



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



EVALUACIÓN GEODINÁMICA EN EL CENTRO POBLADO ISLA SAN LORENZO (Distrito Colán – Provincia Paita - Región Piura)

Informe Técnico N°039-2021/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Noviembre, 2021

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

Inspección Geodinámica en el Centro Poblado Isla San Lorenzo
(Distrito Colán, Provincia de Paita, Región Piura)

Autores

Roberth Carrillo
Juan Carlos Gómez

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

**INSPECCIÓN GEODINÁMICA EN EL CENTRO POBLADO
ISLA SAN LORENZO**

(Distrito Colán, Provincia de Paita, Región Piura)

Lima – Perú
Noviembre, 2021

RESUMEN

Durante el sismo de magnitud M6.1 ocurrido el 30 de julio del 2021 en la región Piura, se generaron efectos geológicos importantes en un radio de 50 km de longitud afectando un gran número de centros poblados y entre ellos, La Isla San Lorenzo.

La Isla San Lorenzo se asienta sobre una terraza aluvial de pendiente menor a los 15° de inclinación y geológicamente, sobre depósitos aluviales conformados por arenas sueltas. Como evidencias geodinámicas post-sismo, se han identificado volcanes de arena, grietas en el suelo y viviendas, así como zonas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones pluviales durante la época de precipitaciones intensas.

CONTENIDO

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Ubicación

1.2.- Clima

2.- METODOLOGÍA

2.1.- Recopilación de información

3.- GEOMORFOLOGÍA

3.1.- Pendientes

3.2.- Unidades geomorfológicas

4.- GEOLOGÍA

4.1.- Geología local

5.- GEODINÁMICA

5.1 Licuación de suelos

5.2 Grietas en el suelo

5.3 Zonas susceptibles a inundación pluvial

6.- SUELOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCIÓN

La oficina del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) del Gobierno Regional de Piura, solicitó apoyo técnico al Instituto Geofísico del Perú (IGP), para realizar la inspección geológica y geodinámica en las inmediaciones del poblado Isla San Lorenzo, en el distrito de Colán de la Provincia de Paita.

Para cumplir con los compromisos adquiridos, los trabajos de campo se realizaron de manera conjunta con representantes del COER, llegándose a identificar las unidades geomorfológicas y geológicas presente en el área de estudio, así como los eventos de geodinámica externa que podrían ocurrir en el poblado Isla San Lorenzo. Asimismo, delimitar las zonas susceptibles a la ocurrencia de eventos geodinámicos y recomendar los estudios técnicos específicos requeridos para determinar el nivel de peligro, así como la identificación de medidas de prevención y reducción del riesgo presente en la zona de estudio.

1.1 Ubicación

El área de estudio comprende la zona urbana del poblado Isla San Lorenzo que se ubica en las coordenadas UTM: 487342 E y 9457754 N y cota promedio de 7 m.s.n.m (Figura 1). Esta área tiene como límites por el Norte con el río Chira, por el Este con los poblados Rica Playa y Puerto Pizarro, por el Sur con la Bocana y por el Oeste con el océano Pacífico

El acceso al área de estudio, desde la plaza de armas de la ciudad de Piura, se realiza en dirección hacia el noroeste, a través de vía asfaltada y afirmada en buen estado de conservación, siendo necesario un recorrido de aproximadamente 84 kilómetros.

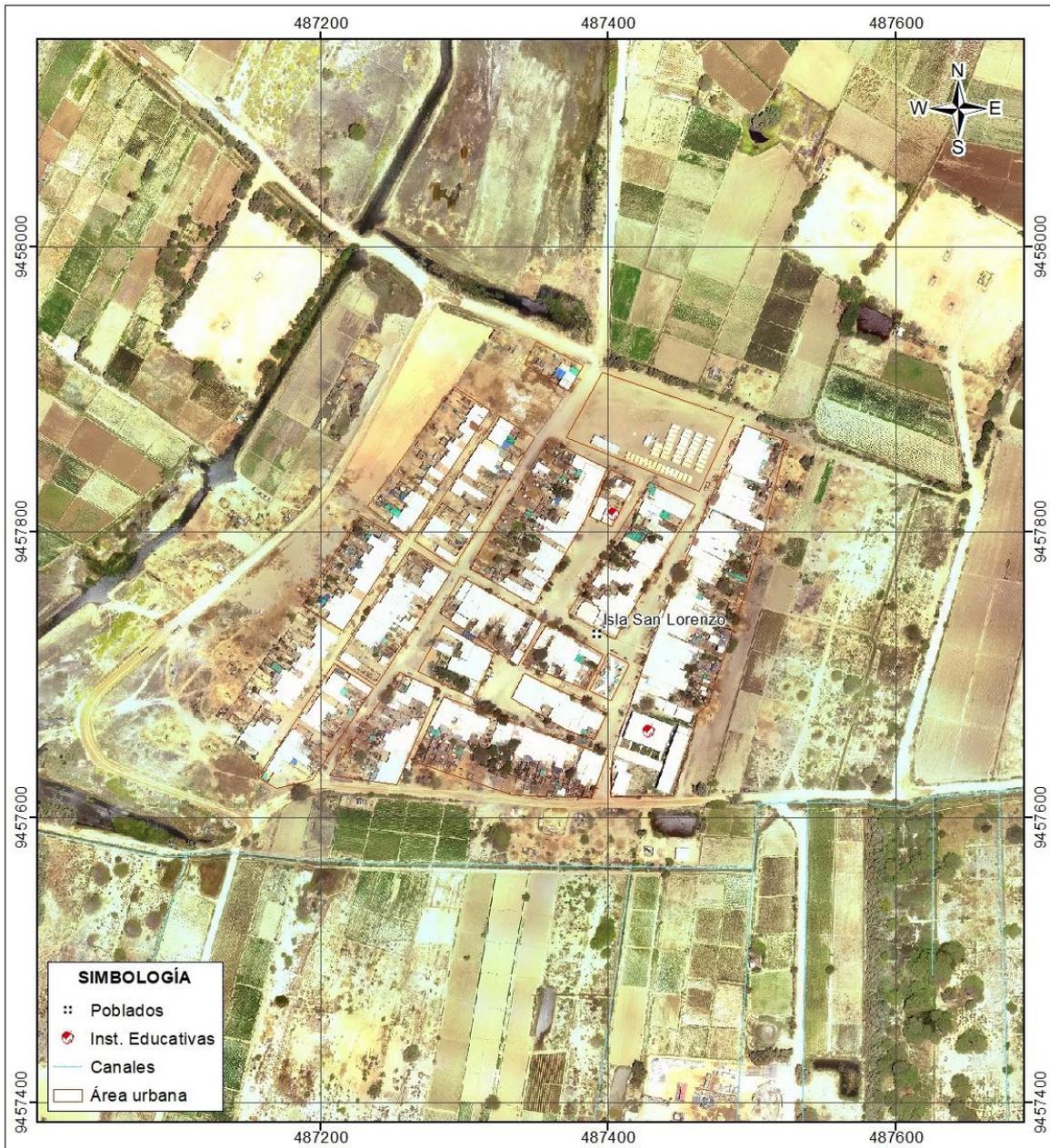


Figura 1.- Ubicación del poblado La Isla de San Lorenzo

1.2 Clima

Para determinar las condiciones climáticas del área de estudio, se ha tomado los datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) pertenecientes a la estación meteorológica La Esperanza (Latitud: $4^{\circ}55'16.09''$, Longitud: $81^{\circ}3'34.89''$, cota 7 m.s.n.m.) Según la información registrada en esta estación las

temperaturas en el Centro Poblado Isla San Lorenzo fluctúan entre 15 y 28 °C (Figura 2).

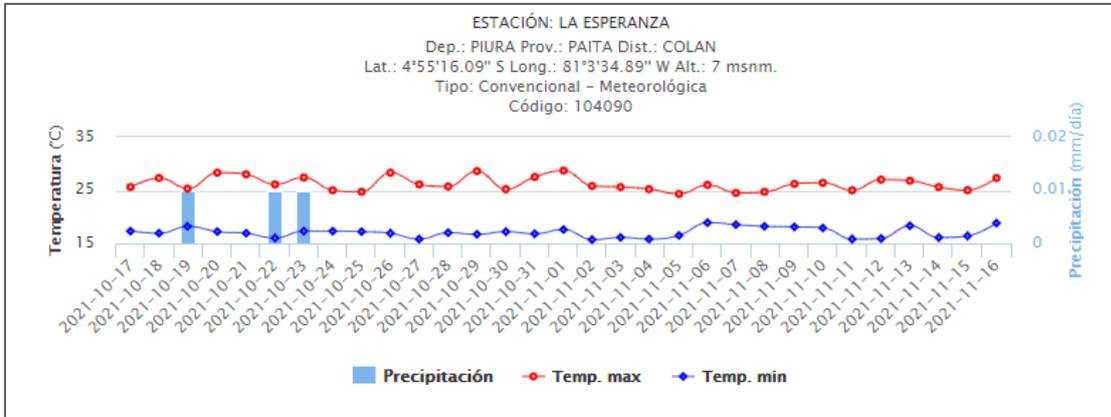


Figura 2: La estación meteorológica La Esperanza ubicada a 6.3 km al sureste del poblado La Isla de San Lorenzo (SENAMHI, 2021)

De acuerdo a los datos meteorológicos de la Figura 2, las precipitaciones en el área de estudio se presentan entre el periodo diciembre – abril. Históricamente, el registro máximo de precipitaciones ocurrió el 24 de mayo de 1983 con valores de 134.8 mm/día.

2.- METODOLOGÍA

La inspección geodinámica en el área de estudio se desarrolló en tres fases, que se describen a continuación:

Fase 1: Trabajos de Gabinete para realizar la recopilación información de estudios geológicos y geodinámicos existentes para el área de estudio. Así como, el análisis de la información y elaboración de mapas preliminares del área de estudio para el cartografiado de campo.

Fase 2: Trabajo en campo para la identificación, delimitación y caracterización de los eventos geodinámicos ocurridos en el área de estudio post-sismo del 30 de julio 2021 (M6.1), así como la identificación de nuevas áreas susceptibles eventos geodinámicos.

Fase 3: Trabajos de Gabinete para realizar el análisis e interpretación de la información recopilada en campo y elaboración de informe respectivo.

2.1 Recopilación de la información

La información geológica y geodinámica regional y local más relevante para el presente estudio fu extraída de las siguientes fuentes:

- **Alfaro et al. (2014):** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos.

El estudio detalla el cálculo de umbrales de precipitación usando datos de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI para el periodo 1964 – 2014. Se describen los datos de la estación meteorológica La Esperanza ubicada a 6.3 km al sureste del área

de estudio (inmediaciones de Pueblo Nuevo de Colán). Los valores de umbrales de lluvia descritos en ese documento con mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Umbrales de precipitación para la estación La Esperanza (periodo 1964 – 2014)

UMBRALES DE PRECIPITACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS	UMBRALES CALCULADOS (ESTACIÓN LA ESPERANZA)
RR/día > 99p	Extremadamente lluvioso	RR > 74.6 mm
95p < RR/día ≤ 99p	Muy lluvioso	30.6 mm < RR ≤ 74.6 mm
90p < RR/día ≤ 95p	Lluvioso	14.5 mm < RR ≤ 30.6 mm
75p < RR/día ≤ 90p	Moderadamente lluvioso	4.5 mm < RR ≤ 14.5 mm

- **Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET (2021):** Informe técnico N° A7171. Evaluación técnica geológica post sismo en el departamento de Piura.

En el estudio se indica que post-sismo del 30 de julio 2021, en la localidad de Sullana se han producido la formación de volcanes de arena, así como grietas en el suelo y viviendas.

- **Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI (2021):** Informe preliminar EDAN Perú código SINPAD N° 141335 - 18/08/2021 (Evaluación N° 1): Sismo del 30-07-2021 (efectos en Vichayal).

En el informe se indica que durante el sismo del 30 de julio del presente año, en La Isla San Lorenzo resultaron 103 familias afectadas y 76 familias damnificadas; así como 402 personas afectadas y 292 personas damnificadas.

- **Tavera H. et al, (2021):** Instituto Geofísico del Perú (IGP). Informe Técnico N°019-2021/IGP Ciencias de la Tierra Sólida: Sismo de Sullana del 30 de julio 2021 (M6.1) – Aspectos sismotectónicos.

En el informe se menciona que la mayor intensidad del sacudimiento del suelo se produjo en las localidades de Piura, Sullana, Paita, Chulucanas y Colán, siendo los efectos en superficie equivalentes a valores de VI en la escala de Mercalli Modificada (MM). Asimismo, se indica que la aceleración del suelo en la ciudad de Piura alcanzó un valor del orden de 115 a 154 cm/seg².

3.- GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología estudia las diferentes formas del relieve de la superficie terrestre (geoformas) y los procesos que las generan. Para la identificación de las principales unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio, se ha utilizado como herramienta primaria un mapa de pendientes:

3.1 Pendientes

Se considera como pendientes al ángulo de inclinación del terreno que se expresa en grados o porcentajes. Este parámetro permite caracterizar los relieves, además influye en la dinámica de los distintos procesos naturales que se generan en un área determinada.

El mapa de pendientes para el área de estudio fue desarrollado a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) proporcionado por COER – Piura con una resolución de 0.15 metros. El mapa de pendientes construido fue interpretado considerando los rangos de pendiente propuestos por Fidel (2006), ver Tabla 2.

Tabla 2. Rangos de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
< 5°	Muy baja
De 5° a < 15°	Baja
De 15° a < 25	Media
De 25 a < 35	Fuerte
> 35	Muy fuerte

Según el mapa de pendientes, el área de estudio se emplaza principalmente sobre zonas de pendiente inferior a los 25° de inclinación correspondientes a lomas elevadas y terrazas intermedias (Figura 3).

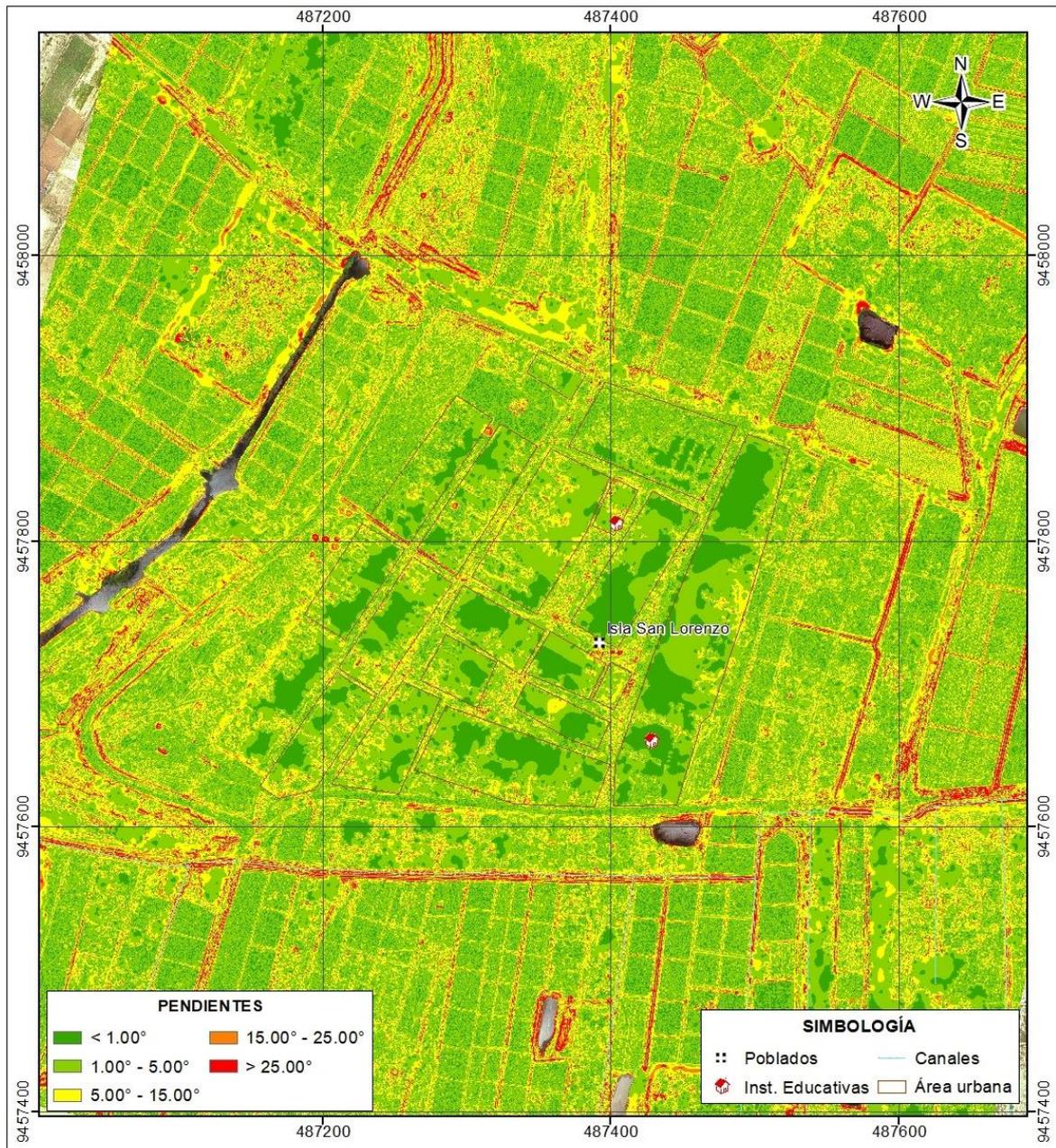


Figura 3.- Mapa de pendientes en las inmediaciones del área de estudio

3.2.- Unidades geomorfológicas

A continuación, se describen las principales unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio en base a sus características físicas y los procesos que las han originado (Figura 4).

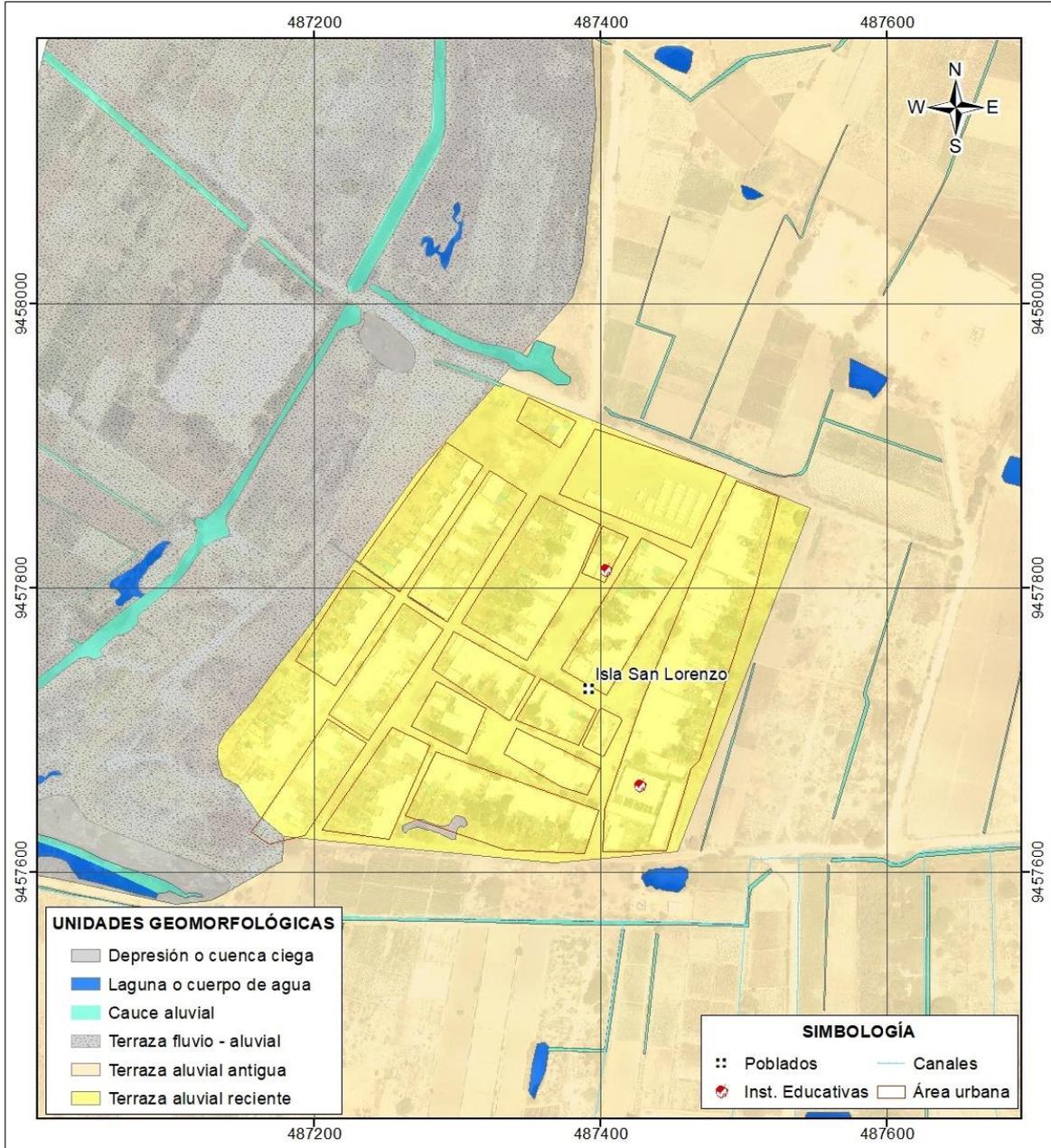


Figura 4.- Unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio

➤ Depresión o cuenca ciega

Las unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio, se han originado por la acción hídrica en los suelos; es decir, la energía de flujo manifestada en el arranque y desgaste del material que conforma el suelo. Estas constituyen zonas de baja pendiente donde se acumula agua en época de precipitaciones intensas; por lo tanto, constituyen

zonas susceptibles a inundaciones pluviales que se ubican en el extremo sur y noroeste de la Isla de San Lorenzo (Figura 5).



Figura 5.- Cuenca ciega o depresión en la parte sur del poblado Isla de san Lorenzo con un desnivel topográfico de 0.30 m respecto a la vía de acceso

➤ **Laguna o cuerpo de agua**

En el área de estudio, corresponden a depresiones en el suelo ocupadas por agua acumulada. Estas geoformas han sido ubicadas en las áreas agrícolas presentes en los alrededores del área urbana de La Isla San Lorenzo. Estas geoformas tienen su origen en los medios construidos para el regadío de cultivos (Figura 6).

➤ **Cauce aluvial**

Corresponde al canal o dren natural de las quebradas que, generalmente se activan durante los periodos de lluvias. La morfología del cauce depende del caudal, la pendiente, el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el substrato rocoso. Es decir, esta geoforma es producto de un equilibrio dinámico entre la carga de sedimentos y su capacidad de transporte.

En el poblado La Isla San Lorenzo existe una serie de canales, drenes o cursos de agua que han sido destinados para desarrollar actividades agrícolas y que en épocas de precipitaciones intensas, superan su capacidad de almacenamiento y producen inundaciones (Figura 7).



Figura 6.- Laguna ubicada a 180 m al sureste del área de estudio destinada para irrigación de zonas agrícolas



Figura 7.- Cauce aluvial por donde se desplaza el canal de irrigación (Flecha celeste) ubicado a 230 m al oeste de la zona urbana de La Isla de San Lorenzo.

➤ **Terraza fluvio – aluvial**

Considera a las superficies llanas o planicies con pendientes inferiores a los 5° de inclinación. Su origen se encuentra relacionado con la actividad del río Chira y que en las inmediaciones del área de estudio, genera la formación de suelos conformados por materiales heterogéneos como limos y arenas (Figura 8).



Figura 8.- Terraza fluvio – aluvial (polígono amarillo) sobre la cual se desarrollan las actividades agrícolas y que en el área de estudio presentan desniveles de 0.3 y 0.5 m

➤ **Terraza aluvial antigua**

Se define como una superficie llana con pendientes menores a 15° y generalmente, se encuentra conformada por materiales heterogéneos de origen aluvial (clastos subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz areno-limosa) y capas delgadas de limos. En el área de estudio, esta unidad geomorfológica se ubica en su extremo suroriental y se caracteriza por tener un desnivel topográfico de 0.5 m (Figura 9).



Figura 9.- Terraza aluvial antigua que se ubica en el extremo suroriental del área de estudio

➤ **Terraza aluvial reciente**

Constituye el área llana o planicie sobre la que se asienta el área urbana de La Isla de San Lorenzo, la misma que ha sido intervenida (rellenada) en algunos sectores con desmontes o materiales antrópicos (Figura 10).



Figura 10.- Terraza aluvial reciente sobre la que se ubica el área urbana

4.- GEOLOGÍA

El análisis de la geología regional ha sido desarrollado, en base a información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2013) a escala 50,000 (Cuadrángulo Geológico de Talara – hoja 10a2); mientras que, para la geología local se ha desarrollado reconocimiento in situ.

4.1 Geología local

Consiste en el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en las inmediaciones del área de estudio a escala 1:10,000 (Figura 11), siendo las principales las que a continuación se describen:

➤ **Depósitos fluvio-aluviales (Qh-fal)**

Unidad geológica que resulta de la acumulación de materiales que han sido transportados por el cauce de ríos y quebradas hacia las zonas de menor pendiente. Estos depósitos están compuestos por materiales heterogéneos como gravas, arenas y limos (Figura 12).

➤ **Depósito lacustre (Qh-la)**

Unidad geológica conformada por materiales detríticos o restos orgánicos acumulados en los fondos de lagos o lagunas. Corresponden a materiales finos, en su mayor parte limoso y arcilloso (Figura 13).

➤ **Depósito Aluvial Antiguo (Qh-al1)**

Unidad geológica antigua que se encuentra conformada por materiales heterogéneos (arenas, limos y gravas) de origen aluvial y que

se han reconocido en la parte oriental del área de estudio. Sobre este depósito se asienta la zona agrícola de la Isla San Lorenzo (Figura 14).

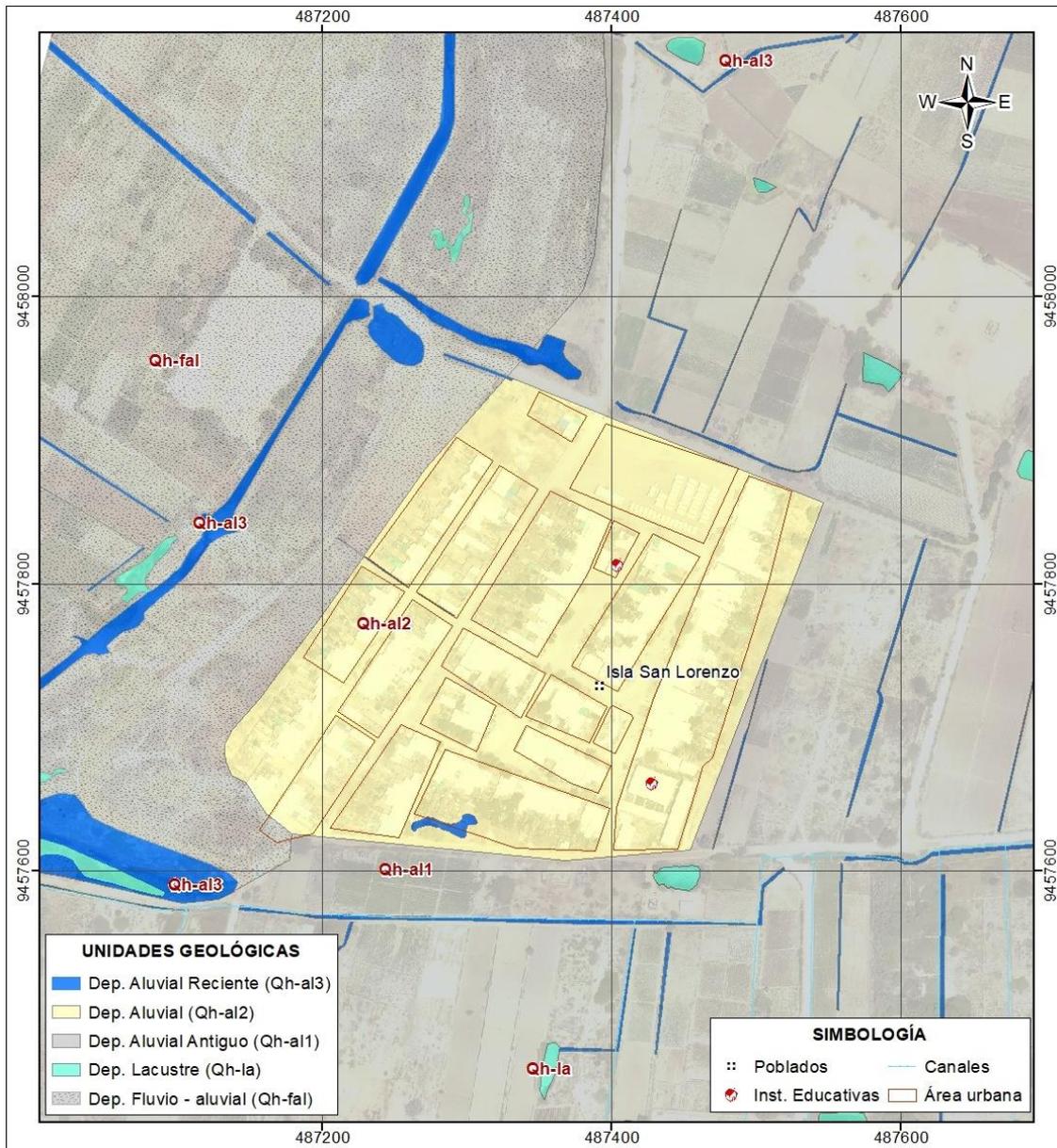


Figura 11.- Unidades geológicas identificadas en las inmediaciones del área de estudio

➤ Depósito aluvial (Qh-al2)

Unidad geológica que se encuentra conformada por materiales heterogéneos (gravas, arenas y limos) que en algunos lugares ha sido modificada por acción antrópica; es decir, presenta materiales de relleno

y/o desmante. Sobre esta unidad se asienta el área urbana de La Isla San Lorenzo (Figura 15).



Figura 12.- Materiales conformados por arena saturada reconocidos en el extremo occidental del área de estudio



Figura 13.- Materiales finos en lagunas para irrigación de áreas agrícolas que conforman los depósitos lacustres



Figura 14.- Depósitos aluviales antiguos hacia el extremo norte del área urbana sobre los cuales se desarrollan actividades agrícolas que se ubican al lado oriental del área de estudio



Figura 15.- Depósitos aluviales en la zona urbana de La Isla San Lorenzo, cuya capa superficial está conformada por materiales heterogéneos

➤ **Depósito Aluvial Reciente (Qh-al3)**

Unidad geológica conformada por materiales heterogéneos (arenas y limos) de origen aluvial y que han reconocido en las inmediaciones de escorrentías superficiales, quebradas y canales de agua (Figura 16).



Figura 16.- Depósitos aluviales recientes en las inmediaciones de canales de irrigación y drenes que no cuentan con revestimiento

5.- GEODINÁMICA

Comprende todos aquellos eventos geodinámicos producto de la interacción de procesos geológicos (internos y externos) que originan cambios físicos, químicos y/o morfológicos que alteran y modifican el relieve actual.

En el área de estudio se han reconocido diversos eventos geodinámicos generados por el sismo del 30 de julio 2021, así como otras zonas susceptibles a inundaciones pluviales (Figura 17).

5.1 Licuación de suelos

El fenómeno de licuación o licuefacción de suelos es definido como la pérdida rápida de la resistencia al esfuerzo cortante de suelos saturados debido al incremento súbito en las presiones de poros, bajo condiciones no drenadas y cargas cíclicas principalmente. Los suelos más susceptibles a este fenómeno ante eventos sísmicos, son las arenas finas mal gradadas y limos, cuando se encuentran con baja compacidad relativa. Para que este fenómeno ocurra, el suelo debe estar saturado y debe haber presencia de niveles freáticos altos cerca de superficie. Pachón et al (2000).

En el área de estudio, este tipo de eventos ocurrieron como efecto del sismo del 30 de julio 2021, debido a que los suelos ubicados en el extremo noroccidental de la Isla de San Lorenzo están conformados por arenas sueltas y zonas de rellenos (desmontes) en estado de saturación. El comportamiento dinámico de estos suelos, afectaron a viviendas y vías de acceso; además de formar volcanes de arena y el surgimiento del subsuelo de agua hacia la superficie (Figuras 18 y 19).



Figura 17.- Eventos geodinámicos identificados en el área de estudio. En color celeste las zonas de inundación pluvial y en color amarillo y naranja las zonas de agrietamiento y licuación de suelos.

Es importante, remarcar que durante el desarrollo de los procesos de licuación en el área urbana de La Isla San Lorenzo, el agua del subsuelo salió a la superficie, para luego desplazarse por el interior de viviendas y en las calles del área urbana (Figura 20).



Figura 18.- Volcán de arena como evidencia de procesos de licuación de suelos en la zona urbana de La Isla de San Lorenzo ubicada a 150 m al noroeste de la plaza principal



Figura 19.- Volcán de arena como evidencia de procesos de licuación de suelos dentro de vivienda



Figura 20.- Afloramientos de agua que han salido del subsuelo a través de los volcanes de arena hacia la superficie como efecto del sismo de 30 de julio

5.2.- Grietas en el suelo

Constituyen aberturas en el suelo, largas y estrechas que han aparecido como efecto del sismo del 30 de julio 2021, principalmente en el extremo noroccidental del área urbana de La Isla de San Lorenzo. Aquí se identificó una grieta orientada en dirección predominante Noreste-Suroeste (NE-SO) con longitud aproximada de 270 metros. Esta grieta se alinea con los volcanes de arena (procesos de licuación) que se generaron en la zona inspeccionada (Figura 21). Asimismo, se identificó que las viviendas ubicadas a lo largo de la grieta, presentaron fisuras en sus paredes (Figuras 22 y 23).



Figura 21.- Grietas en el suelo producido posterior a la ocurrencia del sismo

5.3.- Zonas susceptibles a inundación pluvial

Es la acumulación de agua en zonas de depresión o pendiente baja, provenientes de las precipitaciones pluviales intensas que originan el desborde de los drenes y canales durante los meses de diciembre – abril. En general, su ocurrencia se debe a la deficiencia en los sistemas de drenaje y en el área de estudio estas zonas se desarrollarían en campos agrícolas ubicados en el área urbana y alrededores (Figura 24).



Figura 22.- Grietas en el suelo y paredes de 2 cm de ancho



Figura 23.- Grietas de 2 cm de ancho en las paredes de una vivienda



Figura 24.- Zonas susceptibles a inundación pluvial en zona urbana y agrícola

9.- SUELOS

Personal del gobierno regional de Piura realizó un estudio de mecánica de suelos en la zona urbana de La Isla San Lorenzo utilizando datos de suelos obtenidos de siete (7) calicatas distribuidas espacialmente según la Figura 25. Asimismo, en las Tablas 1 y 2 se muestra los valores que definen las propiedades geotécnicas de los suelos y la ubicación geográfica de las calicatas. Asimismo, se indica la clasificación de los suelos según la “Clasificación SUCS”.

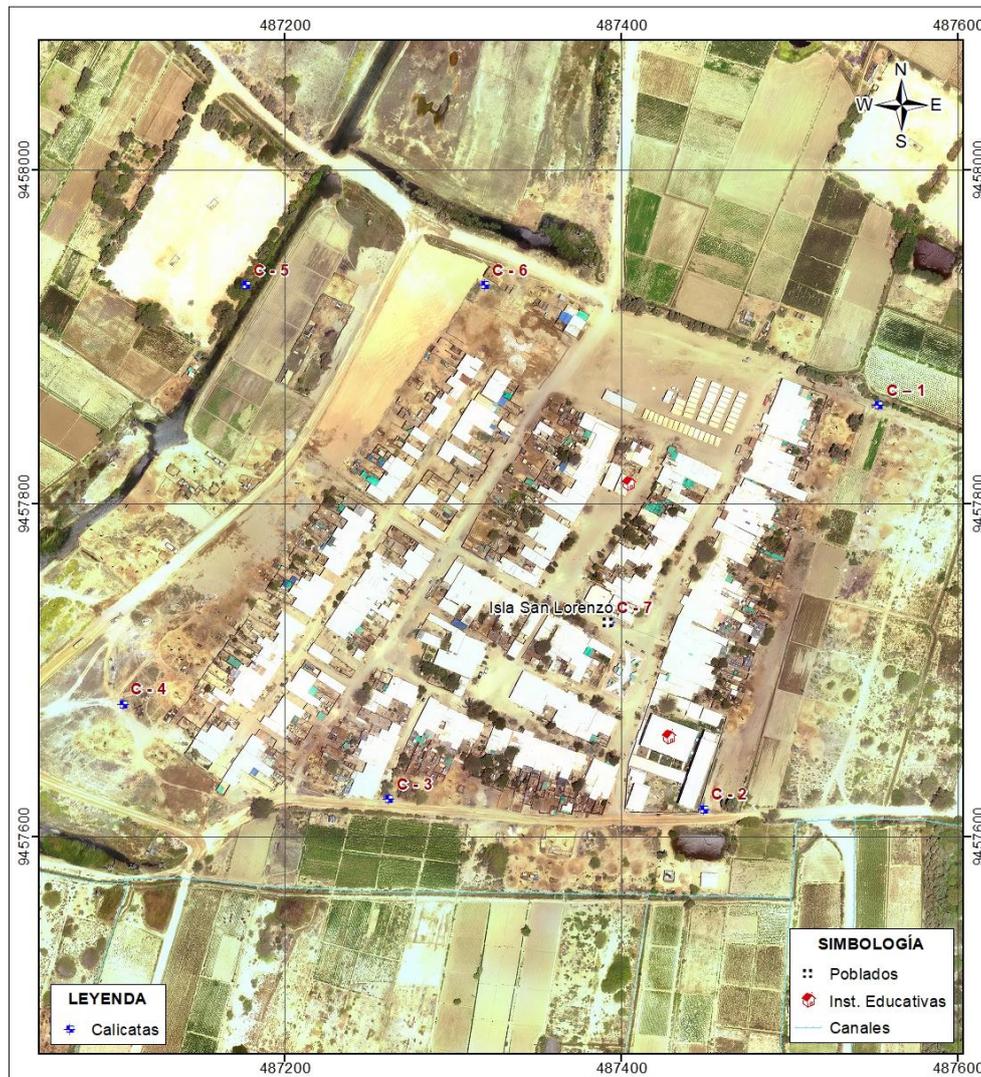


Figura 25.- Ubicación de calicatas en el área de estudio

Tabla 1.- Propiedades geotécnicas de los suelos en el área de estudio

CALICATA	C - 1		C - 2		C - 3			C - 4	C - 5	C - 6	C - 7
Muestra	M - 1	M - 2	M - 1	M - 2	M - 1	M - 2	M - 3	M - 1	M - 1	M - 1	M - 1
Profundidad (m.)	0.15 - 0.70	0.70 - 1.00	0.15 - 0.80	0.80 - 1.10	0.25 - 0.80	0.80 - 1.10	1.10 - 1.60	0.50 - 1.10	1.30 - 1.80	1.45 - 2.10	0.30 - 1.10
% Pasa Malla Nº 4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
% Pasa Malla Nº 200	91.9	4.9	62	12.2	15.4	81.6	14.7	14.7	16.8	9.7	9.6
% GRAVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% ARENA	8.1	95.1	38	87.8	84.6	18.4	85.3	85.3	83.2	90.3	90.4
Límite líquido	31	NP	22	NP	NP	28	NP	NP	NP	NP	NP
Índice Plástico	6	NP	3	NP	NP	3	NP	NP	NP	NP	NP
Contenido de humedad %	30.1	22.9	18.4	26.4	18.2	41.4	21.5	25.2	30.7	25.9	18.3
Clasificación de Suelos "SUCS"	ML	SP	ML	SM	SM	ML	SM	SM	SM	SP - SM	SP - SM

Tabla 2.- Coordenadas UTM de calicatas

Calicata	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
C - 1	487553	9457859	1.00	1.00
C - 2	487449	9457617	1.10	1.10
C - 3	487262	9457623	1.60	1.10
C - 4	487104	9457680	1.10	0.70
C - 5	487177	9457931	1.80	0.90
C - 6	487319	9457931	2.10	1.40
C - 7	487393	9457729	1.10	1.10

Fuente: Gobierno regional de Piura

Los resultados del estudio de mecánica de suelos indican que el área urbana se asienta sobre arenas mal graduadas (SP), arenas limosas (SM) y limos inorgánicos (ML), con nivel freático superficial a partir de los 0.70 m de profundidad en el extremo suroccidental de la zona urbana y alrededor de 1.10 m de profundidad en la zona donde se asientan las viviendas. Asimismo, los suelos del área de estudio presentan una baja capacidad portante.

CONCLUSIONES

- El área de estudio se emplaza sobre una terraza aluvial reciente con una geoforma llana y conformada por materiales de relleno. En su extremo suroriental se ha identificado la presencia de una terraza aluvial y en las inmediaciones de la zona urbana, existen cauces aluviales (canales y drenes) y lagunas o cuerpos de agua utilizados para irrigación.
- En las inmediaciones del área urbana se han delimitado zonas de baja pendiente (desnivel topográfico menor a 0.30 m respecto a las viviendas) que son susceptibles a inundaciones pluviales.
- Entre los efectos generados por el sismo del 30 de julio del 2021 se tiene procesos de licuación de suelos con la formación de volcanes de arena, grietas en el suelo y afloramientos de agua.
- Las viviendas ubicadas en el extremo occidental de La Isla de San Lorenzo presentan grietas en las paredes y suelo que se alinean con la grieta de suelo de mayor longitud (270 metros).

RECOMENDACIONES

Se recomiendan las siguientes acciones:

- Realizar el revestimiento de los canales de regadío para evitar la infiltración del agua hacia el subsuelo.
- Implementar un sistema de drenaje pluvial para evacuar las aguas de escorrentía generadas por ocurrencia de precipitaciones pluviales en la zona urbana de La Isla San Lorenzo.
- Realizar un estudio de zonificación sísmica geotécnica en la localidad de La Isla de San Lorenzo a fin de determinar las propiedades dinámicas de los suelos de cimentación

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro et al. (2014). Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos, Boletín Técnico SENAMHI, pp135.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S., Valenzuela, G. (2006). Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.
- Gobierno Regional de Piura (2021). Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación: "Plan regional de rehabilitación y reconstrucción del sismo 6.1 mm del 30 de julio del 2021 en el departamento de Piura"- Isla San Lorenzo – Vichayal.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2012). Carta Geológica del Perú, Serie A. INGEMMET, Mapa geológico del Cuadrángulo de Talara Hoja 10 a2.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2021). Evaluación técnica geológica post sismo en el departamento de Piura. INGEMMET, Informe técnico N° A7171.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2021). Informe preliminar EDAN Perú código SINPAD N° 141335 - 18/08/2021. INDECI, Evaluación N° 1: Sismo del 30-07-2021 (efectos en Vichayal).
- Pachón, S., Martínez, S., Bermúdez, M., & Ojeda, A. (2000). Estimación del ts. en el área metropolitana de Bucaramanga. Boletín Técnico INGEOMINAS-Colombia.
- Tavera H. et al. (2021). Sismo de Sullana del 30 de julio 2021 (M6.1), Aspecto Sismotectónicos. Informe Técnico N°019-2021/IGP Ciencias de la Tierra Sólida.

