

LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

- 1 MARCO NORMATIVO
 - 2 GEOLOGÍA
 - 3 HIDROGEOLOGÍA
 - 4 GEOTECNIA
 - 5 CASOS DE APLICACIÓN
 - 6 FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO
-

LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

- 1 MARCO NORMATIVO
 - 2 GEOLOGÍA
 - 3 HIDROGEOLOGÍA
 - 4 GEOTECNIA
 - 5 CASOS DE APLICACIÓN
 - 6 FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO
-



Marco Normativo

- NTP E.050 “Suelos y Cimentaciones”.
- NTP E.030 “Diseño Sismo resistente”.
- NTP E.020 “Estabilización de Suelos y Taludes”.
- Manual de Puentes del MTC (R.D. N°19-2018-MTC/14).
- Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos (R.D. N°10-2014-MTC/14).
- International Levee handbook CIRIA 731.
- International Commission on Large Dams (ICOLD) Bulletins.
- United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation Manuals & Guidelines.
- United States Army Corps of Engineers (USACE) manuals.
- Normas de estandarización internacionales (ASTM, UNE, BS, entre otros).



Guías Complementarias

- The SUDs Manual – CIRIA C753
- Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros espacios Libres – Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad, Madrid.
- Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la ciudad de Valencia – Ayuntamiento de Valencia.
- AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition.
- American Water Works Association (AWWA) – Manual M45.
- Guideline on Groundwater monitoring for general reference purposes – International Groundwater Resources Assessment Centre.



LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

- 1 MARCO NORMATIVO
 - 2 **GEOLOGÍA**
 - 3 HIDROGEOLOGÍA
 - 4 GEOTECNIA
 - 5 CASOS DE APLICACIÓN
 - 6 FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO
-

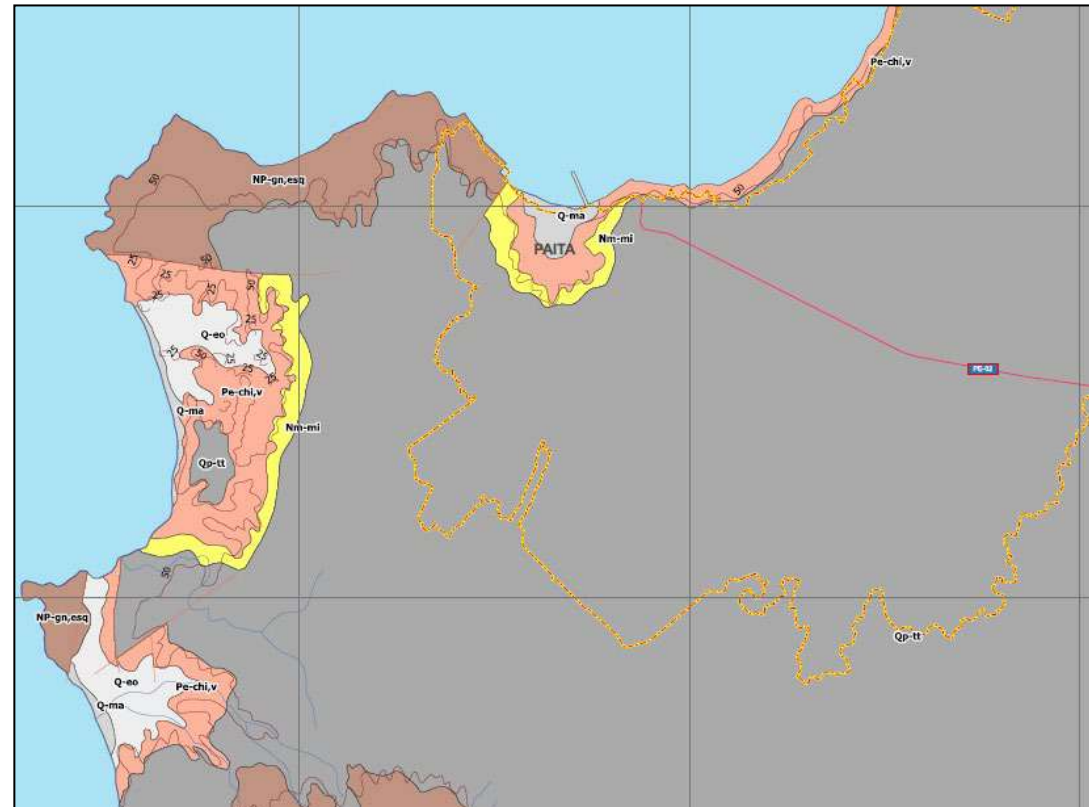
Geología

Tipologías de depósitos de suelos en zona de Costa en el Perú.

Se presentan 3 tipologías:

- Ciudad litoral (Paíta).
- Ciudad atravesada por ríos (Lima).
- Ciudad con ríos en la periferia (Chiclayo).

Mapa Geológico de la Ciudad de Paíta

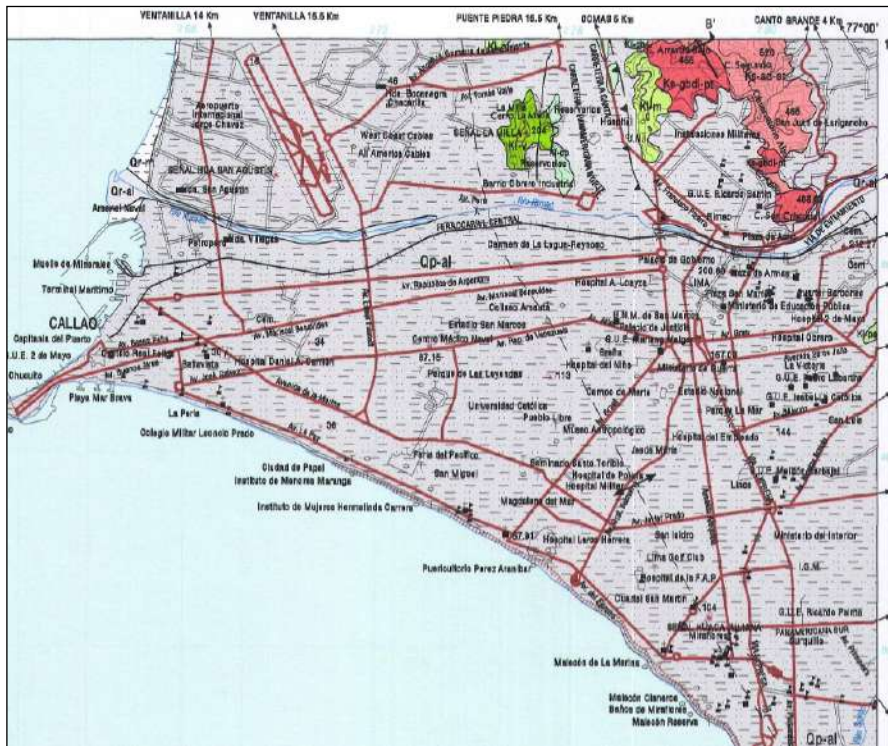


Fuente: Elaboración propia

Geología

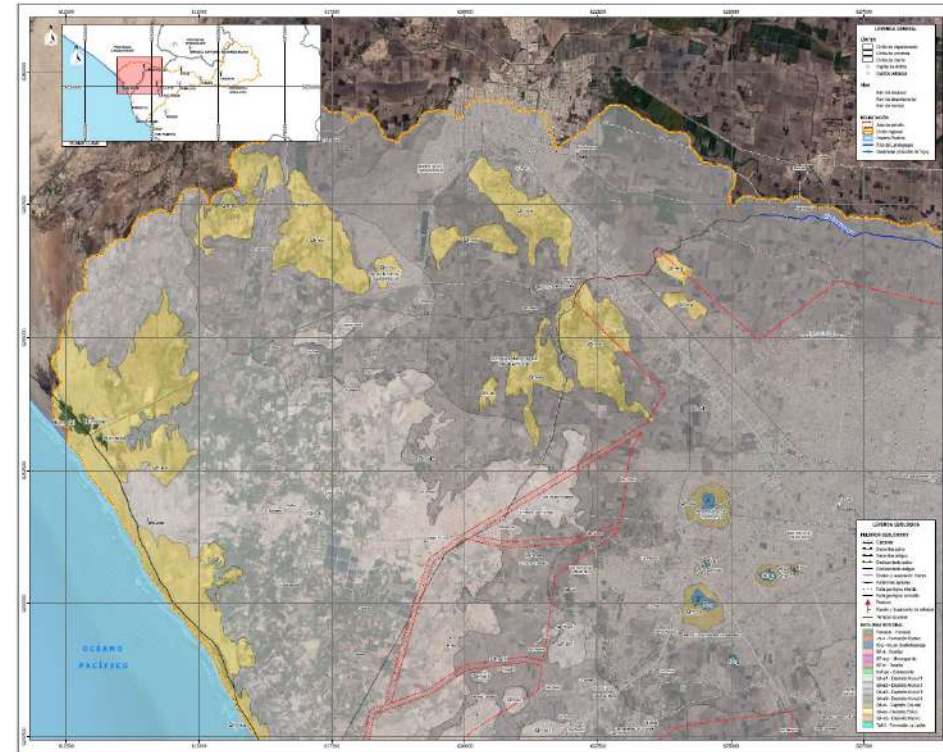
Tipologías de depósitos de suelos en zona de Costa en el Perú.

Mapa Geológico de la Ciudad de Lima - Callao



Fuente: Boletín N° 43, INGEMMET

Mapa Geológico de la Ciudad de Chiclayo



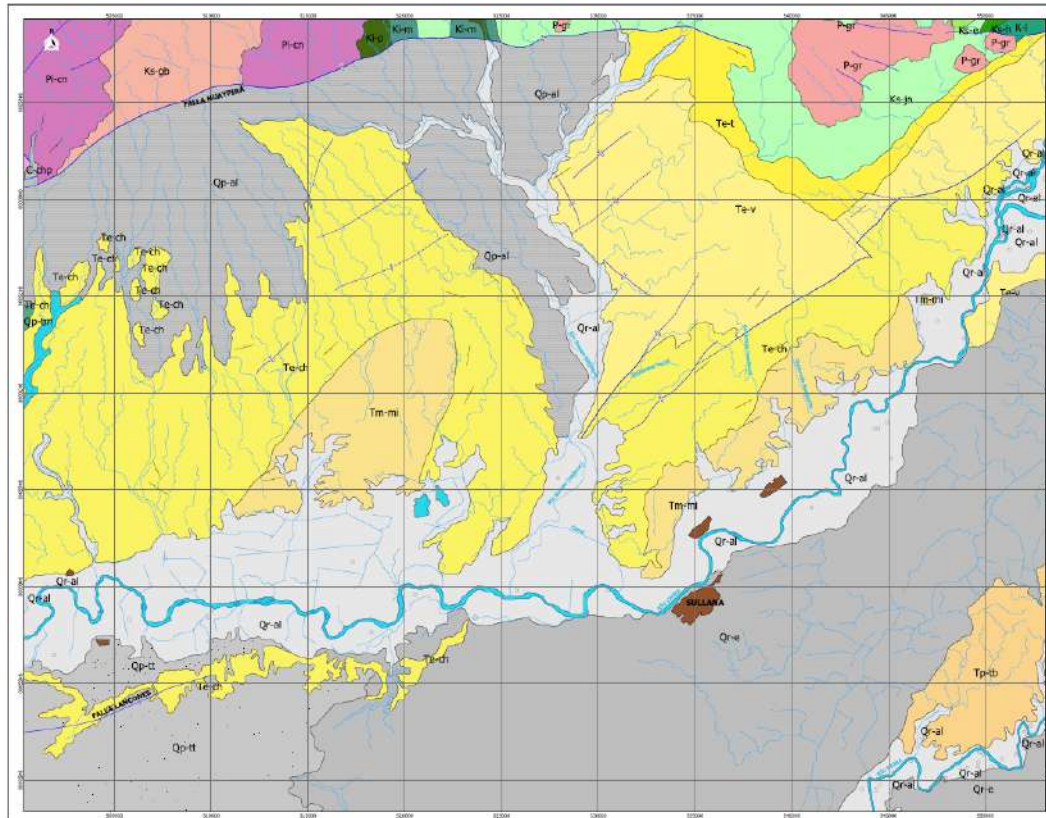
Fuente: Elaboración propia



Geología Regional

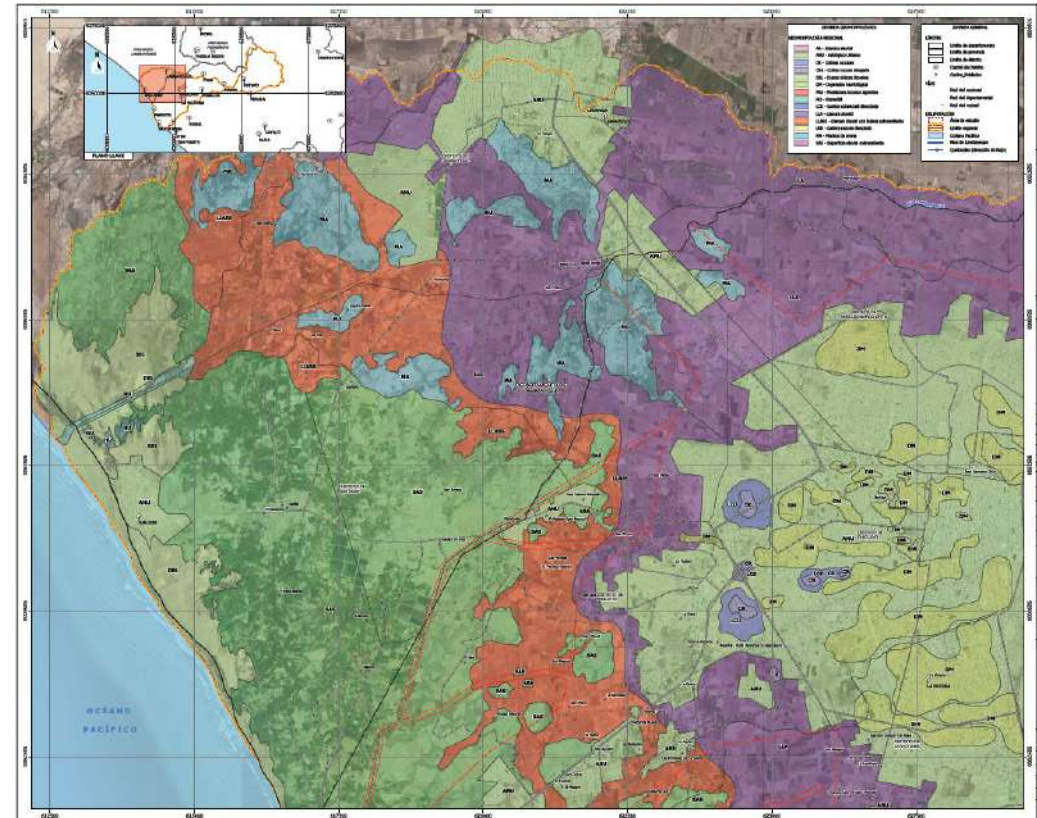
Identificación de las unidades litológicas a nivel regional.

Mapa Geológico Regional de la Ciudad de Sullana



Fuente: INGEMMET, 2017

Mapa Geomorfológico Regional de la Ciudad de Sullana



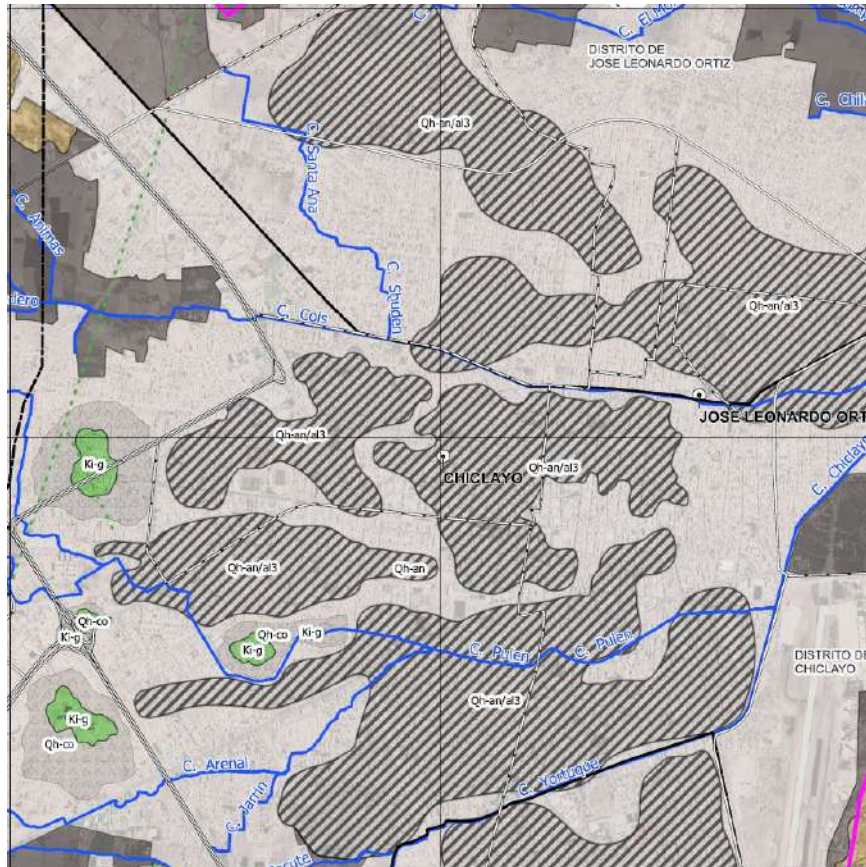
Fuente: Elaboración propia



Geología Local

Identificación de la lito-estratigrafía local.

Mapeo Geológico Local de la Ciudad de Chiclayo



Fuente: Elaboración propia

Mapeo Geológico Local de la Ciudad de Paita



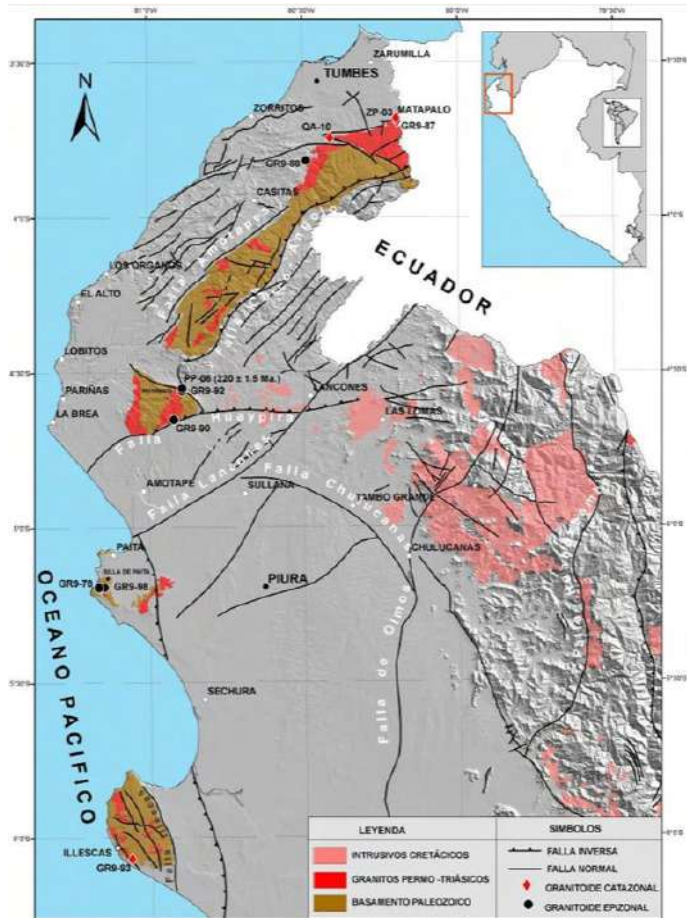
Fuente: Elaboración propia



Geología Estructural

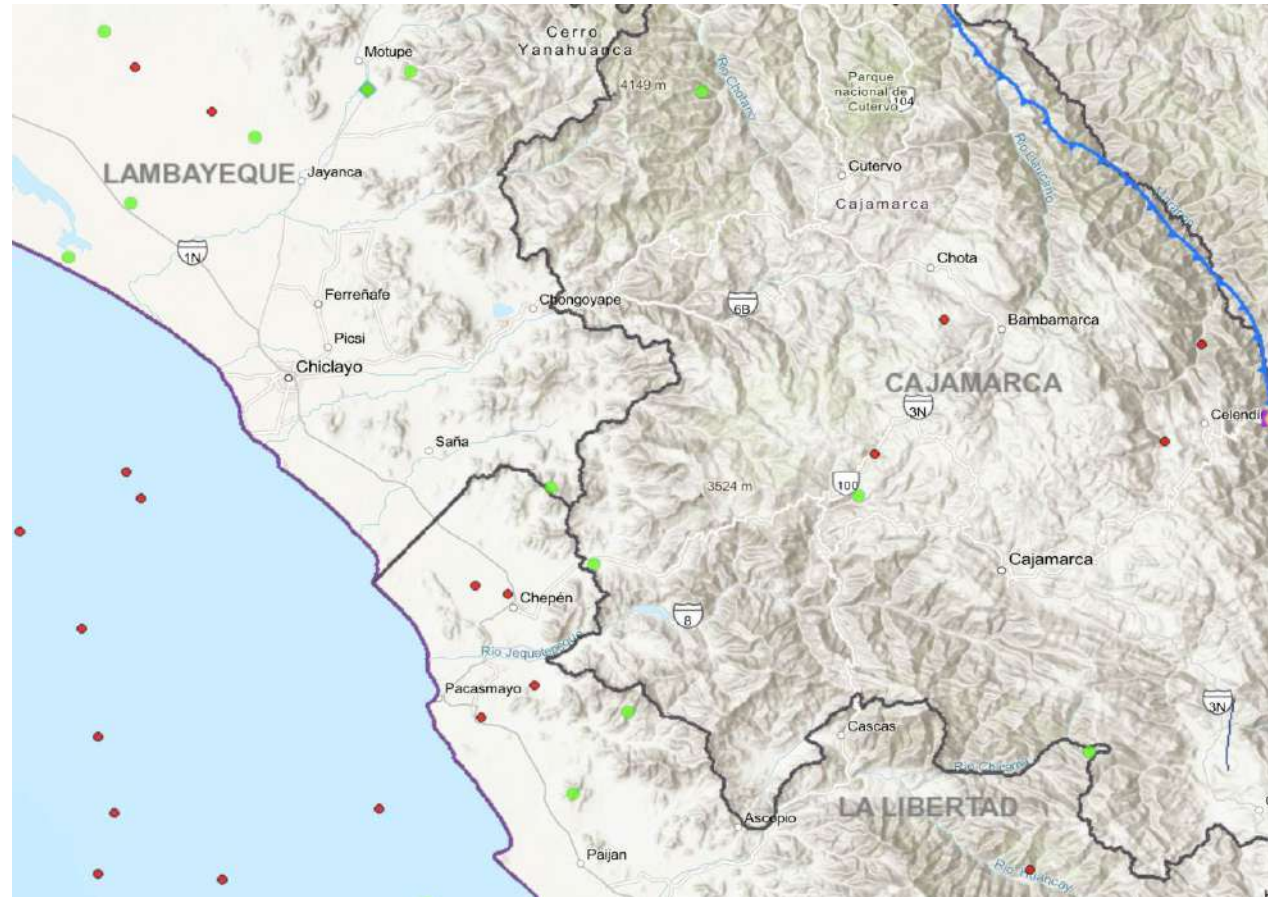
Identificación de sistema de fallas en la zona de estudio.

Fallas geológicas Zona Norte del Perú



Fuente: Informe Técnico N°023-2021/IGP, 2021

Vista Neotectónica



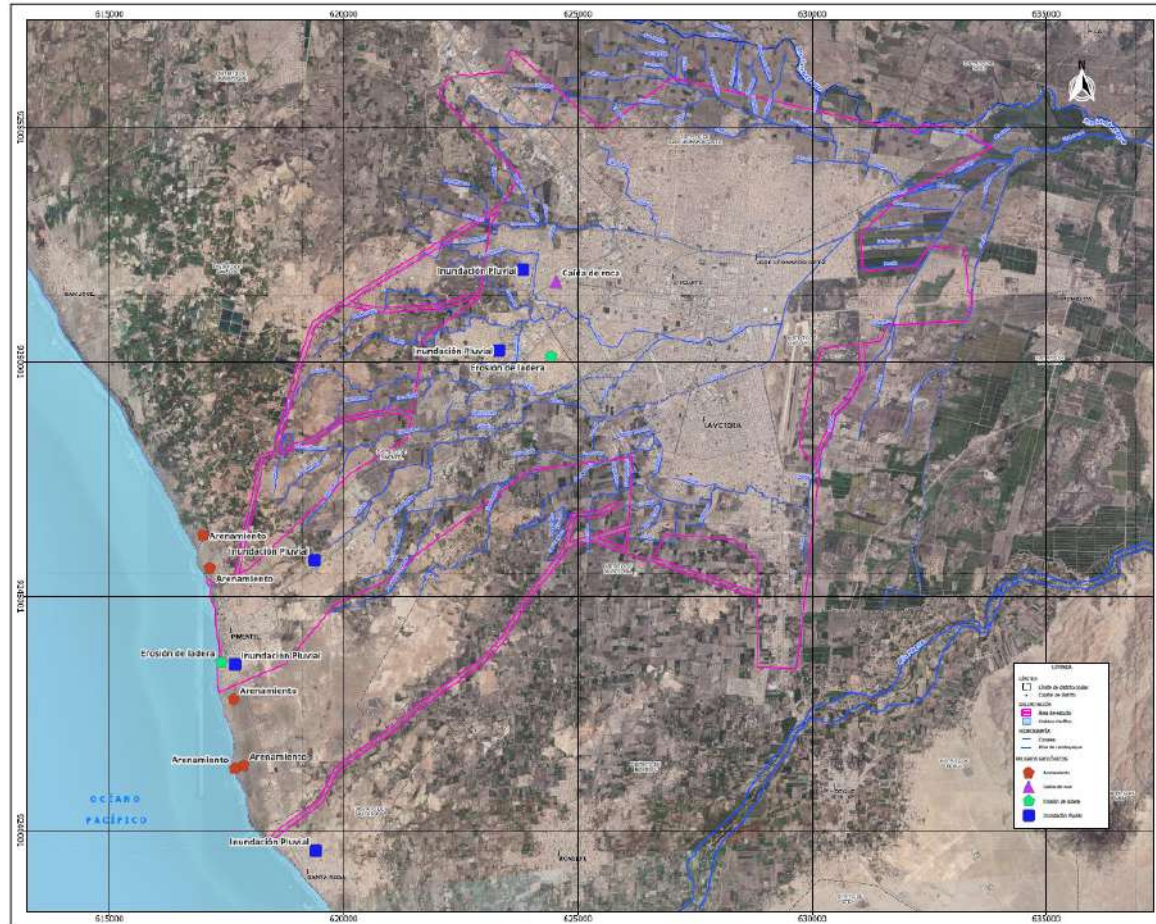
Fuente: Geocatmin INGEMMET



Peligros Geológicos e Hidrogeológicos

Identificación de peligros geológicos en la zona de estudio.

Mapa de peligros geológicos local en la ciudad de Chiclayo



Fuente: Elaboración propia

Listado de peligros geológicos:

- Tsunami
- Sismo
- Licuación
- Arenamiento

Listado de peligros hidrogeológicos:

- Inundación
- Erosión fluvial

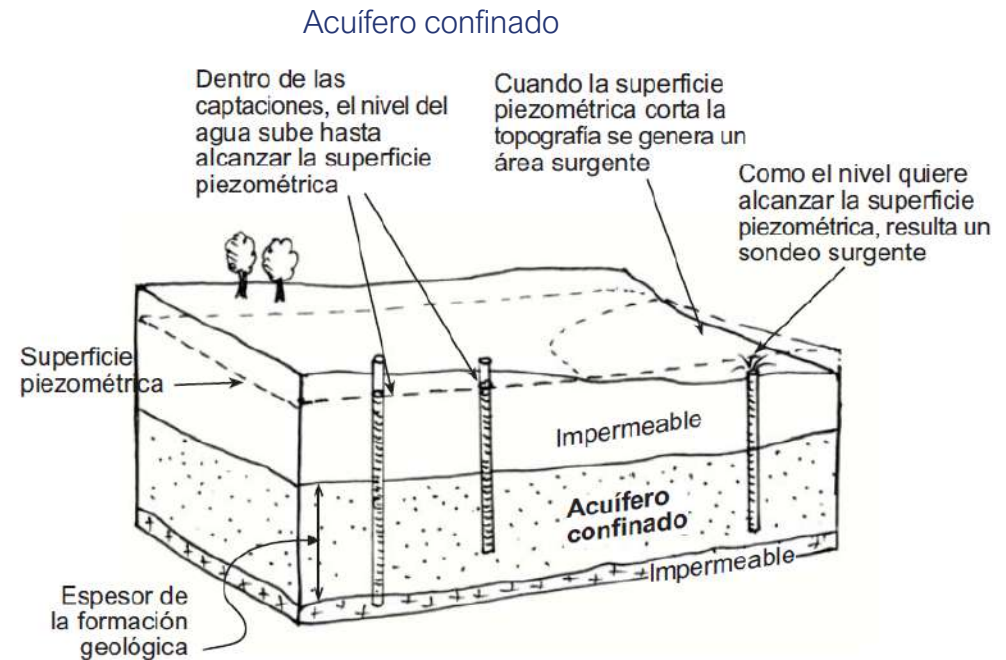
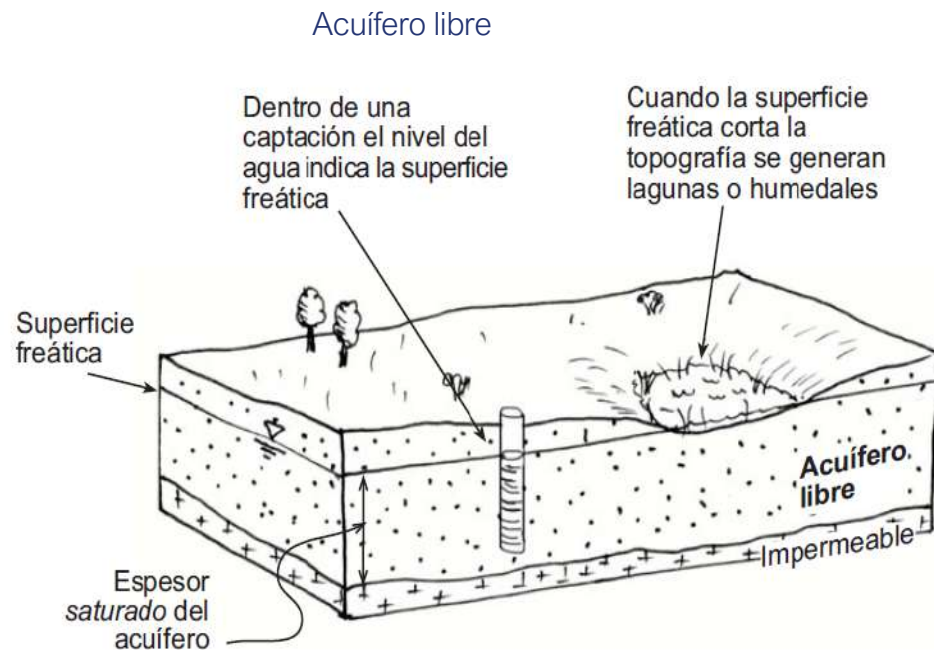


LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

- 1 MARCO NORMATIVO
 - 2 GEOLOGÍA
 - 3 **HIDROGEOLOGÍA**
 - 4 GEOTECNIA
 - 5 CASOS DE APLICACIÓN
 - 6 FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO
-

Acuíferos

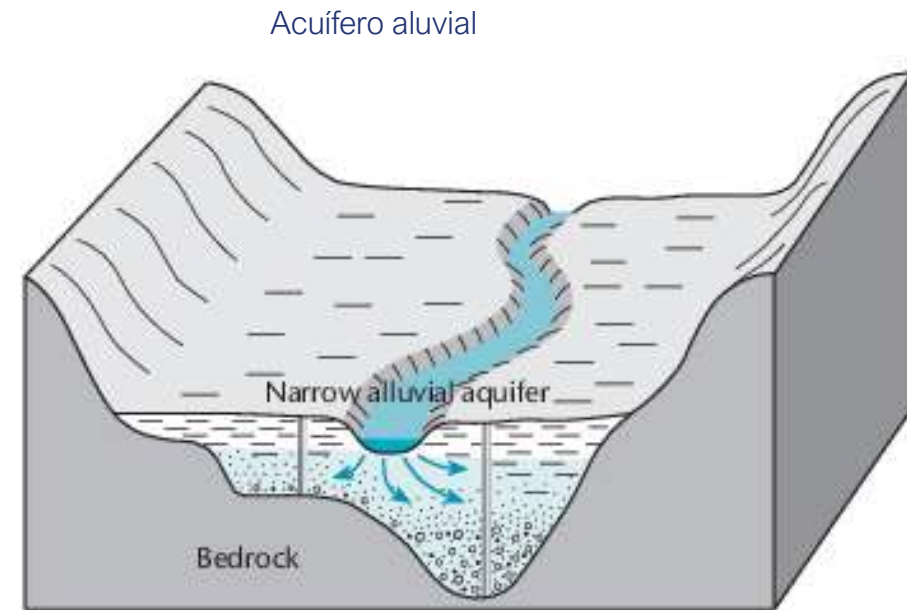
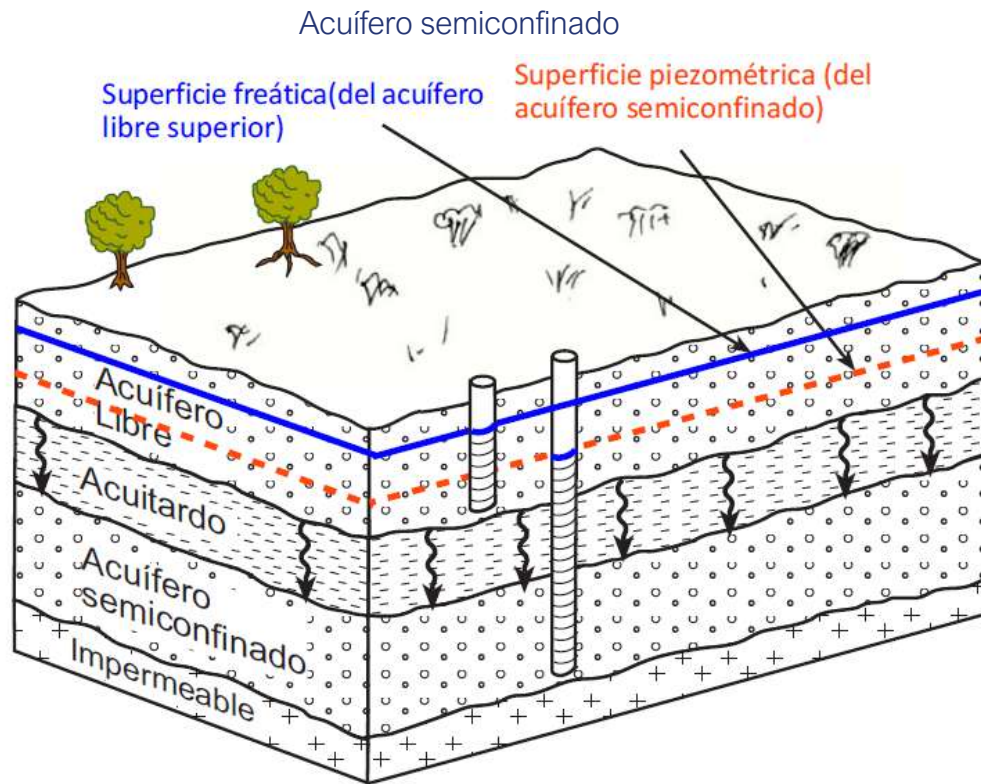
Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.





Acuíferos

Acuitardo: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable, pero que el agua circula a través de ello con dificultad.



B. Narrow alluvial aquifer



Caracterización geoquímica

Determinación de las concentraciones de iones (sulfatos, cloruros, entre otros) perjudiciales para las estructuras de concreto.

Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	<i>f</i> ' _c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	0,0 ≤ SO ₄ < 0,1	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderada**	0,1 ≤ SO ₄ < 0,2	150 ≤ SO ₄ < 1500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	0,2 ≤ SO ₄ < 2,0	1500 ≤ SO ₄ < 10000	V	0,45	31
Muy severa	2,0 < SO ₄	10000 < SO ₄	Tipo V más puzolana***	0,45	31

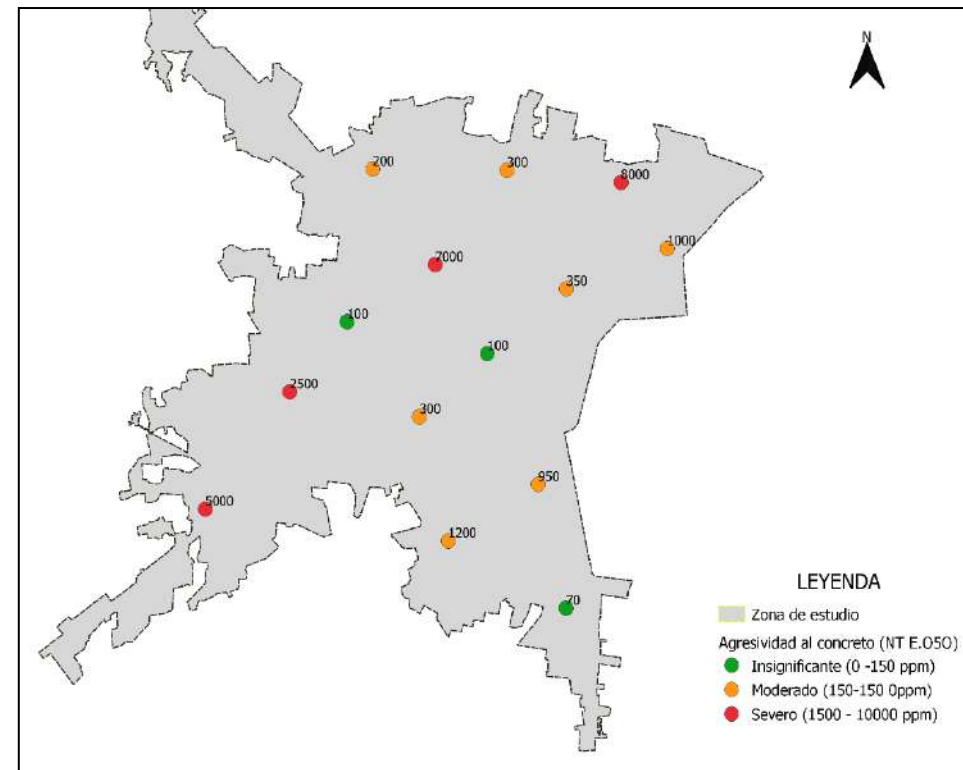
* Cuando se utilicen las Tablas 4.2 y 4.4 simultáneamente, se debe utilizar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor *f*'_c mínimo.

** Se considera el caso del agua de mar como exposición moderada.

*** Puzolana que se ha comprobado por medio de ensayos, o por experiencia, que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V.

Fuente: NTP E060 “Concreto Armado”

Concentración ión Sulfato en zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Permeabilidad

Facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido.

Métodos para obtener el coeficiente de permeabilidad.

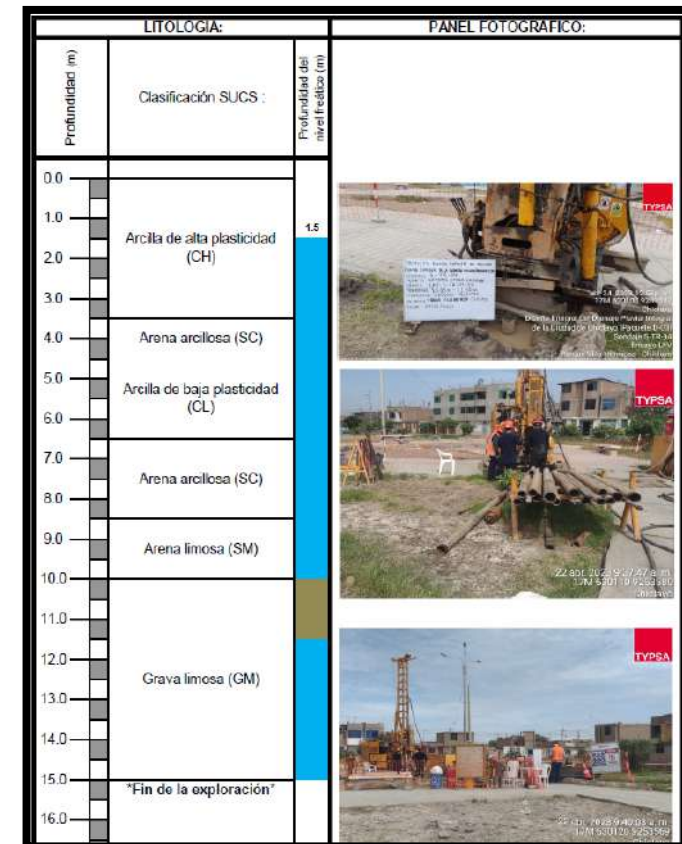
Ensayos de campo:

- Permeabilidad en zanja (carga constante, carga variable)
- Infiltrómetro de doble anillo
- Ensayo Lefranc (carga constante, carga variable)
- Ensayo Lugeon
- Pruebas de bombeo

Ensayos de laboratorio:

- Ensayo de permeabilidad de pared rígida.
- Ensayo de permeabilidad de pared flexible.

Ensayo de permeabilidad Lefranc



Permeabilidad

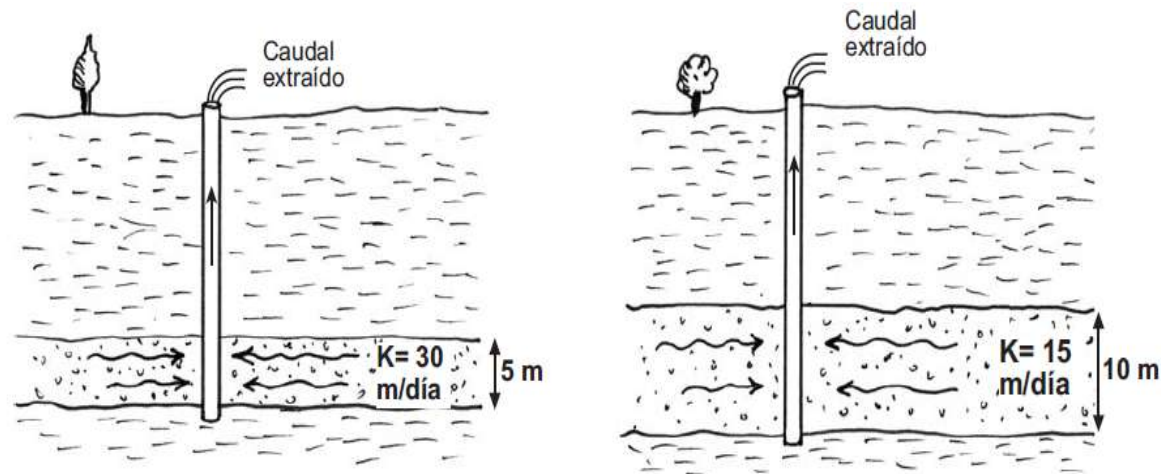
¿Qué ensayos aplicar?



Transmitividad

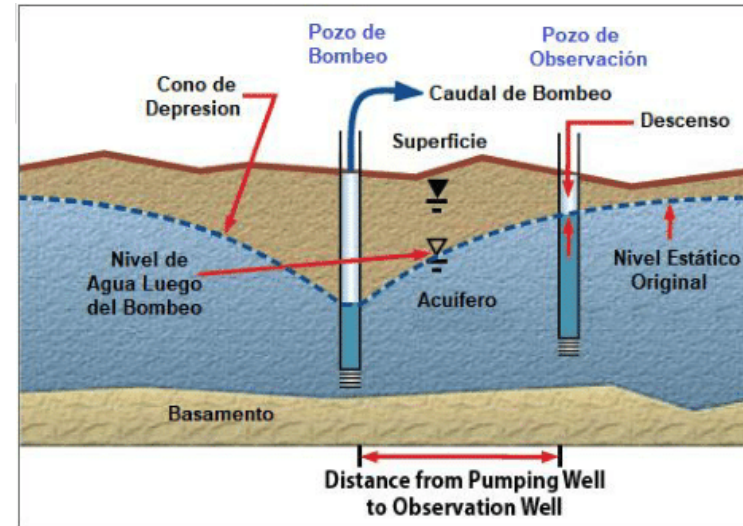
Es el parámetro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica .

Esquema de caudal extraído



$$K = 30 \text{ m/día} = 3.4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$
$$K = 15 \text{ m/día} = 1.7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Esquema prueba de bombeo



Fuente: Guide to Conducting Pumping Tests. British Columbia Government. 2015

Caracterización del acuífero

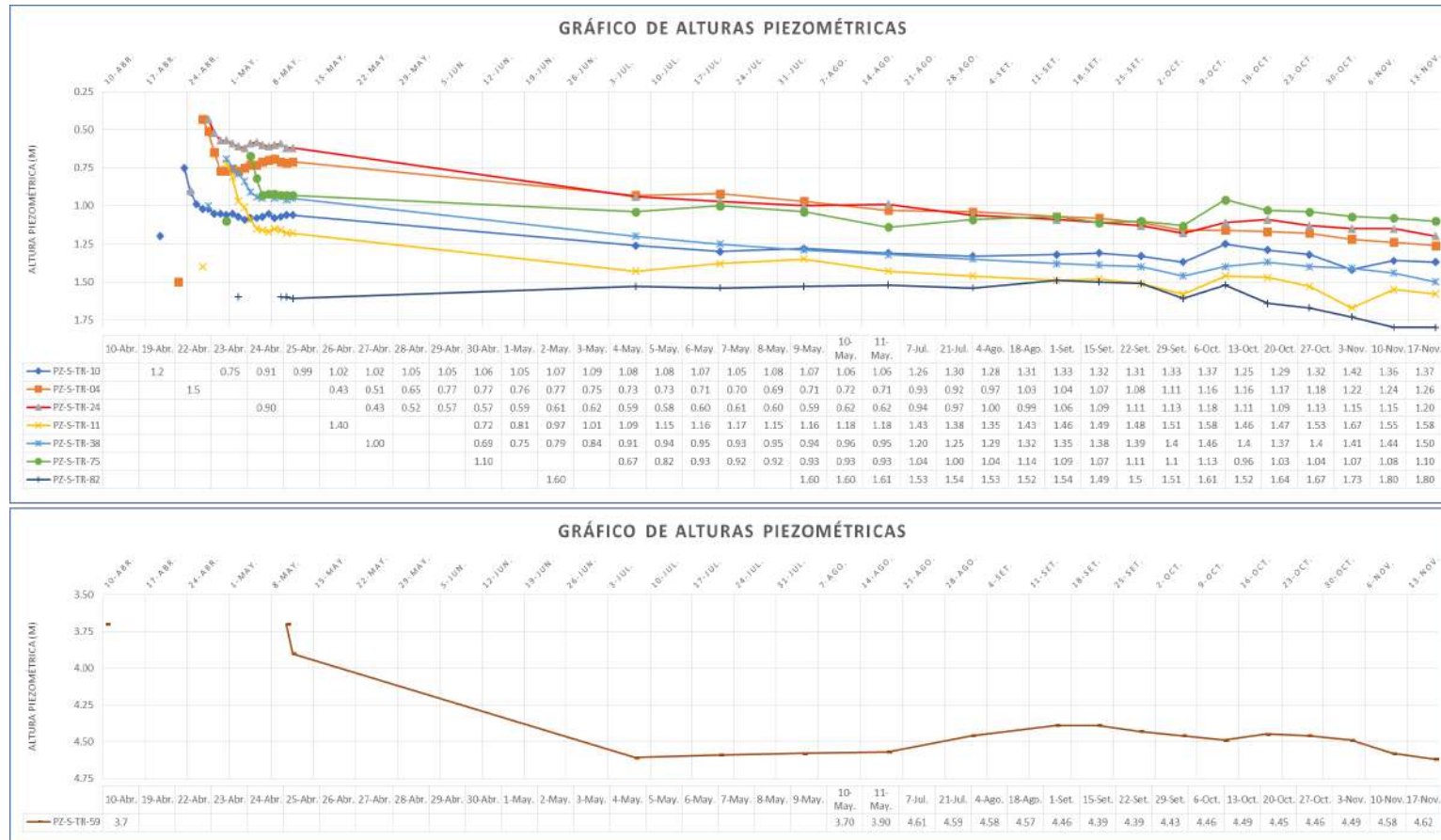
Es el parámetro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica .

Aspectos para considerar	Investigación
1. Tipo de acuífero	Perforaciones, tomografía eléctrica, Ensayos de laboratorio (SUCS, W, porosidad)
2. Parámetros hidráulicos del acuífero	Prueba de bombeo, ensayos de permeabilidad
3. Nivel piezométrico (fluctuaciones del NP)	Instalación de piezómetros (periodos seco y húmedo, como mínimo), inventario de puntos de agua
4. Agresividad química del agua	Extracción de muestras de agua y análisis químico



Caracterización del acuífero

Medición de niveles piezométricos.



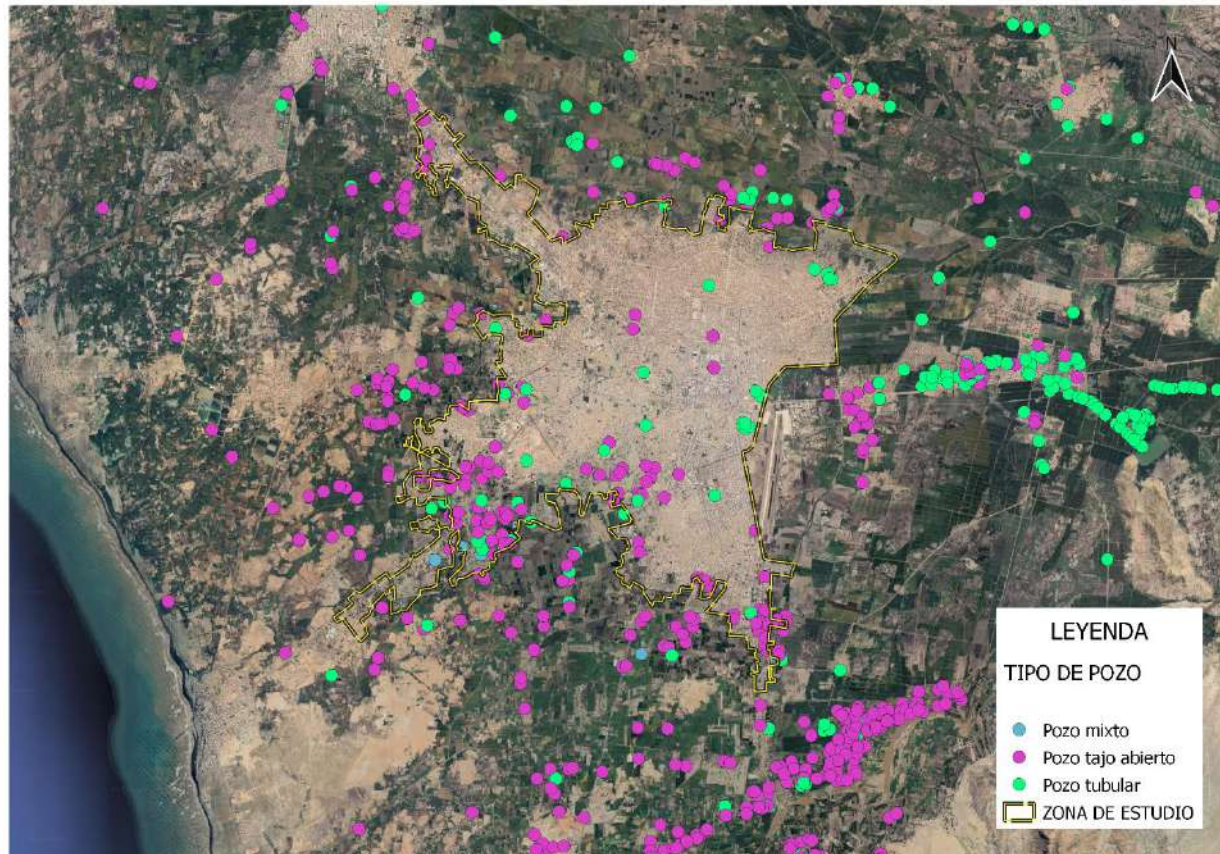
Fuente: Elaboración propia



Caracterización del acuífero

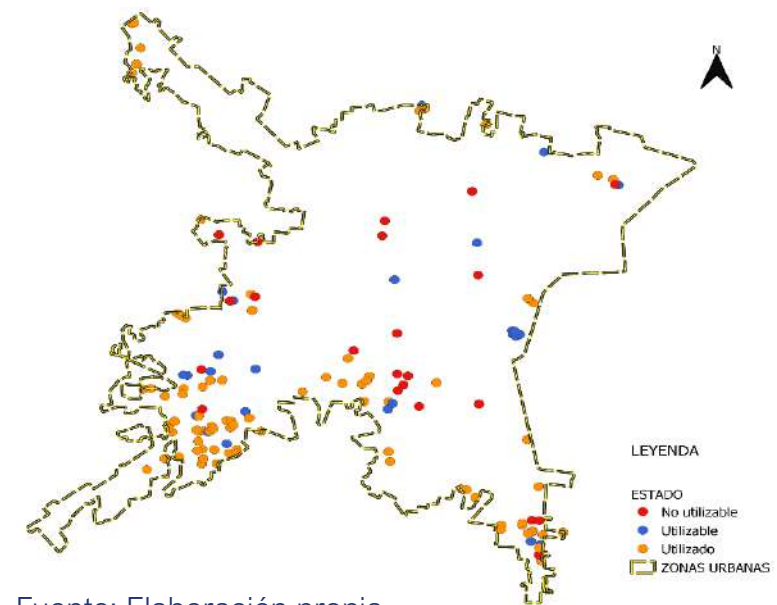
Recopilación de información previa (ANA, boletines, tesis, junta de usuarios, entre otros).

Inventario de pozos en la Región de Lambayeque



Fuente: Elaboración propia

Inventario de pozos en la zona de estudio



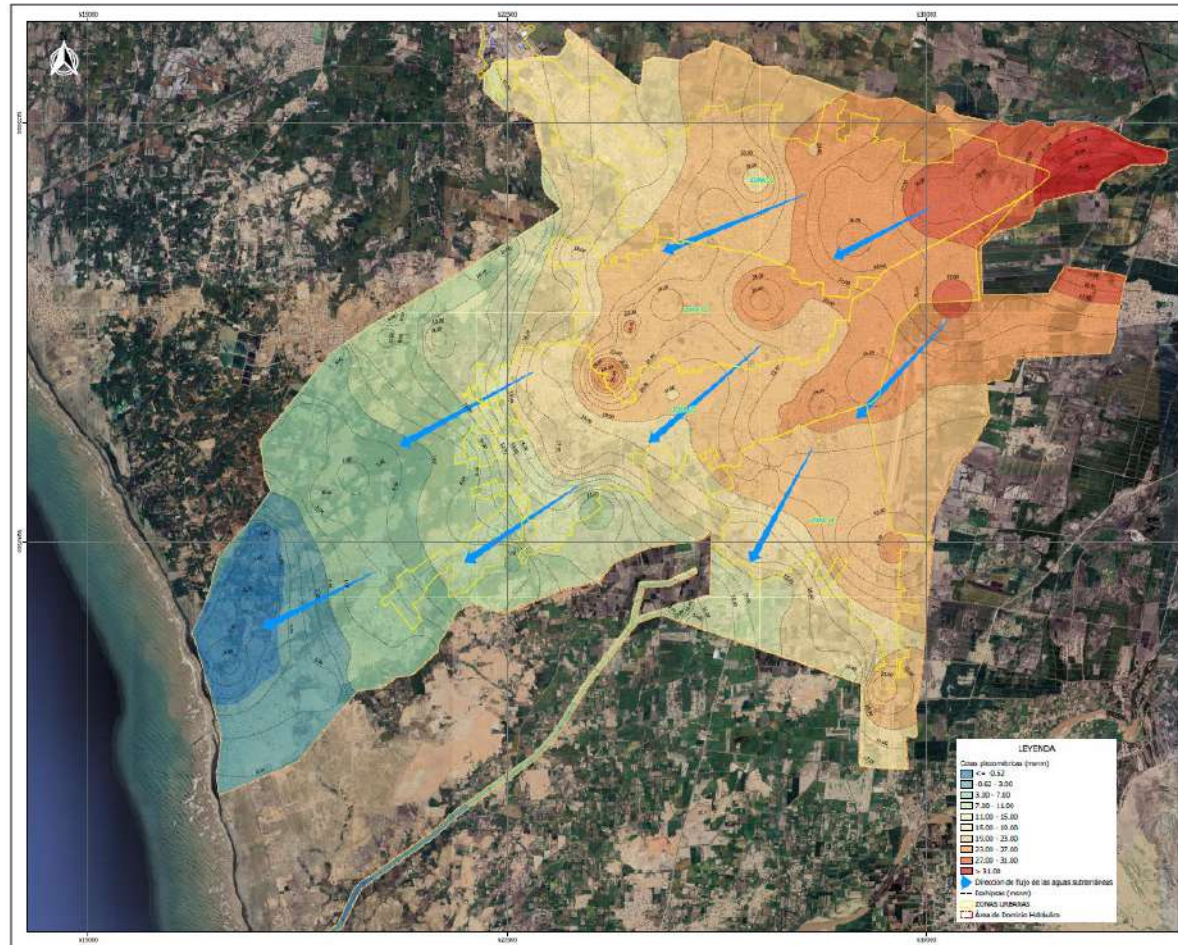
Fuente: Elaboración propia



Caracterización del acuífero

Elaboración de mapas

Dirección de flujo de aguas subterráneas



Fuente: Elaboración propia



LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

- 1 MARCO NORMATIVO
 - 2 GEOLOGÍA
 - 3 HIDROGEOLOGÍA
 - 4 **GEOTECNIA**
 - 5 CASOS DE APLICACIÓN
 - 6 FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO
-

Técnicas de exploración geotécnicas

Investigaciones geotécnicas

- Exploraciones geotécnicas a pozos abiertos (calicatas).
- Sondeos mediante perforaciones.
- Exploraciones con métodos de penetración (SPT, Cono Peck, DPL, CPTu).
- Ensayo presiométrico
- Exploraciones geotécnicas indirectas (SEV, tomografía eléctrica, MASW, refracción sísmica, microtremor, entre otros).



Técnicas de exploración geotécnicas - Directas

Calicatas



Cajas portatestigos



Perforación método rotativo



Sondeo SPT: "Wash-Boring"



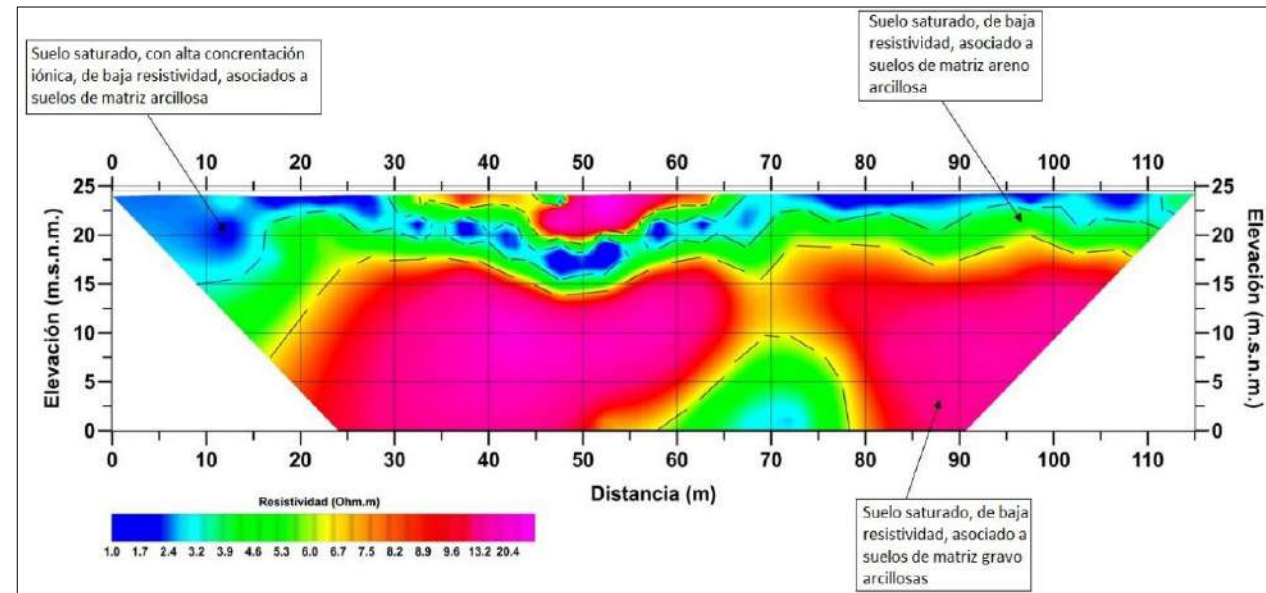
Técnicas de exploración geotécnicas - Indirectas

Prospección geofísica eléctrica

Tomografía eléctrica



Perfil de tomografía eléctrica



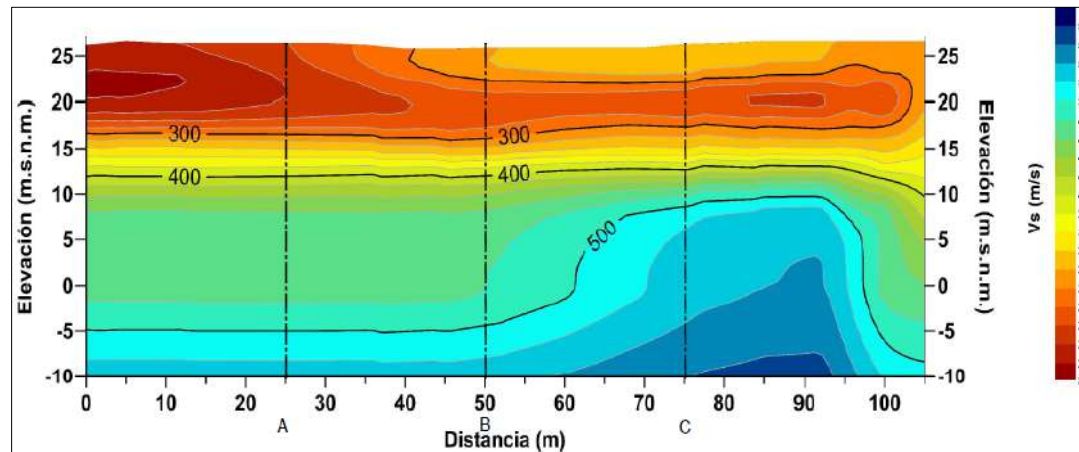
Técnicas de exploración geotécnicas - Indirectas

Prospección geofísica sísmica

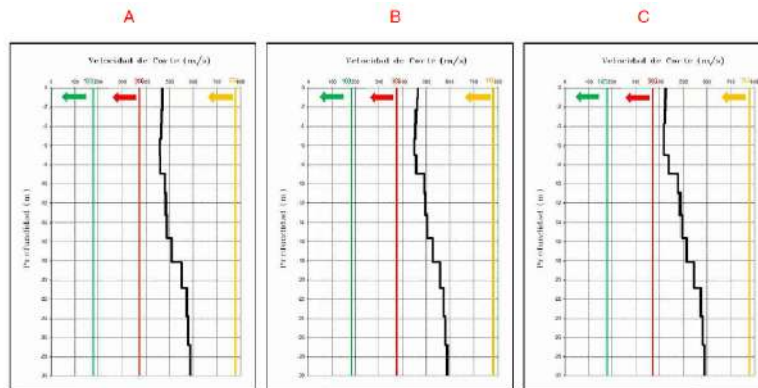
MASW 2D



Perfil MASW 2D



Perfil Unidimensional MASW



- ← Vs < 180 m/s : suelo blando
- ← 180 m/s < Vs < 360 m/s : suelo rígido
- ← 360 m/s < Vs < 760 m/s : suelo muy denso

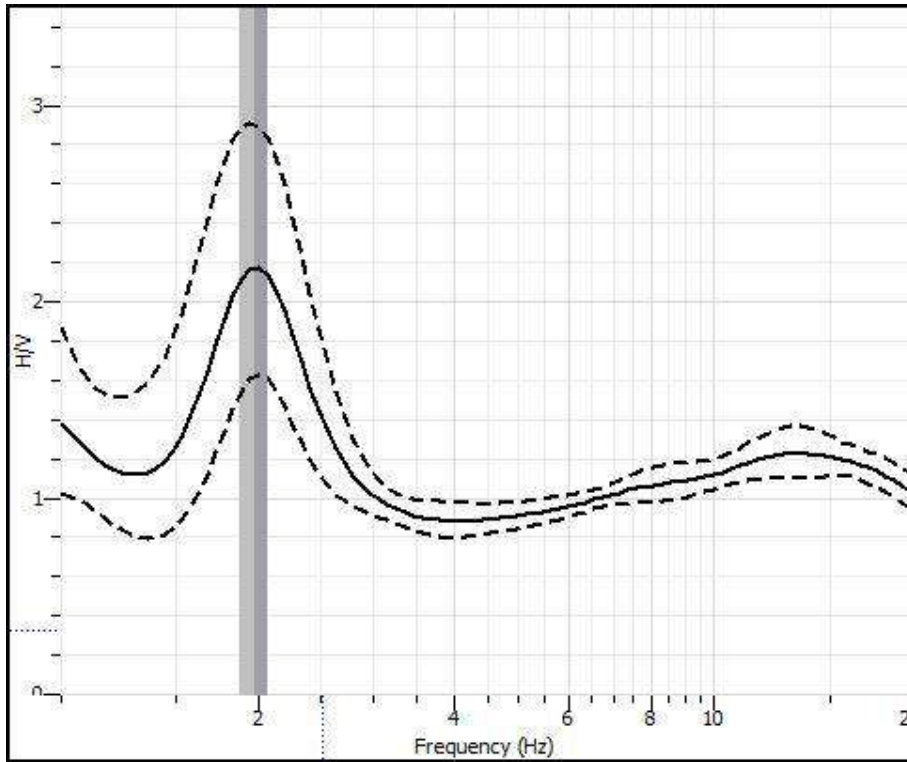
VS30=513.1 m/s



Técnicas de exploración geotécnicas - Indirectas

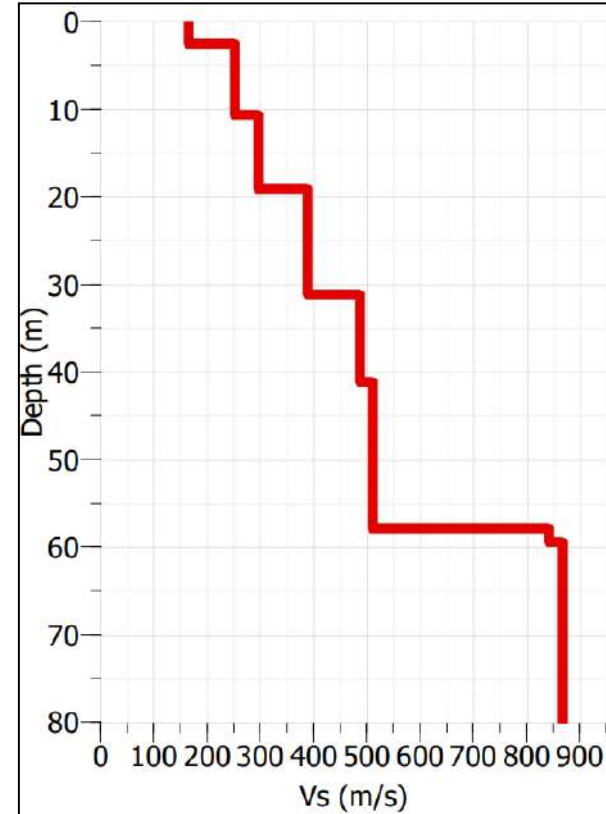
Prospección geofísica sísmica - microtremor

Periodo fundamental del suelo



$T_0 = 0.51 \text{ s}$

Perfil Unidimensional Vs



Ensayos de Laboratorio

Estándar:

- Granulometría por tamizado
- Límites de Atterberg
- Contenido de humedad
- Clasificación SUCS y/o AASHTO

Especiales

- Próctor (estándar, modificado)
- CBR
- Compresión Triaxial (CD, CU, UU)
- Compresión simple
- Consolidación
- Ensayos químicos

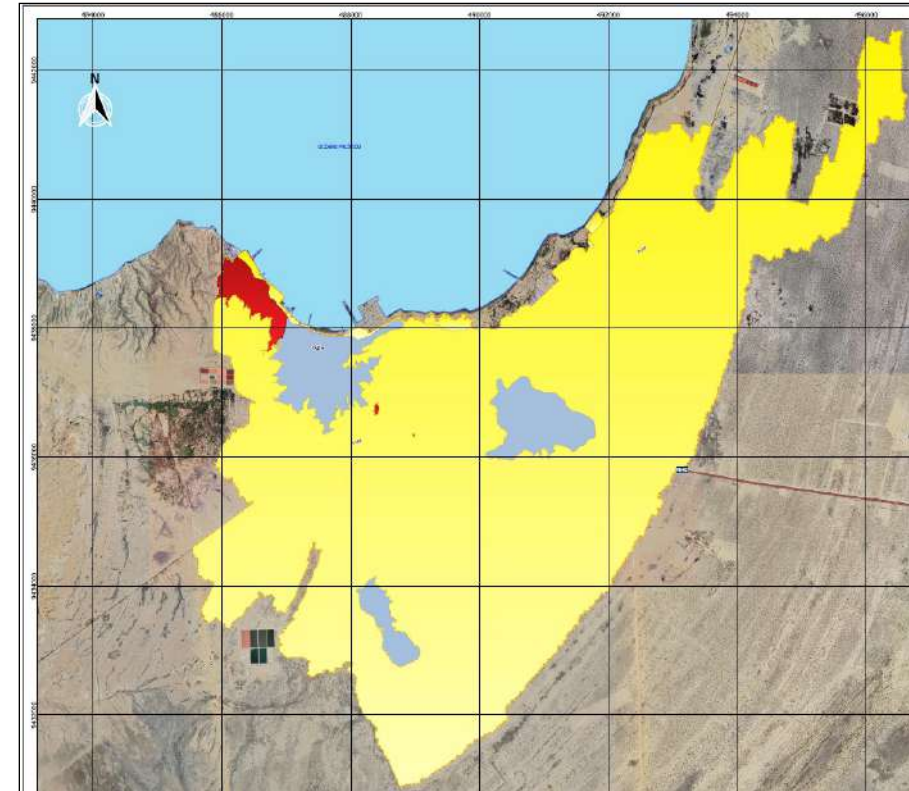



Caracterización Geotécnica

Ciudad de Paita



Zonificación en planta de la Ciudad de Paita



TIPO DE SUELOS SEGÚN % DE MATERIAL	
	GRAVAS
	ARENA
	FINOS

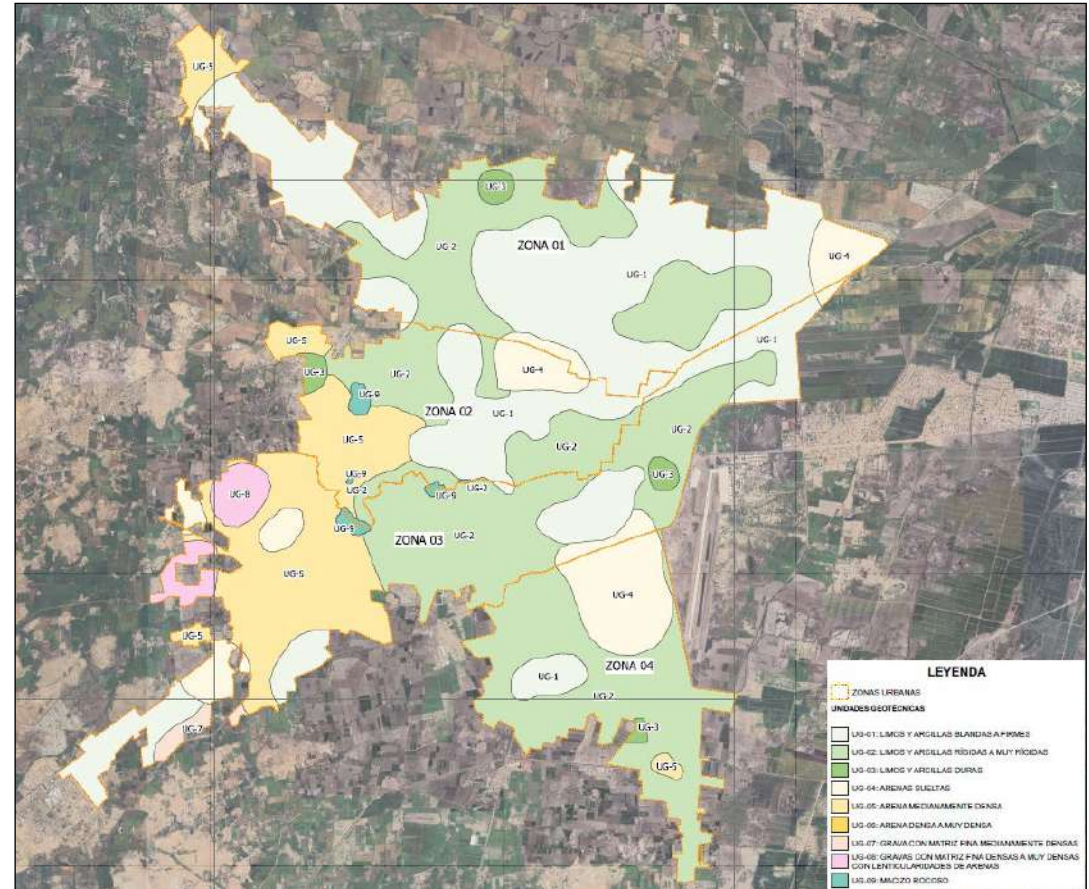


Caracterización Geotécnica

Ciudad de Chiclayo

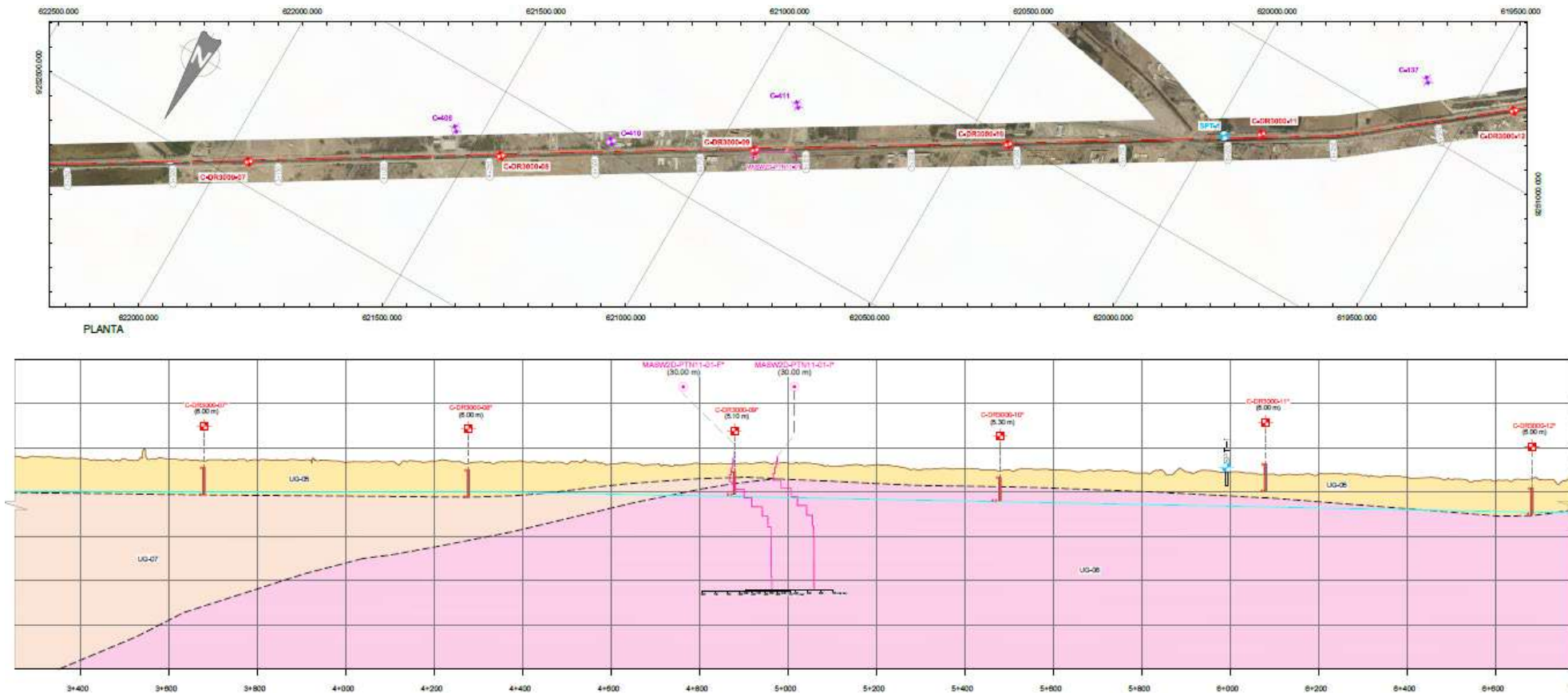


Zonificación en planta de la Ciudad de Chiclayo



Caracterización Geotécnica

Perfil estratigráfico



Caracterización Geotécnica

Aspectos geotécnicos condicionantes

Paita

- Baja capacidad admisible
- Taludes de gran pendiente con presencia de viviendas.
- Sin presencia de nivel freático.
- Filtraciones debido a tuberías de agua y desagüe
- Arcillas expansivas en la zona de Paita baja.

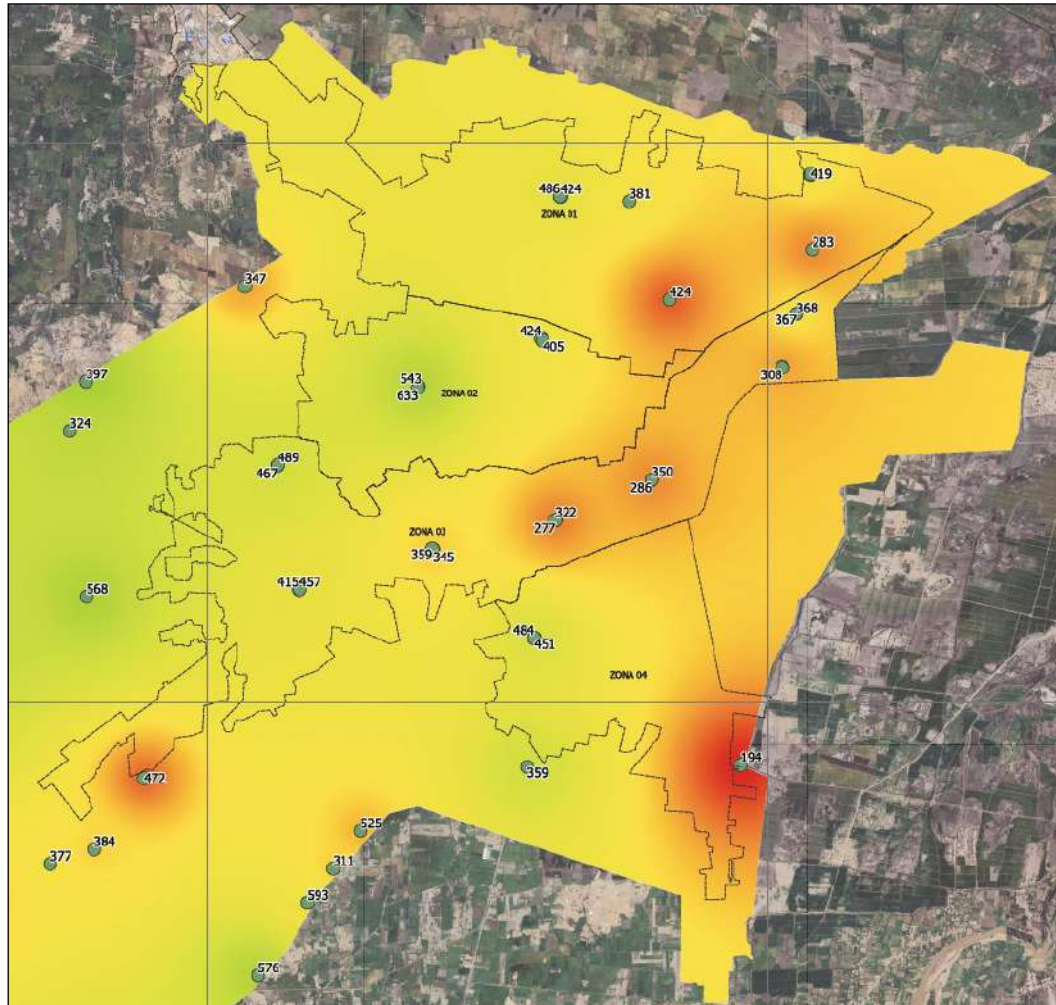
Chiclayo

- Zonificación dispersa (predominancia de arcillas zona Este, y arenas al Oeste)
- Presencia de nivel freático.
- Presencia de arcillas blandas (baja capacidad admisible).
- Sectores con agresividad química.
- Asentamientos por consolidación primaria.
- Efecto de subpresiones.
- Necesidad de sostenimiento en excavaciones.





Caracterización Geotécnica




Mapa de distribución de velocidades de corte Vs30 (m/s)



LEYENDA

-  Zonas Urbanas:
-  Valor de Vs30 promedio (m/s)

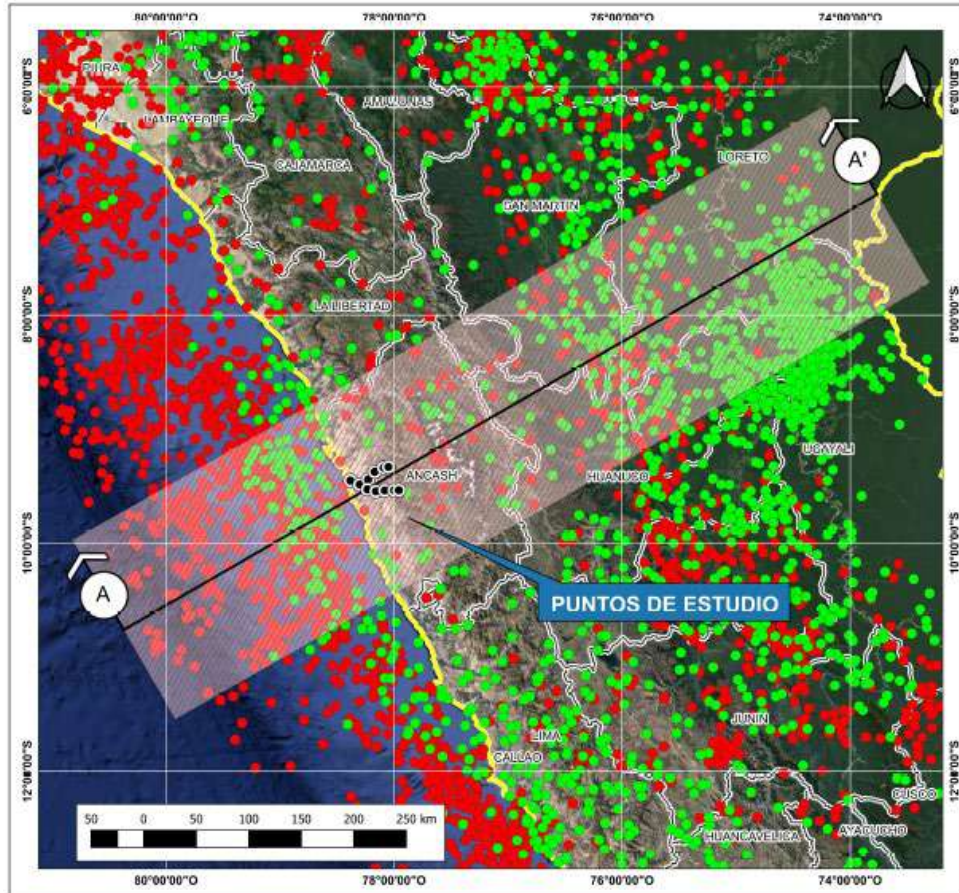
Límites de variación de Vs30 (m/s) Ref. (IBC, 2018)

-  180.0
-  360.0
-  760.0

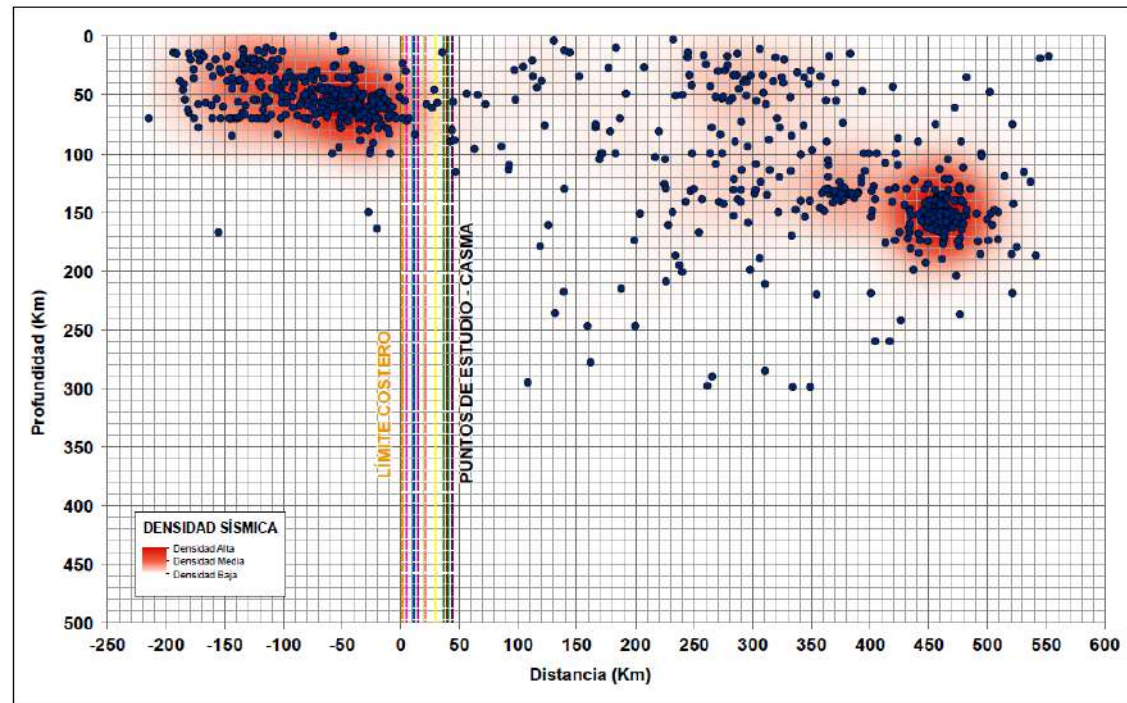


Peligro sísmico

Sección sísmica en planta

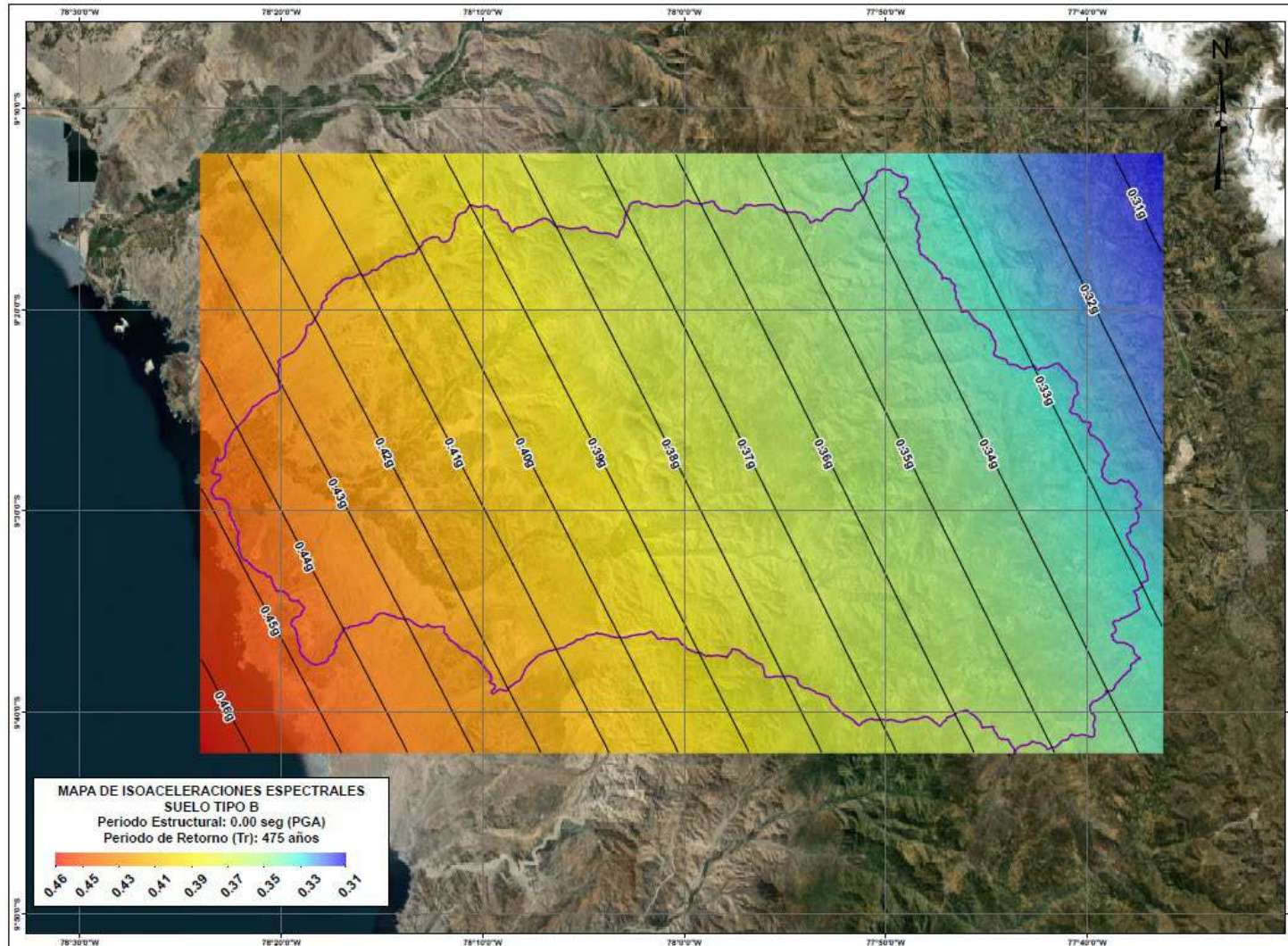


Sección sísmica A-A



Peligro sísmico

Mapa de Isoaceleraciones espectrales



LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

1
2
3
4
5
6

MARCO NORMATIVO

GEOLOGÍA

HIDROGEOLOGÍA

GEOTECNIA

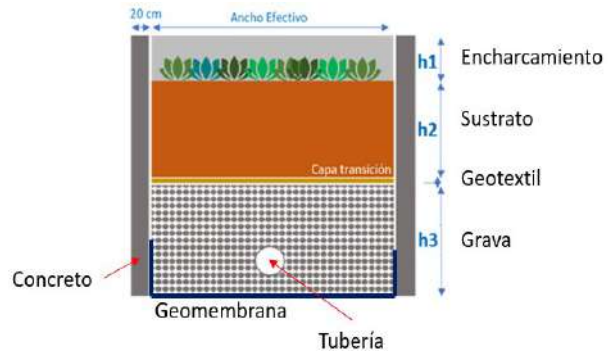
CASOS DE APLICACIÓN

FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO

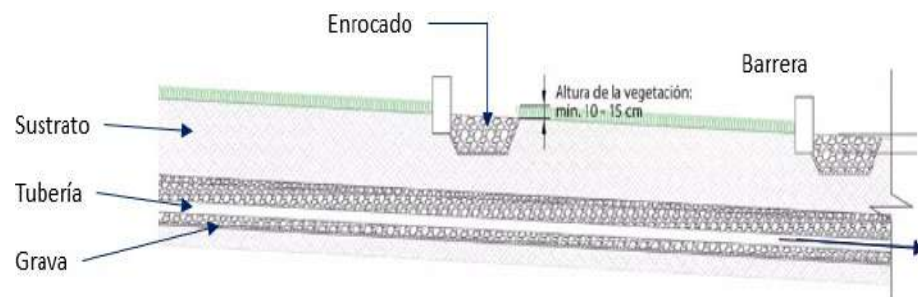
SUDS

La tipología de los SUDS se basan en jardín inundable, cuenca seca y cuneta verde.

Sección típica de jardín inundable



Perfil típico de cuneta verde



Geotecnia

- Determinación del coeficiente de permeabilidad del suelo.
- Diseño de capa drenante.



Tanques de Retención

Estructuras subterráneas capaz de almacenar un volumen de diseño.

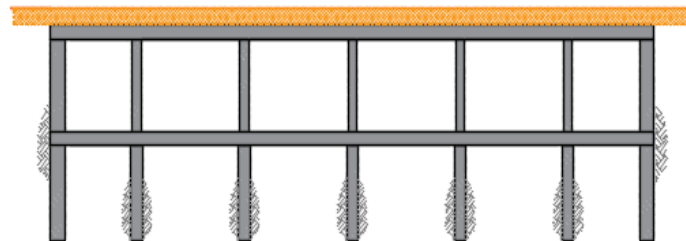
Tanque de retención en construcción



Geotecnia

- Determinación del proceso constructivo.
- Elección del método de abatimiento de nivel freático.
- Análisis de subpresión en losa inferior.

Esquema de tanque de retención





Tanques de Retención

Muros pantalla



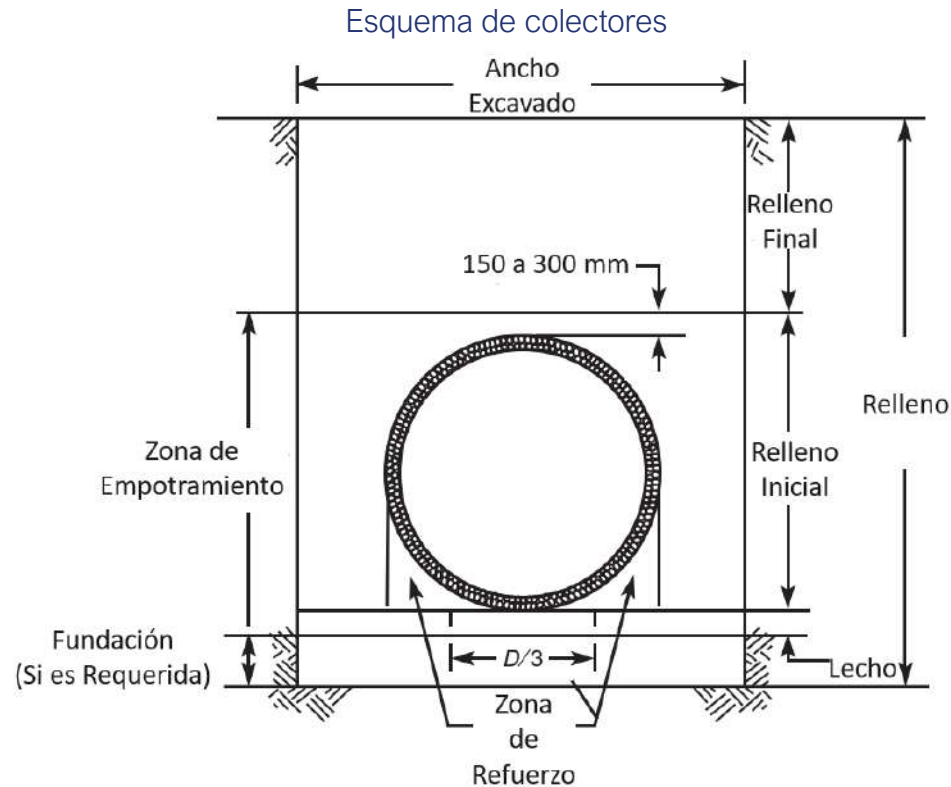
Descenso nivel freático con pozos de baja capacidad



Pilotes secantes



Colectores



Geotecnia

- Determinación de los rellenos estructurales.
- Elección del método de abatimiento de nivel freático.
- Elección del sistema de sostenimiento para excavación .



Colectores

Clasificación de rellenos para colectores

Categoría de rigidez de suelo	Clasificación unificada de suelos:	Clasificación AASHTO:
SC1	Roca triturada: Con un contenido de arena $\leq 15\%$, un máximo de 25% de material pasante del tamiz 3/8" y un máximo de 5% finos (pasante del tamiz No. 200).	-
SC2	Suelos de partículas gruesas limpias: SW, SP, GW, GP o cualquier suelo que comience con uno de estos símbolos con un máximo de 12% finos (pasante del tamiz No. 200).	A1, A3
SC3	Suelos de partículas gruesas con finos: GM, GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con uno de estos símbolos con un contenido de finos mayor al 12% Suelos arenosos o con grava de grano fino: CL, ML (o CL-ML, CL/ML, ML/CL) con un contenido de finos menor al 30%.	A-2-4, A-2-5, A-2-6, o A-4 o A-6 suelos con más del 30% retenido en un tamiz No. 200
SC4	Suelos de grano fino: CL, ML (o CL-ML, CL/ML, ML/CL) con un contenido de finos mayor al 30%	Suelos A-2-7, o A-4 o A-6 con 30% o menos retenido en un Tamiz nº 200
SC5	Suelos altamente plásticos y orgánicos: MH, CH, OL, OH, PT	A5, A7

Fuente: "American Water Works Association, Manual M45, Fiberglass Pipe Design", (AWWA, 2005)

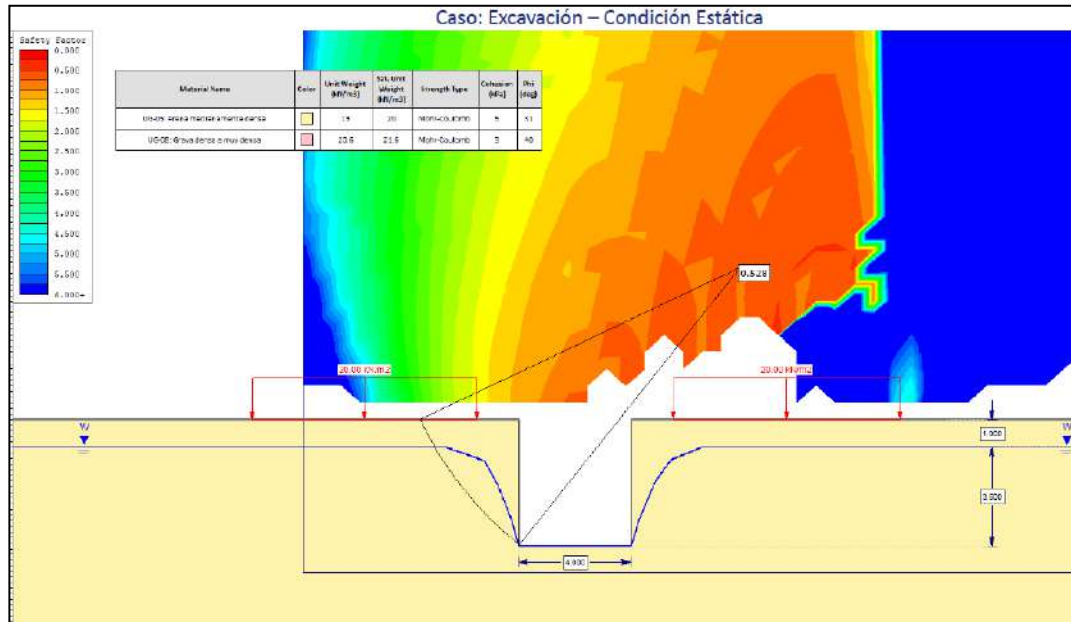
Descenso nivel freático con Well points



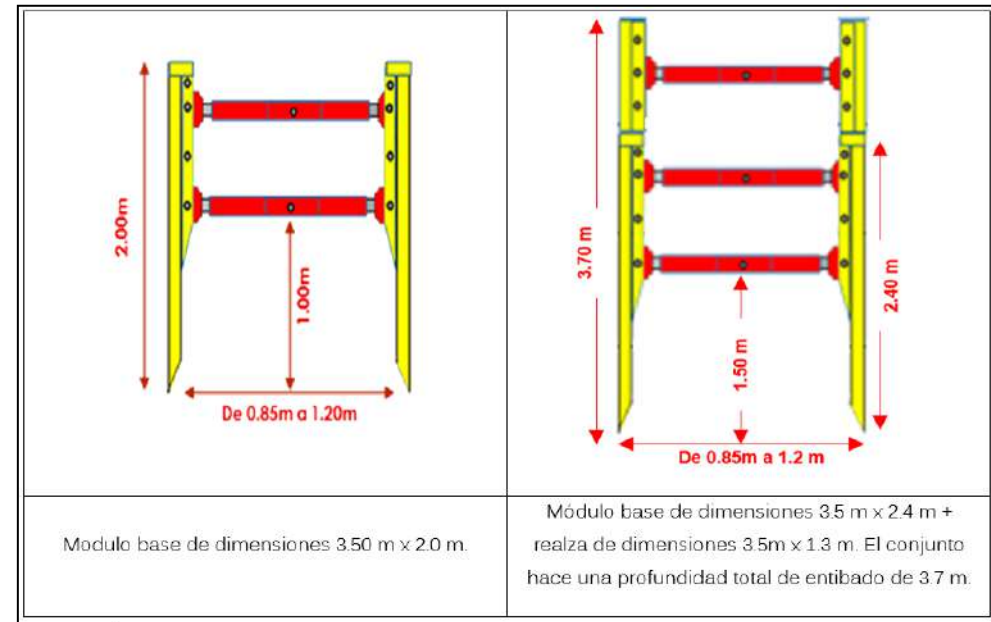


Colectores

Análisis de estabilidad de excavaciones



Entibados Metálicos



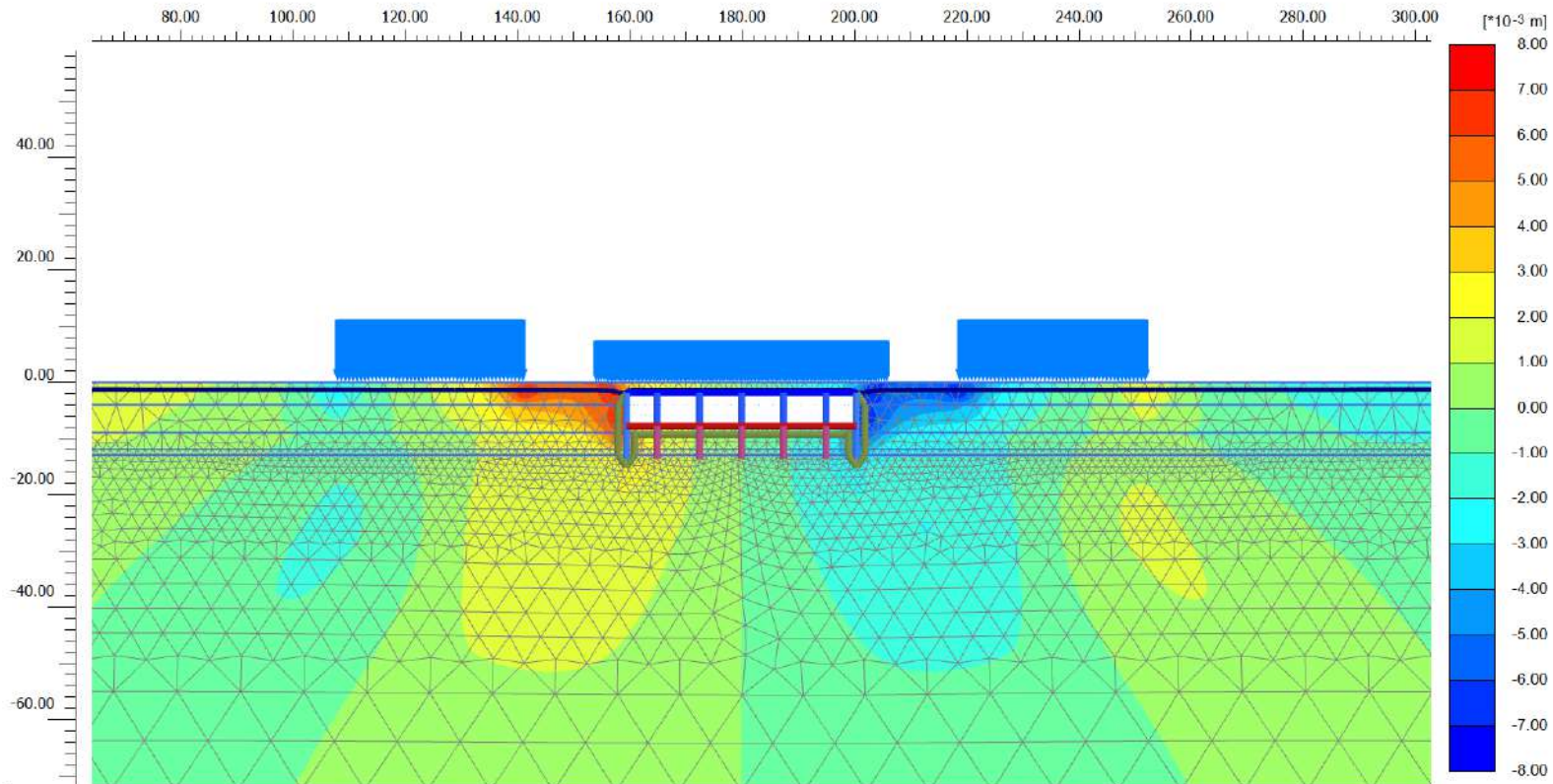
LA IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LOS PROYECTOS DE DRENAJE PLUVIAL

- 1 MARCO NORMATIVO
 - 2 GEOLOGÍA
 - 3 HIDROGEOLOGÍA
 - 4 GEOTECNIA
 - 5 CASOS DE APLICACIÓN
 - 6 FORTALEZAS EN EL DISEÑO GEOTÉCNICO
-



Modelamiento Numérico

Modelamiento numérico en tanque de retención



Total displacements u_x (scaled up 500 times)

Maximum value = $7.389 \cdot 10^{-3}$ m (Element 51 at Node 5808)

Minimum value = $-7.337 \cdot 10^{-3}$ m (Element 52 at Node 26018)

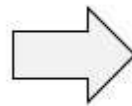
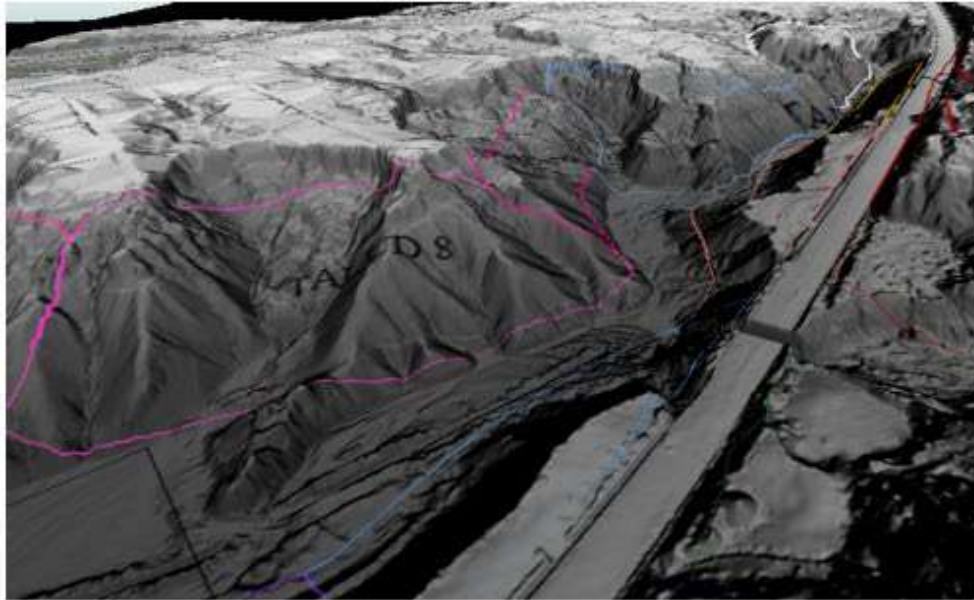




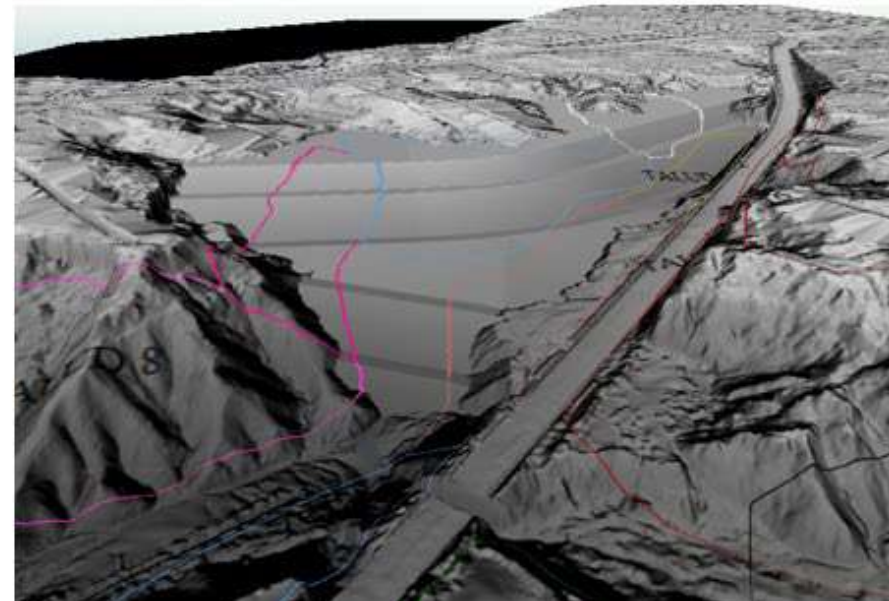
Evaluación de alternativas en taludes

Evaluación de alternativas en taludes de Paita.

Condición natural del terreno



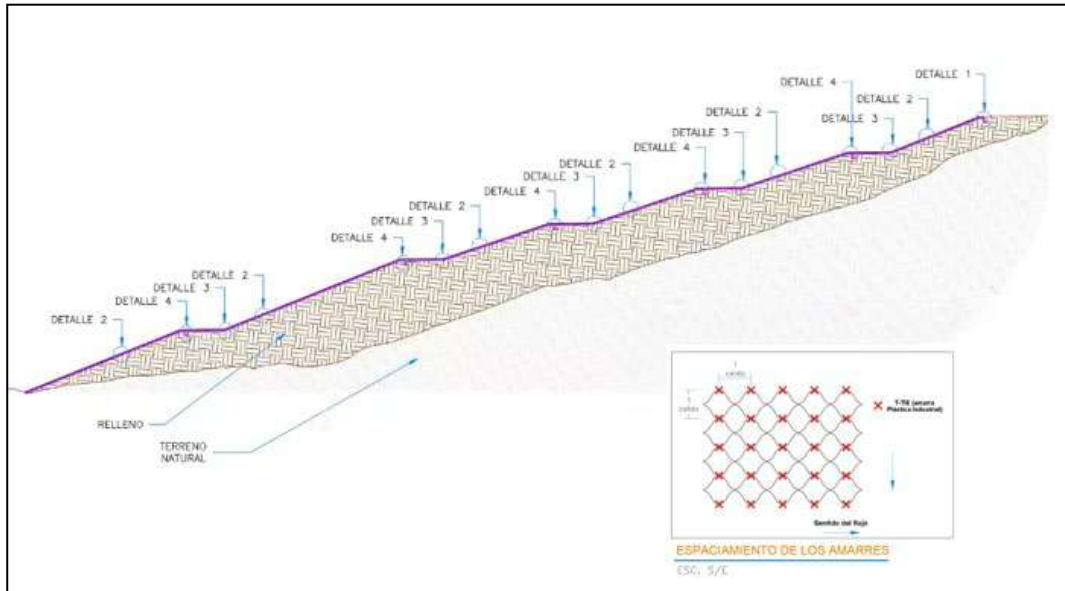
Talud conformado



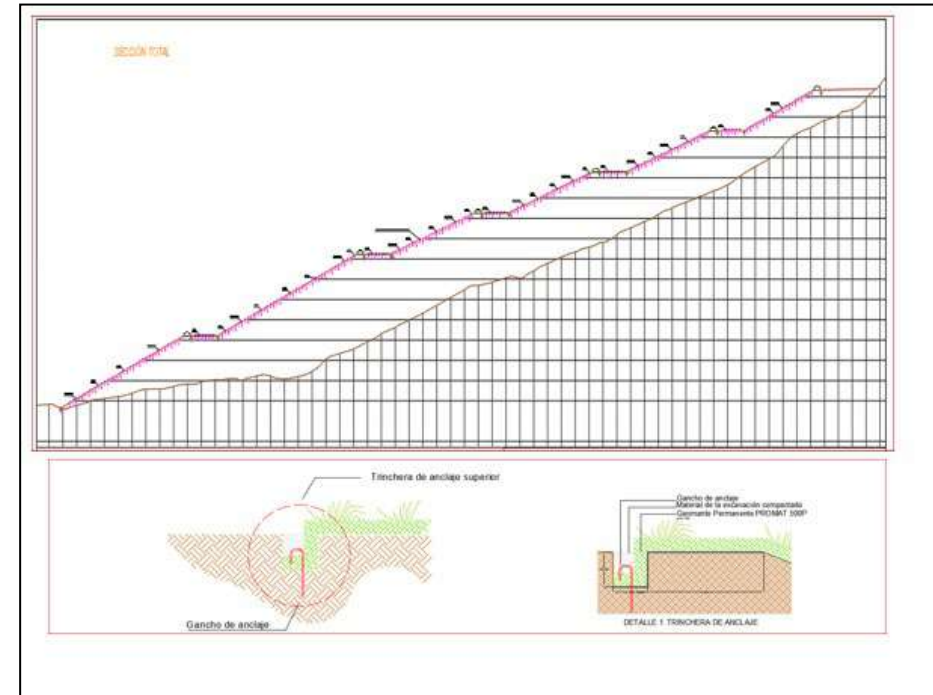
Evaluación de alternativas en taludes

Evaluación de alternativas en taludes de Paita.

Solución con geoceldas



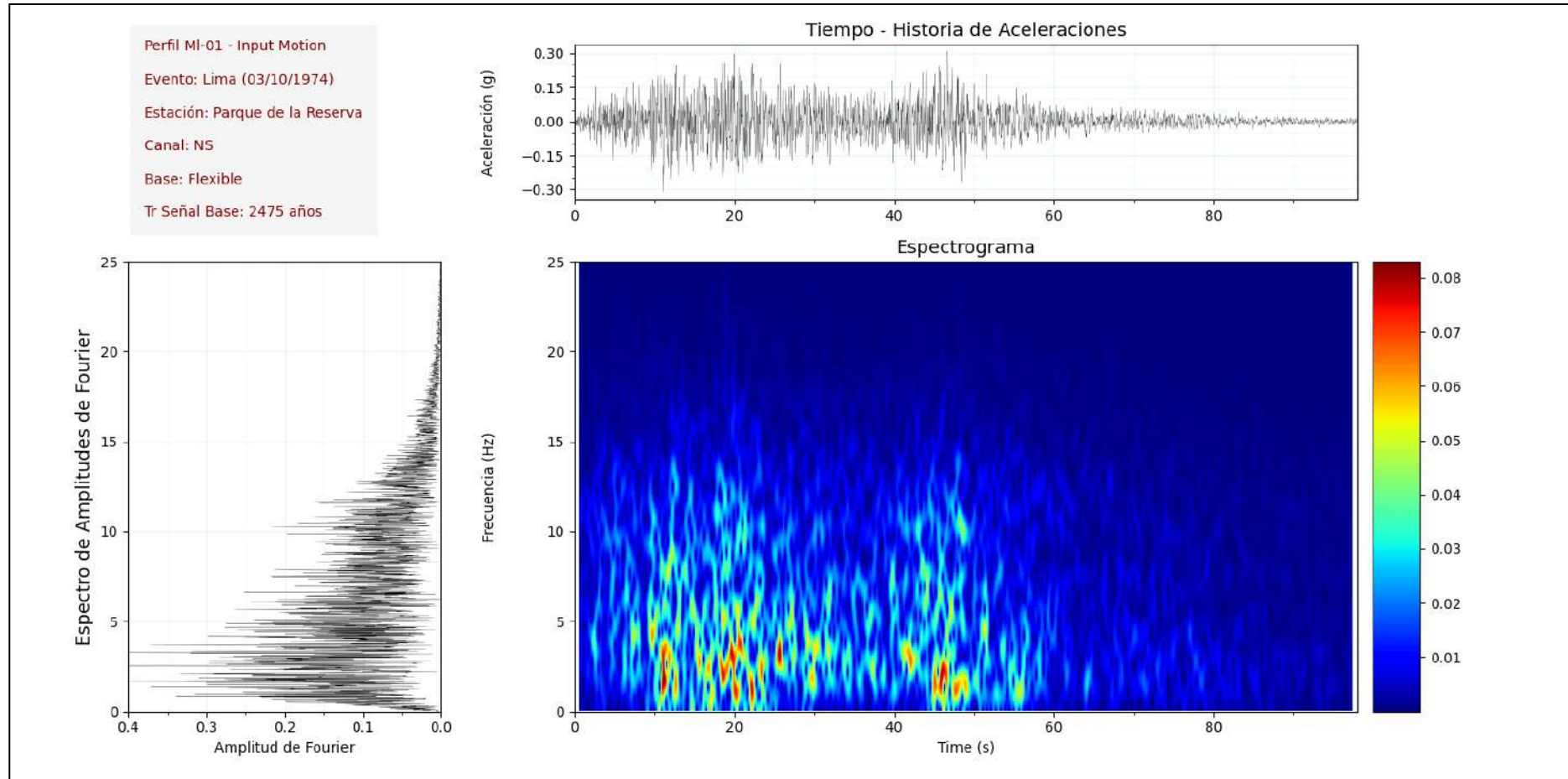
Solución con geomantos





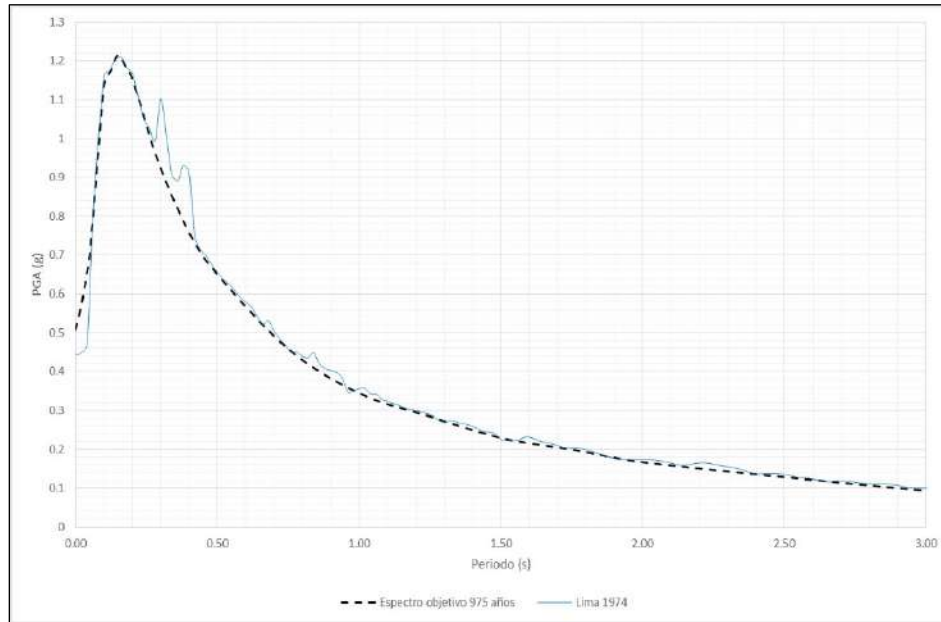
Elaboración de espectrogramas

Espectrograma



Análisis Dinámicos de estructuras

Ajuste espectral de acelerogramas



Curvas de degradación de módulos de Corte y amortiguamiento

Layer 2 - "Limo de alta compresibilidad"

Reference Curve: Darendeli, 2001

Plasticity Index: 14

Parameter	Value	Strain (%)	G/Gmax	Damping
DCR	1	0.0001	0.9945	1.525
Ko	0.775	0.0003	0.985	1.619
N	4	0.001	0.9561	1.94
Frequency	0.86	0.003	0.888	2.797
		0.01	0.724	5.252
		0.03	0.4887	9.626
		0.1	0.2402	15.57
		0.3	0.1033	19.72
		0.7	0.05021	21.4
		1	0.0367	21.73
		3	0.01369	21.65
		7	0.006331	20.86
		10	0.004569	20.42

Curve Fitting

Fitting Procedure: MRDF with Darendeli Reduction Factor

Parameter	Value	Strain (%)	G/Gmax	Damping
Dmin (%)	1.475	0.0001	0.9957	1.539
Shear Strength (kPa)	23.7	0.0003	0.9672	1.67
Theta1	-0.83	0.001	0.9591	2.104
Theta2	-2	0.003	0.8894	3.2
Theta3	11.22	0.01	0.7214	5.973
Theta4	1	0.03	0.4697	10.33
Theta5	0.99	0.1	0.2463	16.1
A	1	0.3	0.1072	20.32
P1	0.73	0.7	0.05176	21.93
P2	0.15	1	0.03755	22.2
		3	0.01342	21.88
		7	0.005901	20.84
		10	0.004156	20.26

The figure consists of three vertically stacked plots sharing a common x-axis of Shear Strain (%) on a logarithmic scale from 0.0001 to 10. The top plot shows G/Gmax (-) decreasing from 1.0 to approximately 0.05. The middle plot shows Damping Ratio (%) increasing from about 2% to 22%. The bottom plot shows Shear Strength (kPa) increasing from 0 to a target strength of 23.7 kPa. A legend indicates: Current Curve (green), Reference Curve (pink), Fit Curve (blue), and Target Strength (red horizontal line).

Use Fit

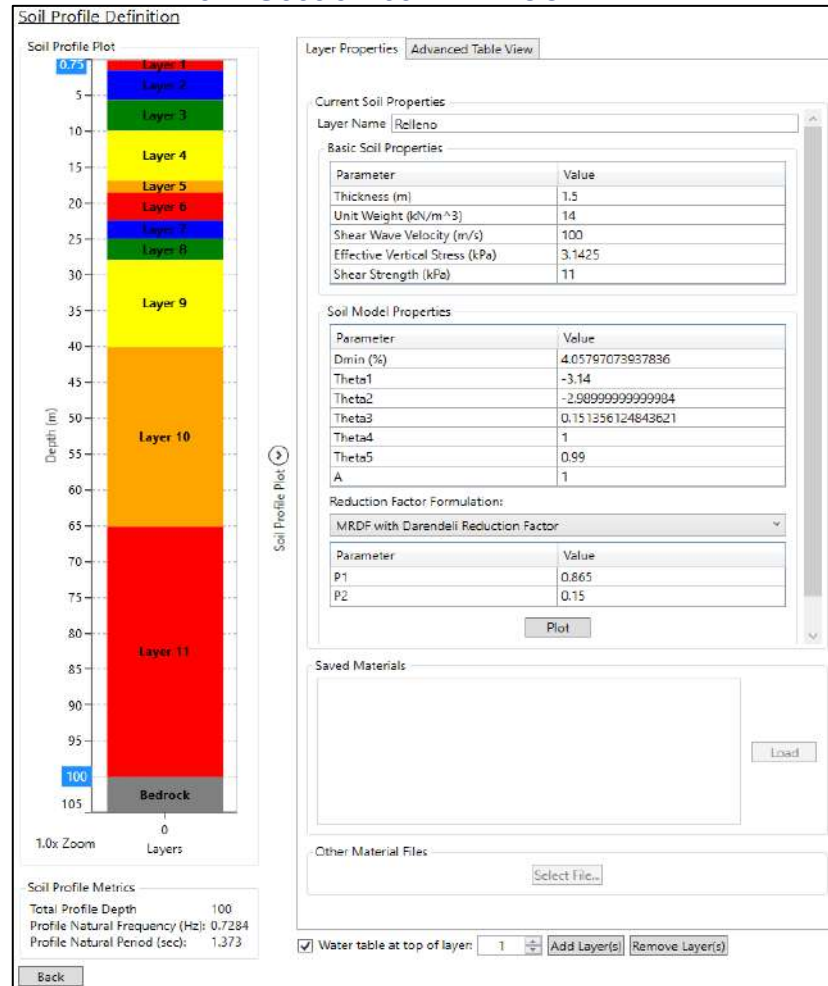
Single Element Test

Check Data

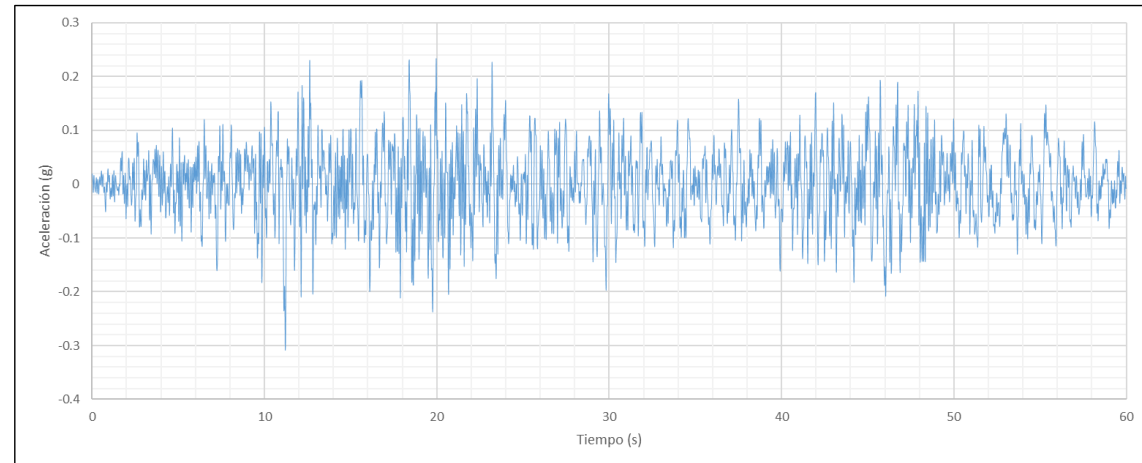


Análisis Dinámicos de estructuras

Perfil Geosísmico - DEEPSOIL



Acelerograma de diseño en superficie





Optimización en PYTHON

Optimizaciones mediante el código PYTHON:

- Dibujo automatizado de columnas de perfil estratigráfico en Autocad.
- Dibujo automatizado de perfiles unidimensionales de Vs en Autocad.
- Extracción automatizada de datos de hojas de cálculo.
- Elaboración de espectrograma de registros sísmicos.
- Extracción automatizada de datos de modelos desarrollados en PLAXIS.
- Inserción automatizada de elementos geométricos en modelos de PLAXIS.

