COLECTIVA

Vol. 5 (Nº. 1). abril – mayo 2026.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 05-04-2025

Fecha de aceptación :14-04-2026

Fecha de publicación:30-06-2026



RESUMEN

Esta investigación se centra en el desarrollo de una zonificación de cargas admisibles y coeficientes de rigidez del suelo con enfoque sísmico en la zona sur de la ciudad de Guayaquil. Este estudio surge como respuesta a la urgente necesidad de mejorar las normas y prácticas de construcción en una región altamente susceptible a la actividad sísmica, con el objetivo de incrementar la seguridad estructural y promover la resiliencia urbana ante terremotos. La metodología implementada incluye una exhaustiva revisión bibliográfica, la recopilación de datos geotécnicos detallados mediante estudios de campo, complementados con análisis de laboratorio y modelado sísmico, empezando con la fijación de un polígono de acción, en cuyos vértices están los datos de partida para el análisis de todo lo que se genera en el interior de dicho polígono. Los resultados obtenidos permitieron la creación de mapas de zonificación que ilustra las capacidades de carga del suelo y otro mapa de zonificación con coeficientes de rigidez del suelo, los mismos que facilitan la implementación de diseños constructivos adaptados a las condiciones geotécnicas específicas de la zona. Las conclusiones del estudio resaltan la efectividad de la zonificación realizada para anticipar y mitigar los riesgos asociados a terremotos en Guayaquil, proporcionando una base sólida para futuras construcciones y desarrollos urbanos. Entre las recomendaciones se incluye la necesidad de actualizar periódicamente los mapas de zonificación a medida que se disponga de nueva información e integrar estos datos en las normativas de construcción locales para garantizar estructuras seguras y duraderas en el contexto de una región de alto riesgo sísmico.

PALABRAS CLAVE: Zonificación, Carga portante, Coeficientes de rigidez del suelo, Seguridad estructural y Resiliencia urbana

ABSTRACT

This research focuses on developing a zoning system for allowable loads and soil stiffness coefficients with a seismic approach in the southern area of Guayaquil. This study arises from the urgent need to improve construction standards and practices in a region highly susceptible to seismic activity, with the aim of increasing structural safety and promoting urban resilience to earthquakes. The methodology implemented includes a comprehensive literature review, the collection of detailed geotechnical data through field studies, complemented by laboratory analysis and seismic modeling. This process begins with the establishment of an action polygon, the vertices of which contain the starting data for the analysis of everything generated within the polygon. The results obtained allowed for the creation of zoning maps illustrating soil bearing capacities and another zoning map with soil stiffness coefficients. These maps facilitate the implementation of construction designs adapted to the specific geotechnical conditions of the area. The study's findings highlight the effectiveness of the zoning plan implemented to anticipate and mitigate earthquake risks in Guayaquil, providing a solid foundation for future construction and urban development. Recommendations include the need to periodically update zoning maps as new information becomes available and to integrate this data into local building codes to ensure safe and durable structures in a region of high seismic risk.

KEYWORDS: Zoning, Bearing capacity, Soil stiffness coefficients, Structural safety and Urban resilience



INTRODUCCIÓN

La zonificación de cargas admisibles del suelo es un proceso técnico utilizado en ingeniería civil y planificación urbana para determinar la capacidad portante de diferentes zonas de suelo en una región específica. Este análisis es crucial para el diseño y la construcción de estructuras, ya que proporciona información esencial sobre cómo el suelo puede soportar el peso y la tensión de las construcciones sin daños o asentamientos inaceptables. La zonificación se basa en estudios geotécnicos que evalúan las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, como la densidad, la compresión y la resistencia al corte. Condori et al. (2021).

La capacidad portante es la capacidad de un suelo para soportar cargas aplicadas sin deformación significativa ni falla estructural. Ocrosopoma et al. (2024).

Para realizar la zonificación de cargas admisibles, los ingenieros y geólogos llevan a cabo una serie de ensayos de campo y laboratorio. Estos ensayos incluyen perforaciones, análisis de muestras de suelo y ensayos de penetración estándar, que ayudan a determinar la estratificación, la consistencia y otros factores críticos del suelo. A partir de estos datos, se elaboran mapas o planos que indican las diferentes capacidades portantes del suelo en diversas áreas, lo que permite a planificadores y constructores identificar zonas adecuadas para distintos tipos de estructuras y cargas. Arqueñiva et al. (2021).

La zonificación de cargas es esencial en la planificación urbana y rural, ya que garantiza el uso adecuado y seguro del suelo. Por ejemplo, las áreas con suelos de alta capacidad portante pueden destinarse a construcciones más pesadas y complejas, como edificios altos o infraestructura industrial, mientras que las áreas con menor capacidad portante pueden ser más adecuadas para viviendas unifamiliares o parques. Esta planificación ayuda a prevenir problemas estructurales y contribuye a una distribución más eficiente y segura de los recursos urbanos (Morales, 2009).

El modelo de Winkler tiene la ventaja adicional de ser adecuado tanto para cargas verticales como horizontales. Esta condición es bastante común, por ejemplo, en el diseño de muros de pilares en voladizo (Otálvaro, 2008).

Además, la zonificación de cargas de suelo permisibles tiene un impacto directo en la sostenibilidad y la resiliencia de las ciudades. Al comprender y respetar las limitaciones naturales de los suelos, los desarrollos urbanos pueden adaptarse mejor a desafíos ambientales como inundaciones y el cambio climático. Esto no solo mejora la seguridad y la calidad de vida de los habitantes, sino que

también promueve un crecimiento urbano más armonioso y sostenible a largo plazo. Cangrejo et al. (2021).

Determinar la capacidad portante del suelo nos permite comprender el comportamiento funcional de la estructura. Por lo tanto, comprender los límites que deben considerarse en estos estudios de suelos nos permite entender los tipos de deformaciones que puede experimentar un edificio según Vasquez (2020). Para definir un diseño de cimentación, se analiza la interacción suelo-estructura, abarcando una gama de parámetros esenciales, incluyendo la rigidez del suelo, el espesor de la losa de cimentación, la luz de las columnas y el número de niveles del edificio Sarango et al. (2024). La caracterización de los suelos influye significativamente en el coeficiente de balasto (Alarcón, 2021). Como sostiene el autor, la zonificación depende de la relación entre las características del suelo, el asentamiento vertical producido en una estructura y su coeficiente de balasto. Recordemos que, en el modelo de Winkler, el coeficiente de lastre "ks" es un parámetro definido como la relación entre la presión que actúa en un punto, "p", y el asentamiento o desplazamiento que se produce, "y", es decir, $k_s = p / y$. Este parámetro tiene la dimensión de un peso específico y, aunque depende de las propiedades del suelo, no es constante, como es bien sabido que El asentamiento de una cimentación apoyada sobre un medio pseudoelástico. El punto de partida para un análisis de interacción suelo estructura es la obtención del coeficiente estático de balasto en un diseño estructural, Bajo estas condiciones se determina la influencia de los modelos de interacción suelo-estructura en las edificaciones, para continuar con las siguientes consideraciones de las diversas condiciones sísmicas de un país con alta sismicidad Contreras et al. (2025).

Durante el proceso de definición del diseño de una zapata, se observó que, en general, a medida que aumenta la rigidez relativa del sistema suelo-estructura, también aumentan las fuerzas de diseño. Asimismo, a medida que aumenta la altura de la zapata, aumenta el momento último y, a la inversa, disminuye el esfuerzo cortante último (Luque et al., 2016).

El modelo clásico de Winkler de un parámetro se basa en la hipótesis de que la interacción entre el suelo y la estructura puede modelarse mediante resortes distribuidos continuamente a lo largo de la longitud de la estructura en contacto con el terreno (Santana, 2010).

Estos resortes son independientes entre sí, por lo que los desplazamientos de una región cargada son constantes independientemente de si la estructura es infinitamente flexible o rígida.

MÉTODOS Y MATERIALES

Establecimiento del polígono de zonificación.

Se analizaron los datos geográficos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se trazan los límites preliminares del polígono, considerando criterios técnicos para futuros ensayos de suelo.

Cálculo de la capacidad portante del suelo según Terzaghi.

Mediante ensayos de suelo, se establecieron parámetros como la cohesión, el peso unitario, el ángulo de fricción interna y otros factores. A partir de estos, mediante la expresión de Terzaghi, se obtiene la capacidad portante del suelo para cada muestra.

Zonificación de la capacidad portante.

El territorio fue dividido por triangulación según los rangos de capacidad portante obtenidos en cada punto del polígono y con la interpolación mediante herramientas SIG se determinaron las isolíneas en el interior de la triangulación, elaborando el mapa de zonificación de cargas portantes, indicando los límites de cada zona y su capacidad portante estimada.

Cálculo de las reacciones de una estructura típica.

Se estableció la estructura de un edificio tipo y se procedió a realizar el análisis estructural, culminando en el diseño estático y dinámico de la superestructura con las características de los parámetros sísmicos de la ciudad de Guayaquil para la obtención de las reacciones, las cuales fueron aplicadas en cada punto del polígono para realizar el diseño de la cimentación correspondiente.

Determinación de asentamientos verticales.

Mediante la caracterización y obtención de los parámetros del suelo, las reacciones de cada columna al suelo y el diseño de la cimentación correspondiente, se determinó el asentamiento puntual de cada columna.

Determinación del coeficiente de rigidez del suelo.

Con la información disponible sobre las reacciones de la estructura y el asentamiento puntual correspondiente, se estableció el coeficiente de rigidez del suelo utilizando el método de Winkler y el análisis de regresión matemática para el ajuste gráfico, obteniendo así el valor de rigidez en cada punto del polígono.

Zonificación basada en el coeficiente de balasto.

La distribución del coeficiente k se representa espacialmente sobre el área de estudio, utilizando interpolación mediante herramientas SIG para la definición final del mapa de zonificación del coeficiente de balasto o coeficiente de rigidez del suelo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Información del Estudio Geotécnico en diferentes puntos de la ciudad de Guayaquil.

Se define el polígono de zonificación con la fijación de los puntos y límites, para lo cual se le da nombre a cada punto de este, ubicación y coordenadas geográficas, tal como se muestra en la Tabla 1

Tabla 1.

Información de ubicación de pruebas de suelo

Prueba	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Ubicación	Denominación
PZ-2	624060	9752155	Calle Pradera y calle Galo Plaza Lasso	Punto A
P-13	621670	9754500	Calle C y calle Tungurahua	Punto B
P-17	622017	9755661	Calle Carchi y calle Pedro Robles Chambers	Punto C
P-21	622369	9756295	Calle San Martin y calle Tulcán	Punto D
P-22	623635	9756601	Calle Febres Cordero y calle Lorenzo de Garaicoa	Punto E

Fuente: Autor (2026).

La siguiente imagen muestra la zona donde se ubica cada punto de zonificación correspondiente a nuestra investigación.

Figura 1.

Polígono para zonificación en el sector sur de la ciudad de Guayaquil.



Fuente: Autor (2026).

Cálculo de la capacidad del suelo.

Utilizando el método de Terzaghi, considerando un factor de seguridad (F.S) de 3 se determina la capacidad admisible del suelo (Q) en cada punto del polígono.

Tabla 2. Carga admisible del suelo en cada punto

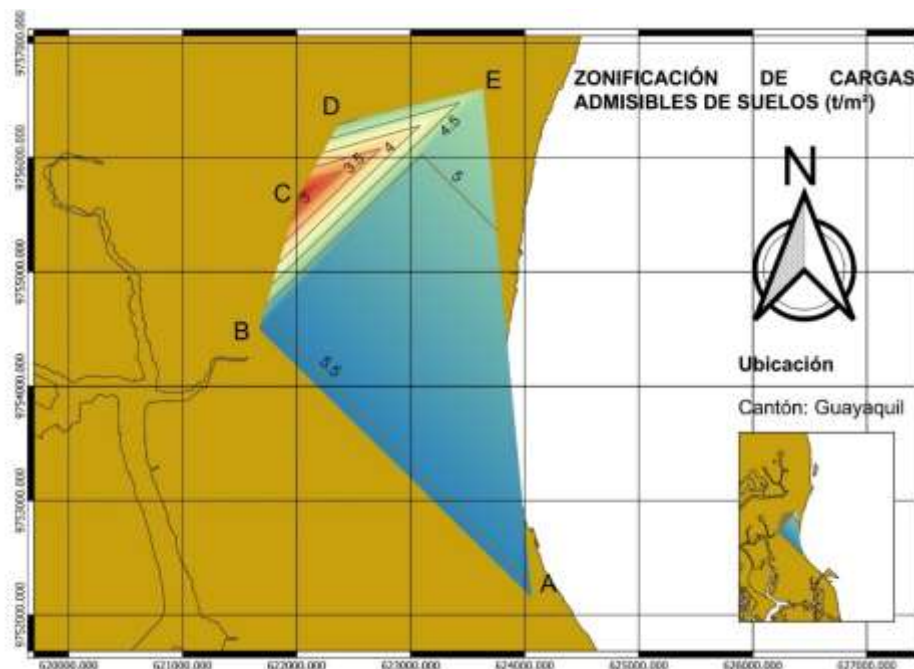
Point	Qu (t/m ²)	F.S	Q (t/m ²)
A	16.57	3	5.52
B	16.60	3	5.53
C	7.37	3	2.46
D	15.10	3	5.03
E	14.40	3	4.80

Fuente: Autor (2026).

Zonificación de la capacidad portante del suelo

Utilizando el software QGIS, se realiza la triangulación, interpolación matemática, para proyectar la zonificación del suelo en función de su carga admisible.

Figura 2. Mapa de zonificación de la capacidad admisible del suelo



Fuente: Autor (2026).

El estudio de la capacidad portante de los suelos es esencial para establecer una zonificación adecuada en proyectos de construcción, Ocrospoma et al. (2024). Como sostiene el autor, el propósito de la zonificación es establecer parámetros para futuros proyectos.

Cálculo de reacciones de una estructura típica

Se seleccionó un modelo de edificio residencial de tres plantas con 11 columnas. Dado que la estructura es de hormigón armado, se estableció un factor de reducción de $R = 8$. Para plantas y alturas regulares, se establecieron los valores $\phi_P = 1$ y $\phi_E = 1$. El tipo de suelo es E, y el factor de zonificación es 0.40 debido a la ubicación geográfica de Guayaquil. El espectro sísmico elástico se define con un valor de meseta de 0.72 y el espectro inelástico con un valor de 0.090. Con estas características definidas, se realizó un análisis estructural, tanto estático como dinámico, y tras verificar el diseño estructural, se determinaron las reacciones verticales puntuales en cada columna, obteniéndose los resultados como se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Reacciones en la estructura

Nombre de columna	Reacción (t.)
C1	10.04
C2	17.78
C3	8.35
C4	13.84
C5	25.86
C6	11.49
C7	2.76
C8	13.18
C9	6.91
C10	6.56
C11	4.00

Fuente: Autor (2026).

Los estudios del subsuelo son esenciales para el correcto diseño de cimentaciones y estructuras civiles, así como para prevenir daños estructurales (Guevara, 2024).

3.5 Determinación de asentamientos verticales



Utilizando la estructura modelo, que incluye la caracterización del suelo, las reacciones estructurales y el diseño de la cimentación, determinamos los asentamientos puntuales en cada una de las columnas para los puntos correspondientes del polígono de análisis de zonificación:

Tabla 4. Valores de asentamiento correspondientes a cada punto del mapa de zonificación y a cada columna de la estructura.

Nombre de la Columna	Reacción (Ton)	Punto A (m)	Punto B (m)	Punto C (m)	Punto D (m)	Punto E (m)
C1	10.04	0.0243637	0.0243637	0.0162425	0.0227395	0.0227395
C2	17.78	0.0539327	0.0539327	0.0365972	0.0512360	0.0512360
C3	8.35	0.0218213	0.0218213	0.0149304	0.0218213	0.0202627
C4	13.84	0.0498528	0.0498528	0.0319058	0.0469203	0.0443136
C5	25.86	0.0763957	0.0763957	0.0516794	0.0732125	0.0732125
C6	11.49	0.0441471	0.0441471	0.0287916	0.0413879	0.0413879
C7	2.76	0.0117208	0.0133952	0.0085242	0.0117208	0.0117208
C8	13.18	0.0559711	0.0559711	0.0373140	0.0526787	0.0526787
C9	6.91	0.0331872	0.0331872	0.0234263	0.0331872	0.0306343
C10	6.56	0.0343704	0.0343704	0.0222397	0.0315062	0.0315062
C11	4.00	0.0150993	0.0150993	0.0104533	0.0150993	0.0135893

Fuente: Autor (2026).

Coeficiente de rigidez del suelo

Con las reacciones dadas en el análisis estructural, para los asentamientos verticales aplicamos el método de Winkler para la determinación del coeficiente de rigidez del suelo, el cual se ajustó mediante un análisis de regresión entre todas las columnas para cada punto de la zonificación, estos valores se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de los coeficientes de rigidez del suelo (K) en cada punto principal de la zonificación.

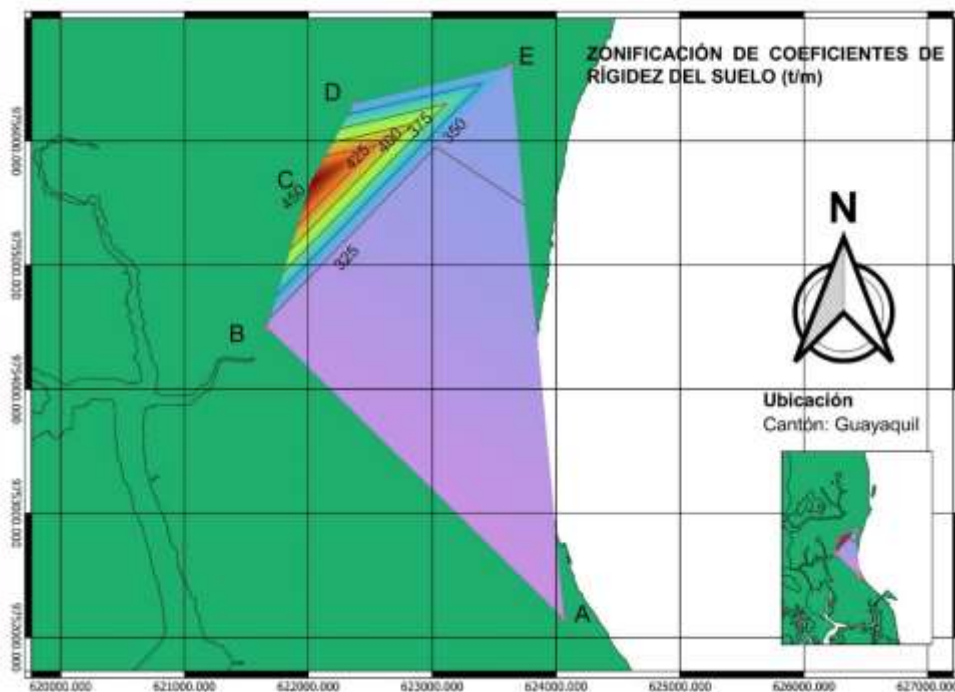
Punto	K (t/m)
A	311,41
B	314,82
C	471,97
D	332,54
E	329,54

Fuente: Autor (2026).

Zonificación de los coeficientes de rigidez del suelo

Utilizando el software QGIS, se realiza la triangulación, interpolación matemática, para proyectar la zonificación del suelo en función de sus coeficientes de rigidez del suelo.

Figura 3. Mapa de zonificación de la capacidad admisible del suelo



Fuente: Autor (2026).

El método de Winkler asume que el asentamiento o desplazamiento producido en un punto del terreno es proporcional a la tensión transmitida (σ) a través de una estructura de contención. Analíticamente, σ es proporcional al desplazamiento resultante multiplicado por un valor "k" o coeficiente de lastre (Ramos, 2017).

El crecimiento demográfico y el desarrollo en áreas urbanas y rurales plantean desafíos para la planificación y organización del uso del suelo (Gupioc, 2024). El autor considera que el objetivo de la zonificación será establecer parámetros de carga y coeficientes de lastre para definir el tipo de estructuras edificables dentro del área de estudio.

DISCUSIÓN

Para el polígono de zonificación considerado, se presenta suelo tipo E cuyas cargas admisibles varían de 2,46 Ton/m² a 5,53 Ton/m². Previamente al análisis estructural, se determinaron los parámetros sísmicos de los espectros elástico e inelástico según el tipo de estructura, su ubicación y sus características. A continuación, se realizó el análisis estructural y, posteriormente, la revisión del diseño estructural para obtener los resultados de las reacciones de descarga sobre el terreno fijo y seguro.

Con las reacciones de la estructura y las características del suelo, se determinaron los asentamientos verticales para la misma estructura, pero para capacidades del suelo correspondientes a cada punto del polígono de zonificación analizado, los cuales varían de 0,0085242 metros a 0,0763957 metros. Aplicando el método de Winkler, se ajustó la gráfica para obtener el coeficiente de rigidez del suelo según dicho método en cada punto del polígono de zonificación. Finalmente, se realizó el mapeo de zonificación. Estos parámetros oscilaron entre 311,41 y 471,97 t/m.

CONCLUSIONES

Dentro de la delimitación de un polígono de acción para la zonificación, se establecieron parámetros de cargas portantes del suelo y coeficientes de rigideces del suelo, para los cuales se fijaron parámetros de diseño estructural sísmico para la condición de una estructura de hormigón armado correspondiente a una vivienda típica de 3 plantas.

Los parámetros de coeficientes de rigidez del suelo darán una seguridad al diseño estructural, cuando el diseñador estructural tenga valores de diseños límites, y que muchas veces por ser conservador incrementa distancias y secciones a los elementos estructurales, aún cuando estos valores no representan mayor riesgo debido a los factores de seguridad ya tomados en cuenta en cálculos anteriores, los rangos de coeficientes de rigidez del suelo son capaces de brindar tranquilidad al diseño de secciones, especialmente en las cimentaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Guerra, D. E. (2021). Relación de la Caracterización de los Suelos con el Coeficiente de Balasto en el Distrito de Pilcomayo.
- Arqueñiva, H., & Romero, R. (2021). Estudio y evaluación comparativa entre suelos reforzados con geomalla y muros de concreto armado para la estabilización de taludes de carreteras. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 1(1). <https://doi.org/10.54943/ricci.v1i1.202>
- Cangrejo Aljure, D., & Infante, C. G. (2021). Información geotécnica como elemento de análisis en la planeación y diseño de obras civiles en Bogotá. In *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN* (Vol. 25, Issue 59).
- Condori Quispe, B. M., & Aguero Angulo, M. (2021). Metodología para la caracterización de suelos con fines de cimentación. *Prospectiva Universitaria*, 15(1). <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2018.15.861>
- Contreras, J., & Castro, G. V. (2025). Interacción Suelo-Estructura de una edificación con losa de cimentación con los modelos estáticos de Winkler y Pasternak. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (28), 71-84.
- Guevara, C. & Tingal, J. (2024) Evaluación de la capacidad portante del suelo para la zonificación y diseño de cimentaciones superficiales del centro poblado San Antonio, Bambamarca-2024 [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca, Perú.
- Gupioc Ordoñez, V. M. (2024). Zonificación basada en la capacidad portante del suelo en la expansión urbana de Huancas-Chachapoyas-Amazonas.
- Luque Chaves, M. A., & Rincón Romero, J. C. (2016). Incidencia de la rigidez relativa de una zapata en el cálculo de las fuerzas de diseño, implementando el método de Winkler.
- Morales, M. (2020). Caracterización geotécnica Y dterminación de angulos de talud en yacimiento Franke. *UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS*.
- Ocrospoma Callupe , F. N., & Rocha Sandoval, C. A. (2024). Capacidad Portante de los Suelos para Establecer la Zonificación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2702-2720. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13734
- OTÁLVARO, I. F., & Nanclares, F. J. (2009). Elementos para obtener el módulo de reacción de subrasante. *Dyna*, 76(157), 81-89.
- Ramos Wendehake, R. (2017). *Interacción suelo-estructura: comparación entre el método del coeficiente de balasto y el método de los elementos finitos* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Santana Naranjo, A. (2010). *Modelo Winkler para el Análisis de la respuesta Dinámica de Estructuras Enterradas* (Master's thesis).

Sarango Alba, J. S., & Trávez Carrasco, B. S. (2024). *Estudio paramétrico del espesor de cimentaciones rígidas, utilizando la norma ACI 336.2 R-88 y el modelo winkler por medio del programa SAFE* (Bachelor's thesis).

Vasquez Rojas, C. R. K. (2022). Estudio de zonificación en base a la determinación de la capacidad portante de los suelos, para cimentaciones superficiales del caserío La Unión Banda de Shilcayo región San Martín 2020.

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

