

MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA DEL DISTRITO DE VENTANILLA

Zenón Aguilar Bardales⁽¹⁾, Diana L. Calderón Cahuana⁽²⁾,

⁽¹⁾ *Doctor en Ingeniería Civil – Jefe del Departamento de Mecánica de Suelos – FIC - UNI*

⁽²⁾ *Bachiller en Ingeniería Civil - Asistente de Investigación del CISMID.*

RESUMEN

Ventanilla es uno de los distritos que circundan la ciudad de Lima por el extremo Norte. Muchas de sus áreas pobladas son producto de la ola inmigracionista que sufrió Lima en los últimos años. Estas áreas han sido pobladas informalmente, sin seguir un plan de ordenamiento territorial, y casi en todos los casos sin estudios de ingeniería que califiquen el peligro del lugar.

Tales condiciones hacen necesario desarrollar estudios como el presente. En su elaboración se recurrieron a los estudios básicos de geología y geomorfología, identificándose el origen de los depósitos de suelos y las formaciones que se observan en el lugar. Para la evaluación de la sismicidad de la zona y la determinación de sísmos escenarios se llevaron a cabo análisis de peligro sísmico mediante métodos probabilísticos.

El estudio geotécnico consistió en recopilar información de estudios de mecánica de suelos y realizar los ensayos de campo (calicatas, SPT, etc.) en los lugares donde no se contaba con información. La caracterización dinámica de los suelos se llevó a cabo realizando mediciones de microtrepidaciones en toda el área de estudio, y análisis de respuesta dinámica por efectos de sitio. Toda esta información fue procesada en un sistema SIG elaborándose mapas de distribución de suelos y curvas isoperiodos, con valores de periodos predominantes de vibración natural agrupados en intervalos.

Finalmente, se realizó la zonificación geotécnica sísmica en forma integral, conjugando los resultados de los mapas de distribución de suelos y de comportamiento dinámico con la geología y la geomorfología del lugar, llegándose a delimitar 04 zonas que clasifican el comportamiento del terreno conforme al código de diseño sismorresistente.

1. OBJETIVOS

El objetivo de la presente investigación es identificar y delimitar zonas de mayor o menor grado de amenaza sísmica, desde el punto de vista geotécnico – sísmico, describiendo para cada zona las características mecánicas y dinámicas de los suelos que definen su respuesta ante sollicitaciones sísmicas y que son necesarias para realizar el diseño sismorresistente de las edificaciones y obras de ingeniería.

2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.1. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos en los alrededores del área de estudio son el resultado del proceso tectónico, sobreimpuesto por los procesos de geodinámica que han modelado el rasgo morfo-estructural.

A nivel local las unidades geomorfológicas que se identifican en el área del estudio son las siguientes:

- Borde Litoral
- Planicie Costanera y Conos Deyectivos
- Lomas y cerros testigos
- Valles y quebradas

2.2. Unidades Estratigráficas

El área del distrito de Ventanilla está conformada por unidades estratigráficas cuyas edades oscilan desde el Mesozoico hasta el Cenozoico. Así tenemos dentro de la era Mesozoica al grupo Puente Piedra, el cual está conformado por el Volcánico Ancón y las formaciones Puente Inga, Ventanilla y Cerro Blanco. En la era Cenozoica, tenemos los depósitos cuaternarios recientes y del pleistoceno, el origen de estos depósitos es marino, eólico, aluvial y coluvial. El perfil estratigráfico está conformado por las siguientes unidades:

- a. Volcánico Ancón (Ki – va)
- b. Formación Puente Inga (Ki-pi)
- c. Formación Ventanilla (Ki-v)
- d. Formación Cerro Blanco (Ki-cb)
- e. Depósito Eólico (Qr-eó)
- f. Depósito Marino (Qp-m)
- g. Depósito Aluvial (Qr-al)
- h. Depósito Coluvial (Qr-co)

3. PELIGRO SÍSMICO DEL DISTRITO

3.1. Sismicidad del Distrito

Ventanilla se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad; sin embargo, debido a que es un distrito relativamente joven (creado en 1969), y poblado en su mayor extensión en los últimos 10 años, no cuenta hasta el momento con información sísmica instrumental. Por otro lado, sólo una zona antigua del distrito (urbanización satélite) ha soportado los efectos de un sismo importante, como es el de octubre de 1974; sin embargo, no se cuenta con relatos históricos de los efectos de este evento en el distrito. Por lo mencionado anteriormente, se deduce que no se conocen antecedentes de comportamiento dinámico estructural en los diferentes tipos de suelos de este distrito. En el presente estudio se realiza un análisis de peligro sísmico probabilístico para evaluar el nivel de amenaza sísmica al que se encuentra expuesto este distrito.

3.2. Evaluación del Peligro Sísmico

Se ha empleado el Programa Risk (Ref. 2), para evaluar el Peligro Sísmico en Ventanilla. Mediante el uso de este programa se busca hallar el valor de las aceleraciones máximas esperadas, para un nivel de Riesgo escogido según las sollicitaciones del área o estructura a analizar; y para un período de retorno correspondiente, según la ecuación:

$$RISK(\%) = 1 - e^{-\frac{top}{Ta}}$$

Donde:

top = es el tiempo de vida útil para el cual ha sido construida la estructura. En el análisis se empleó el valor de 50 años.

Ta = es el período de retorno de un sismo dado con aceleración $a = a_{\text{máx}}$.

El análisis se realizó para las coordenadas 77.12° , 11.87° ; que corresponden a un punto en la zona central del distrito de Ventanilla. Se han considerado 6 de las 20 fuentes sismogénicas propuestas para el Perú (Ref. 1) debido a que son las que influenciarán principalmente la sismicidad del distrito de Ventanilla. Dichas fuentes son: F3, F4, F7, F8, F15, F16.

La ley de atenuación para aceleraciones utilizada en el análisis es la propuesta por Casaverde y Vargas (1979), la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$a = 68.7e^{0.8Ms} (R + 25)^{-1}$$

Donde: Ms = Magnitud del sismo
R = distancia hipocentral (Km)

Los resultados del análisis de Peligro Sísmico para el punto indicado se muestran en la tabla siguiente:

Período de Retorno (años)	Riesgo (%)	Aceleración (g)
75	49	0.29
100	39	0.33
150	28	0.39
225	20	0.46
300	15	0.51
475	10	0.59
975	5	0.76

4. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

4.1. Exploración de campo

Se aprovecharon los estudios previamente realizados por distintos consultores de gran reconocimiento en el ámbito de la ingeniería civil. Adicionalmente, el CISMID, mediante el Laboratorio Geotécnico, realizó exploraciones de campo en los lugares donde se contaba con poca información geotécnica. En este sentido se realizaron 03 calicatas de una profundidad promedio de 3.0 m; y 04 sondeos entre SPT y CP, con una profundidad entre 1.90 y 3.35 m. Con esta información se elaboraron perfiles de suelos que cubren las diferentes zonas del área de estudio.

4.2. Delimitación del área de estudio por tipos de suelos

La información generada fue procesada en un sistema de información geográfica, con el cual se elaboraron mapas de distribución de suelos a diferentes profundidades. En la Figura 1 se muestra el mapa de distribución de suelos para una profundidad de 3m, según el cual se observa que el terreno de cimentación en las diferentes áreas del distrito está conformado de la siguiente manera:

En la zona Norte del distrito, el suelo se presentan depósitos eólicos, que se encuentran cubriendo las formaciones rocosas. Su potencia es variable, hasta la profundidad explorada de 5.70m los estudios dan cuenta de la continuidad del depósito. Superficialmente estos depósitos se encuentran en estado suelto y su compacidad aumenta con la profundidad. Hay presencia de costras de sales en los primeros metros de profundidad.

En la parte central, donde se localizan las urbanizaciones de Ciudad Satélite, Antonia Moreno de Cáceres, Pampa de los Perros, se ha delimitado una zona de suelos de origen coluvial, que está conformada por gravas angulares con matriz de arena y limo. En algunos de estos sectores se han presentado problemas de lixiviación.

En la parte central oeste del distrito se encuentra la zona de los pantanos, que está conformada por arenas limosas y suelos orgánicos con nivel freático superficial, presentando características desfavorables para cimentaciones superficiales. A pesar de las condiciones desfavorables, en la actualidad estos suelos han sido poblados, presentándose problemas de afloramiento de agua y fallas en las estructuras. Esta área ha sido declarada como reserva ecológica.

La mayor parte de la zona del litoral está conformada por depósitos marinos, constituidos por suelos arenosos saturados y sueltos, con características mecánicas desfavorables para la cimentación de estructuras, y en los cuales se puede presentar el fenómeno de licuación durante sismos de moderada intensidad.

5. ESTUDIO DE DINÁMICA DE SUELOS

5.1. Evaluación de las Características Dinámicas de los Suelos

Los parámetros dinámicos de los suelos fueron obtenidos mediante ensayos de microtrepidaciones, que consiste en la determinación de los periodos predominantes de vibración natural de los suelos.

Se realizó la medición de la vibración natural del suelo en 32 puntos distribuidos uniformemente en la zona urbana del distrito. El criterio de la elección de los lugares de medición, fue contar con información geotécnica que corroborase los valores de los parámetros obtenidos de las mediciones de microtrepidaciones. Para fines prácticos, los lugares que se prefirieron para la medición fueron parques.

5.2. Evaluación e interpretación de las mediciones

A partir de los registros obtenidos en campo, se obtuvieron los espectros de Fourier y cocientes espectrales H/V, de los cuales fue posible identificar los valores de los períodos de vibración natural del suelo así como de la amplificación del mismo.

Con los valores de periodo se han trazado mapas de isoperiodos, agrupándolos en rangos que definen un comportamiento dinámico característico para las diferentes zonas. La Figura 2 muestra los diferentes rangos de periodos seleccionados, según los cuales se han definido cuatro zonas:

Zona I, con períodos entre 0.1 a 0.3seg, comprende los depósitos coluviales conformados por gravas limosas producto de la meteorización de los cerros, que presentan un comportamiento de suelo rígido.

Zona II, con períodos entre 0.3 a 0.5 seg, comprende los depósitos eólicos de la zona noroeste y parte de la zona de depósitos de gravas.

Zona III, con períodos entre 0.5 a 0.7 seg, comprende la zona de los pantanos.

Por último la Zona IV, con períodos mayores a 0.7 seg, que fueron registrados en la parte costera del distrito.

En conclusión, los períodos de vibración natural aumentan de norte a sur, ya que en el norte se encuentran los suelos arenosos; y de este a oeste, debida a la presencia de los pantanos y los depósitos marinos saturados sobre la costa.

5.3. Aplicación de las Teorías de Amplificación Dinámica en Depósitos de Suelo

Se realizó la evaluación de los efectos de sitio en la zona Noroeste del distrito, conformada por depósitos de arena profundos. Los perfiles seleccionados pertenecen a depósitos arenosos con profundidades de entre 24 a 34 metros de profundidad.

La evaluación de la amplificación sísmica fue realizada con un análisis unidimensional, por medio del programa SHAKE (Ref. 3).

Los sismos de entrada que se consideraron para la evaluación fueron: el sismo de 1966, 1970, y el de 1974, para aceleraciones máximas normalizadas a 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4g. Estos sismos fueron seleccionados ya que representan los de mayor magnitud que ha soportado la ciudad de Lima en los últimos años.

Los resultados del análisis muestran una amplificación máxima del orden de 2.2 para los sismos de 0.1 y 0.2g; con períodos entre 0.4 a 0.5seg; y una amplificación del orden de 2.1 para sismos de 0.3 y 0.4g con períodos entre 0.5 a 0.7 seg.

6. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA DEL DISTRITO

A partir del comportamiento dinámico de los suelos y sus propiedades mecánicas, se establecieron 4 zonas, las mismas que se mencionan en el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003).

- **Zona I:** Comprende la parte sur este y central del distrito, conformado por depósitos de suelos coluviales, provenientes de las laderas de los cerros circundantes. El comportamiento dinámico de la zona es favorable (rígido), presenta poca vibración, el rango de períodos se encuentra entre 0.10 a 0.30 seg. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo en esta zona es $S = 1.0$ y el período natural del suelo es $T_s = 0.4$ seg, correspondiendo a un suelo tipo 1 de la norma sismorresistente peruana.
- **Zona II:** Abarca la parte noreste del distrito, el suelo es un estrato de arena que cubre las formaciones rocosas, con espesor variable, los períodos de vibración de esta zona son de 0.3 a 0.5 seg aumentando hacia el oeste. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo en esta zona es $S = 1.2$ y el período natural del suelo es $T_s = 0.6$ seg, correspondiendo a un suelo tipo 2 de la norma sismorresistente peruana.
- **Zona III:** comprende los depósitos de arenas eólicas de gran espesor y sueltas del sector noroeste del distrito. También se ha considerado a los depósitos marinos a lo largo de la costa conformada por arena saturada. Por las características de los suelos presenta un rango de períodos de entre 0.5 y 0.7 seg. Su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo tipo 3 de la norma sismorresistente peruana, con un factor de amplificación sísmica $S = 1.4$ y un período natural de $T_s = 0.9$ seg.
- **Zona IV:** está conformada por los suelos pantanosos y depósitos de arenas sueltas de gran espesor que se ubican en la parte litoral del distrito. Los períodos predominantes son mayores a 0.7seg., por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo tipo 4 de la norma sismorresistente peruana (caso especial), asignándoles un factor de amplificación sísmica $S = 1.6$ y un período natural de $T_s = 1.2$ seg.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Ventanilla, por ser un distrito relativamente joven, aún no cuenta con información instrumental de eventos sísmicos. En el análisis del peligro sísmico y efecto de sitio se han utilizado registros sísmicos de los alrededores, para un análisis más preciso se recomienda implementar estaciones acelerográficas en el distrito.
2. La distribución de suelos que se representó en los planos fue para una profundidad de 3.00m, la cual es suficiente para fines de cimentación de edificaciones de interés social.
3. En el distrito se encontraron diferentes tipos de suelos, entre ellos, gravas de origen coluvial producto de la meteorización de los cerros, arenas de origen eólico y marino, asimismo, se encontró nivel freático superficial en la zona de los pantanos.
4. En la evaluación de la amplificación sísmica, se han diferenciado dos comportamientos, el primero sismos de 0.1 y 0.2g que presentan amplificaciones del orden de 2.2 para períodos entre 0.4 a 0.5 seg.; y el segundo para sismos de 0.3 y 0.4g que presentan amplificaciones del orden de 2.1 para períodos entre 0.5 a 0.7seg.
5. La zonificación final define 4 zonas, la zona 1 es la de mejor comportamiento geotécnico – sísmico, conformado por gravas de origen coluvial que presentan un comportamiento rígido; y la zona 4 es la que presenta las condiciones más desfavorables para cimentación, debido a que presenta nivel freático alto, los suelos se encuentran sueltos, y las amplificaciones son altas en un rango de periodos de hasta 1.5 seg.
6. Debido a la topografía variable del distrito, se recomienda tomar en cuenta la variación de altitudes entre cada punto de estudio para una adecuada representación de los perfiles estratigráficos.

REFERENCIAS

1. Castillo, J. y Alva, J. (1993). Peligro Sísmico en el Perú. VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Perú.
2. Mc Guire, R. (1976), “FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Análisis”, Open-File Report 76-67, United States Department of the Interior Geological Survey.
3. Schnabel P., Lysmer J. y Seed H. (1972). “SHAKE: A Computer program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites”, Earthquake Engineering Research Center, Report N.EERC 72-12, College of Engineering, University of California, Berkeley – California.

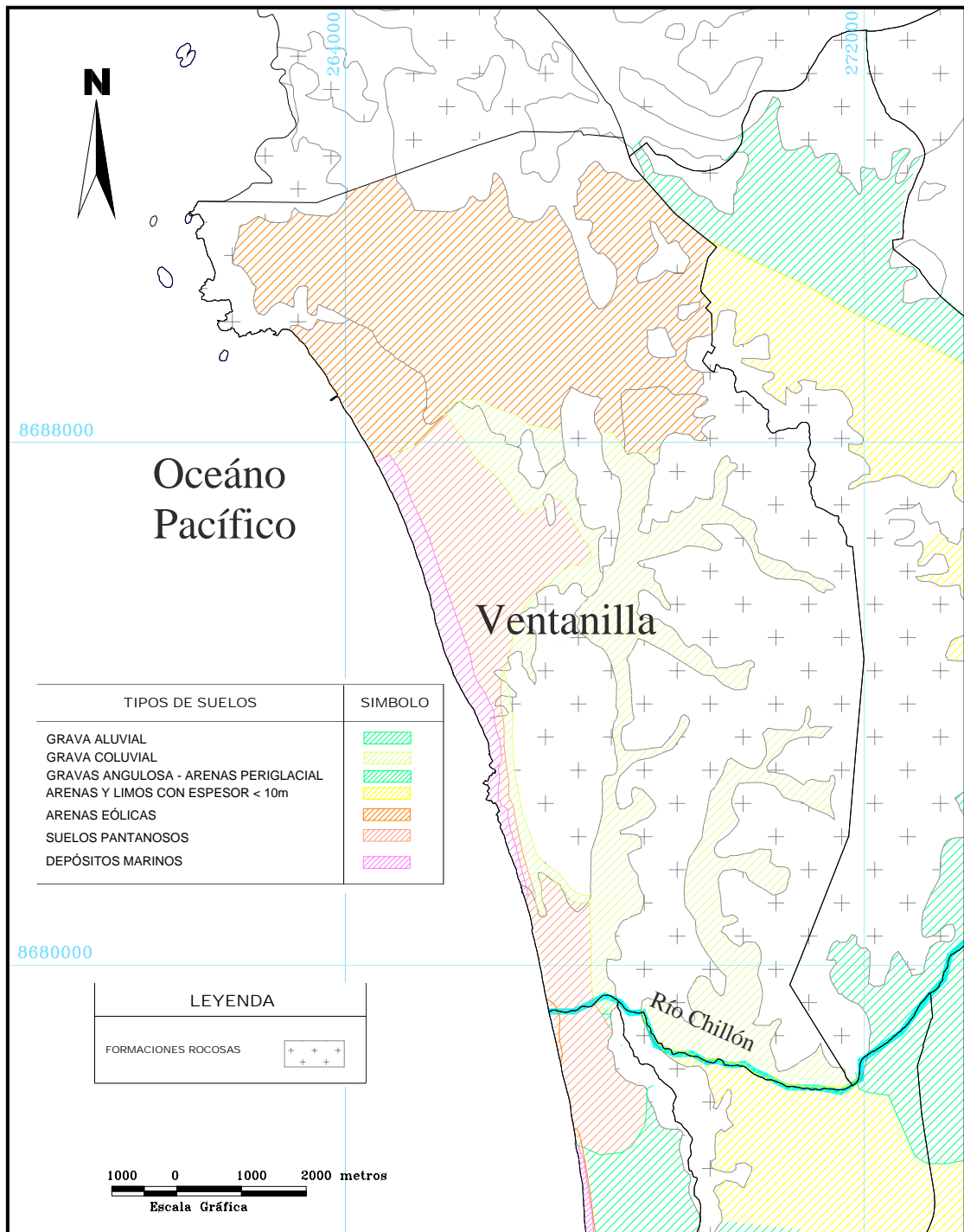


Figura 1: Plano de Distribución de Suelos del distrito de Ventanilla

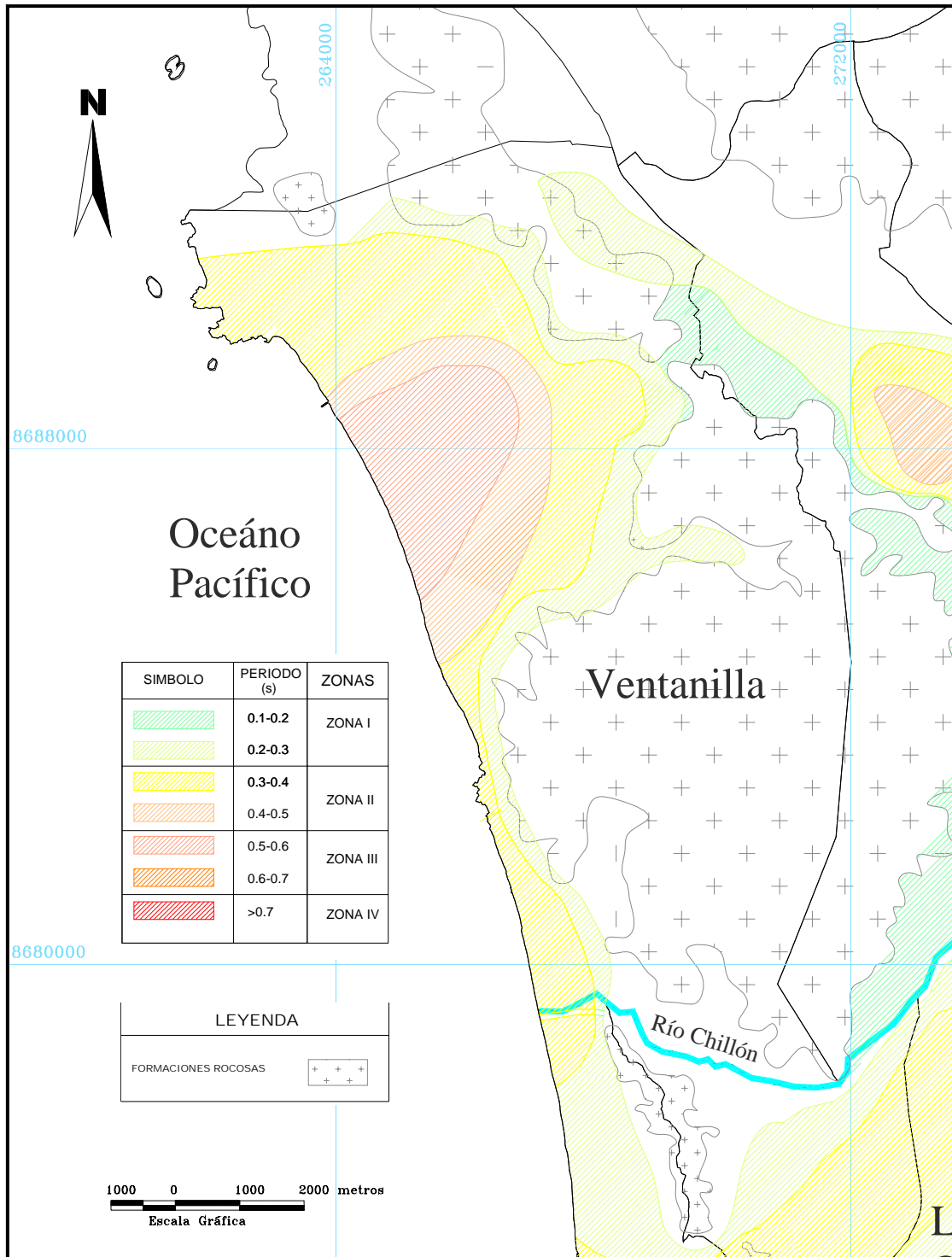


Figura 2: Plano de Distribución de Períodos del distrito de Ventanilla

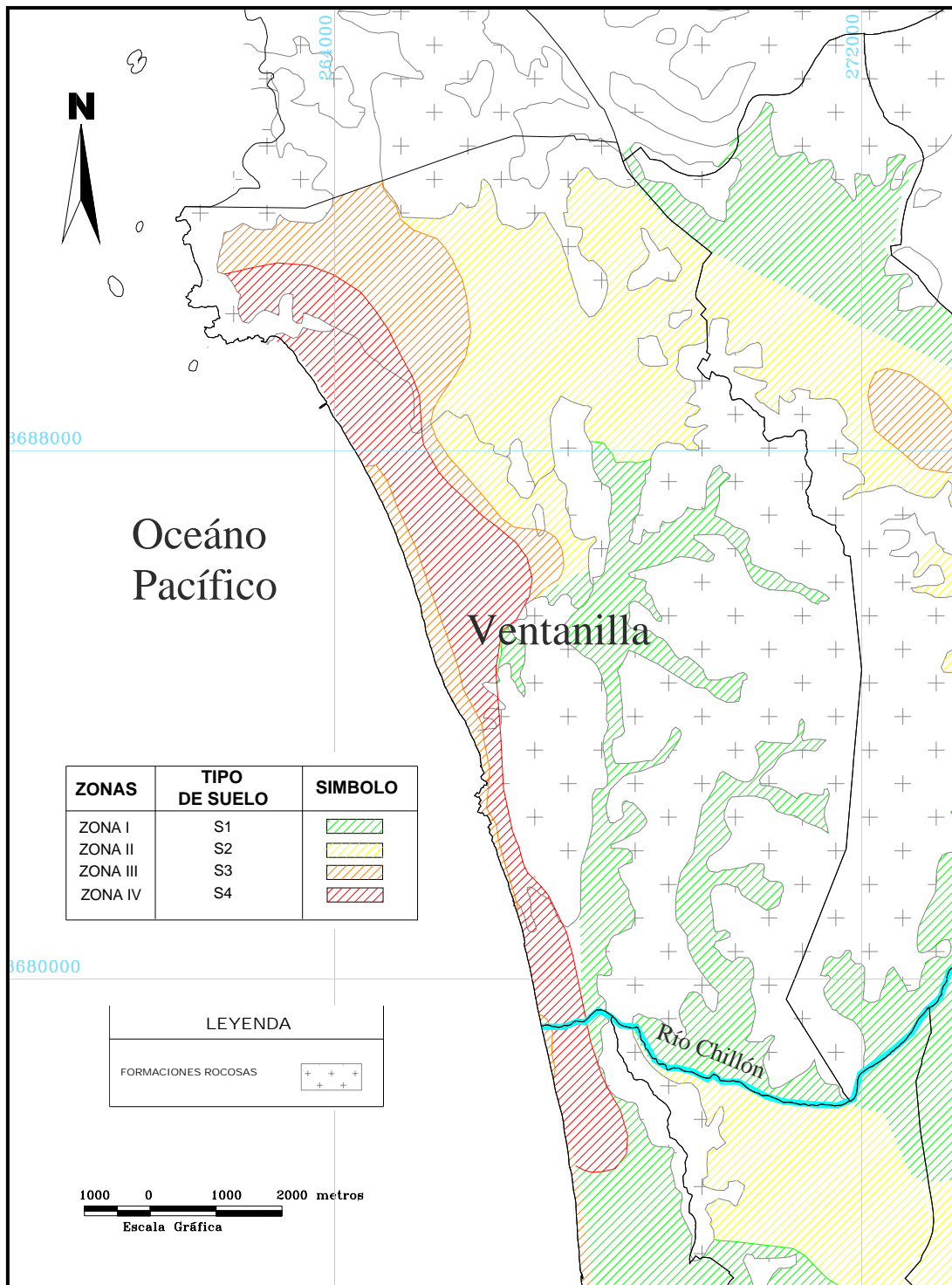


Figura 3: Plano de Zonificación Final del distrito de Ventanilla