

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF THE CLAYS OF THE HUÁNUCO CITY

ERASMO ALEJANDRO FERNÁNDEZ-SIXTO, Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Huánuco, Perú, **E-mail:** erasmoafs@gmail.com

OMAR GONZALES-CAMPOS, Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Huánuco, Perú, **E-mail:** dioru_aries@hotmail.com

Recibido el 20 de enero, 2018
Aceptado el 20 de marzo, 2018

ISSN 1994 - 1420 (Versión Impresa)
ISSN 1195 - 445X (Versión Digital)

RESUMEN

Los cinco sectores del Asentamiento Humano San Luis, en Huánuco, se localizan sobre una geoforma denominada "piedemonte", bajo el cerro San Cristóbal, con una litografía de rocas metamórficas esquistosas del Complejo del Marañón. Las rocas, por los procesos del intemperismo dan origen a suelos residuales que caen como aluviales y coluviales. Estos poseen minerales de Sílice (SiO_2) en un 95%, que combinan con otros elementos minerales: aluminio, magnesio, hierro, formando materiales de gradación fina llamadas arcillas, cuyo comportamiento expansivo y de baja capacidad de soporte, al ser saturados, son de preocupación para la ingeniería civil. Con el objetivo de evaluar su estratificación y caracterización, se han realizado sondeos, ensayos estándar de clasificación en los sectores I, II, III y V, además de aplicar el esquema de Geopedología de Sinck para establecer la relación entre fisiografía y pedología. Se concluye elaborando el mapa de distribución estratigráfica usando el software ARCGIS, caracterizando los espesores de los estratos, que varían entre menos de uno hasta tres metros. También se verificó que su grado de expansión es bajo y su capacidad de soporte es regular.

Palabras Clave: Metamórfica, arcilla, piedemonte, Geopedología, estratigrafía, ARCGIS.

ABSTRACT

The five sectors of the San Luis Human Settlement in Huánuco are located on a geoform called "piedemonte" under the San Cristóbal hill, with a lithography of schistose metamorphic rocks of the Marañón Complex. Rocks, due to weathering processes, give rise to residual soils that fall like alluvial and colluvial. These, possess minerals of Silica (SiO_2) in a 95% that combine with other mineral elements: aluminum, magnesium, iron, forming materials of fine gradation called clays, whose expansive behavior and of low capacity of support when being saturated, are of concern for civil engineering. In order to evaluate its stratification and characterization, surveys, standard classification tests have been carried out in sectors I, II, III and V; besides applying Sinck's Geopedology scheme to establish the relationship between physiography and pedology. It is concluded by elaborating the stratigraphic distribution map using the ARCGIS software, characterizing the thickness of the strata, which vary between less than one to three meters. It was also verified that its degree of expansion is low and its support capacity is regular.

Key words: Silica, Geopedology, expansion, plasticity, ARCGIS.

INTRODUCCIÓN

Los cerros que circundan la ciudad de Huánuco, de litología rocosa metamórfica-esquistosa conformante del "Complejo del Marañón" (Quispesivana, 1996), están sometidos a los procesos de descomposición y desintegración por el ataque de los agentes atmosféricos (David, 2014), dando origen a suelos de variadas características, entre ellos a los llamados finos de textura laminar, que permanecen en el lugar del intemperismo o se transportan hacia las partes bajas por acción gravimétrica y por arrastre aluvial.

Estos suelos de coloración diversa, con granulometría milimétrica y composición de minerales de arcilla, adquieren propiedades muy especiales al entrar en contacto con el agua (Rodríguez L. D. y Torecillas R., 2002; Duitama et al., 2004; Martin et al. 2006).

Los minerales abundantes son feldespatos, cuarzo, carbonatos y micas (Domínguez y Schifter, 1995). Algunas veces, por sus características expansivas, son perjudiciales para las estructuras de la ingeniería civil (López et al., 2010), siendo necesario identificarlos, es decir, establecer su ubicación, potencia y origen; además se requiere caracterizarlos mediante la obtención de sus propiedades físicas y mecánicas.

En la presente investigación se logra ambos objetivos. El estudio abarca los cinco sectores del Asentamiento Humano San Luis en Amarilis, Huánuco (Carrión, 2006), cuya geomorfología es de ladera media, con suelos depositados por procesos de geodinámica coluvial y aluvial, provenientes de la degradación de las rocas metamórficas del cerro San Cristóbal. La formación de las arcillas depende de las características geológicas del lugar, entre ellas la geomorfología.

El Gobierno Regional Huánuco (2012), en un Estudio Geológico, expone que el ámbito de la provincia de Huánuco se encuentra cubierta litológicamente por tres unidades importantes, entre ellas las Unidades litológicas esquistosas del Complejo del Marañón.

En la industria de la construcción, la capacidad admisible del terreno está en función de su

cohesión, además de otras propiedades (Martínez, 2014).

Sobre la capacidad destructora al expandirse un suelo, Aguilar (2012) manifiesta: "El fenómeno de expansión de suelos es conocido como el desastre silencioso, pues presenta igual o mayor poder destructivo que los terremotos, huracanes u otros fenómenos catastróficos".

Los diversas características citadas son obtenidas mediante procedimientos normalizados, que en Perú se encuentra en la NTP E.050 Suelos y Cimentaciones (2006), que se usa en la investigación.

En base a todos ellos se propone conocer las características de los suelos en los sectores I, II, III, IV y V de San Luis, terminando en un mapeo al estilo de Sinck (2012), con la premisa de que podemos encontrar arcillas en estas laderas denominadas piedemontes (Romero y Vásquez, 2005). Sobre la relación de la geomorfología y los suelos, encontramos referencias en Zinck (2012), quien introduce los conceptos de la pedología y la geopedología.

MARCO TEÓRICO

Literatura técnica relacionada con el conocimiento y caracterización de las arcillas se encuentra desde la primera mitad del siglo XX, cuando Karl Terzaghi da a conocer sus primeras teorías de la Mecánica de Suelos. En la actualidad se ha avanzado en las técnicas de estudio de campo y de laboratorio, siendo muchas las formas, desde los ensayos básicos hasta los especializados.

En la NTP E.050 (2006), se detallan las Normas aplicables para los estudios de campo de los suelos en general, de donde se extraen las aplicables a los cohesivos, resumiéndolas en el Cuadro N° 1.

Cuadro N.º 1 Normas Técnicas Peruanas (NTP) aplicables para el estudio de campo de los suelos cohesivos.

Técnica	Norma aplicable*
Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D 2487)
Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual – manual)	NTP 339.150 (ASTM D 2488)
Método normalizado para ensayo de corte por veleta de campo de suelos cohesivos	NTP 339.155 (ASTM D 2573)
Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL)	NTE 339.159 (DIN4094)
Guía normalizada para la caracterización de campo con fines de diseño de ingeniería y construcción	NTP 339.162 (ASTM D 420)
Método de ensayo normalizado de corte por veleta en miniatura de laboratorio en suelos finos arcillosos saturados.	NTP 339.168 (ASTM D 4648)

* En todos los casos se utilizar la última versión de la Norma.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N.º 2. Ensayos de laboratorio de la Norma E.050 (2006) aplicables para los suelos cohesivos.

Ensayo	Norma aplicable
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)
Análisis Granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D422)
Límite Líquido y Límite Plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)
Peso Específico Relativo de Sólidos	NTP 339.131 (ASTM D854)
Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D2487)
Peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139 (BS 1377)
Límite de Contracción	NTP 339.140 (ASTM D427)
Consolidación Unidimensional	NTP 339.154 (ASTM D2435)
Compresión Triaxial no Consolidado no Drenado	NTP 339.164 (ASTM D2850)
Compresión Triaxial Consolidado no Drenado	NTP 339.166 (ASTM D4767)
Compresión no Confinada	NTP 339.167 (ASTM D2166)
Expansión o Asentamiento Potencial Unidimensional de Suelos Cohesivos	NTP 339.170 (ASTM D4546)
Corte Directo	NTP 339.171 (ASTM D3080)

Fuente: Elaboración propia.

En la misma Norma se especifican los ensayos de laboratorio que se usan para complementar la caracterización de los suelos en general. Para nuestro estudio se agrupan en el Cuadro N.º 2,

las aplicables a los cohesivos.

Cuando se requiere de un conocimiento más profundo, experiencias sobre la identificación y caracterización de los minerales en las fracciones de arcilla, muestran que estas se pueden lograr disolviendo muestras mediante el método químico de disolución selectiva, utilizando ditionito-citrato-bicarbonato, DCB, y luego con las técnicas analíticas de difracción de rayos X, DRX, y espectroscopia de Mössbauer por transmisión, EMT, que ayudan a determinar la composición mineralógica de las muestras, como la realizada con los suelos tropicales de la Reserva Forestal de la Universidad Agraria de la Selva (Mejía y Bravo, 2014).

1. Ubicación y origen de la arcilla

La arcilla procede de la desintegración de las rocas que contienen feldespato, presentando diversas coloraciones según las impurezas que poseen. Para nuestro propósito interesa conocer el tipo de roca, el factor de degradación y la forma de deposición. Para ello es preciso recordar lo que dice la Real Academia Española respecto a arcilla: "Es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho". Bajo esta afirmación revisamos los conceptos sobre silicatos y su origen.

De los conocimientos básicos de la geología sobre la composición de la tierra, se sabe que tanto la capa externa denominada SIAL y el núcleo interno llamado SIMA, contienen sílice (SiO₂) combinado con otros minerales como aluminio, hierro y magnesio. En la evolución de la Tierra, se han producido calentamientos, enfriamientos, fugas por las fallas, elevamientos y plegamientos, de las mezclas minerales, aflorando en la superficie en forma de montañas, litologías o geoformas de rocas de toda clase. Se conoce que el 95% de la superficie litológica terrestre está formada por silicatos, es decir, que en todos los tipos de rocas, cuando son disgregados hasta sus mínimos elementos, se obtienen minerales de arcilla.

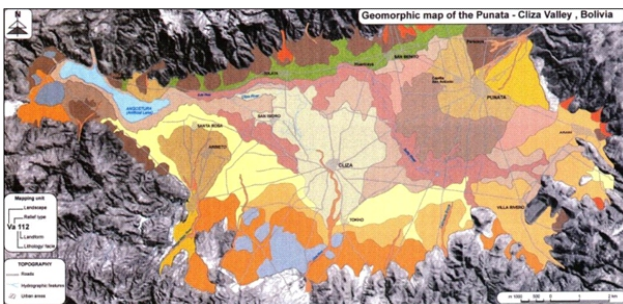
Entonces, podemos encontrar arcillas en las superficies mismas de los cerros formando

suelos residuales producto de la descomposición de las rocas; en las quebradas y laderas (piedemontes) por el flujo gravimétrico o aluvial; y en las terrazas de fondo (valles) por la sedimentación de los flujos anteriores, dependiendo sus volúmenes y espesores de la geomorfología. Sobre la relación de la geomorfología y los suelos podemos encontrar en el mapa de Metternicht y Zinck (1997) de la Figura N° 1, donde se localizan los dos tipos de paisajes (piedemontes y valles) referenciada por Zinck (2012). Introduciéndose los conceptos de la pedología como es el estudio de los suelos en su ambiente natural y de la geopedología como la ciencia que estudia la relación de la geomorfología y el suelo.

En los piedemontes se localizan suelos mayormente de gradación fina, y en los valles cercanos a los ríos se puede encontrar suelos gruesos, boleos y bloques que han llegado al fondo o han sido transportados por el río. Esto sucede en el valle de Huánuco, donde en la parte baja de los cerros o lugares cercanos a ellos se localizan sedimentos finos y en la terraza cercana al río Huallaga los suelos son granulares.

2. Descripción de la arcilla

Es un suelo constituido por filosilicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato. Es un sólido nanoestructurado con propiedades físicoquímicas singulares. Físicamente se considera arcilla a un coloide, con el tamaño de partículas extremadamente pequeñas y con superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0.002 mm (2µm). Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.



SOILS LEGEND						
LANDSCAPE	RELIEF TYPE	FACIES	LANDFORM	CODE	SOILS	
PIEDMONT	Dissected-depositional glacia	Alluvial	Proximal	PI 111	Association : Typic Calciorthids Typic Camborthids	
			Central	PI 112	Consociation : Typic Camborthids (ca)* Ustochreptic Camborthids	
			Distal	PI 113	Association : Ustalfic Haplargids Ustochreptic Camborthids	
	Depositional glacia	Coluvio-aluvial	Distal		PI 213	Consociation : Ustochreptic Camborthids Typic Camborthids
	Active Fans	Alluvial	Active Channels		PI 411	Miscellaneous Land type : Mixed Alluvial
			Inactive Channels		PI 412	Consociation : Typic Torrifluents Typic Torrifluents
	Recent Fans	Coluvio-aluvial			PI 51	Association : Ustic Torriorthents Typic Torrifluents
	Old Dissected Fans	Glacio-alluvial	Proximal		PI 611	Association : Typic Camborthids Typic Haplargids
			Central		PI 612	Consociation : Ustochreptic Camborthids (ca)*
			Distal		PI 613	Consociation : Ustochreptic Camborthids
	Hills	Quartzitic sandstones Marls, sandstones, limestones			PI 71	Consociation : Lithic Torriorthents
					PI 72	Consociation : Typic Calciorthids Lithic Calciorthids
VALLEY	Lagunary depressions	Alluvio-lagunary	Higher lagunary flats		Va 111	Association : Fluventic Camborthids Ustochreptic Camborthids
			Middle Lagunary flats		Va 112	Association : Ustalfic Haplargids Ustochreptic Camborthids
			Lower Lagunary flats		Va 113	Association : Ustalfic Haplargids (saso)* Ustochreptic Camborthids (sas)*
			Playas		Va 124	Association : Typic Salorthids Nitric Camborthids
			Lagunary			

Figura N° 1. Mapa geomorfológico y leyenda geopedológica del valle de Punata-Cliza, Bolivia. (Metternicht y Zinck, 1997).

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800°C. Es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio, como ladrillos, papel, cemento y procesos químicos. Los principales elementos químicos constituyentes de la arcilla son los átomos de silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno. Los átomos se combinan formando estructuras básicas, que luego al combinarse estas forman láminas, las que al agruparse dan origen a estructuras laminares y que finalmente al unirse por medio de un enlace iónico forman un mineral de arcilla.

Los grupos de minerales de arcilla más conocidos son la caolinita, la illita y la montmorrillonita, donde la más susceptible al cambio volumétrico por la presencia del agua es la última (Figura N° 2), siendo el principal componente de la bentonita. Una de las formas de determinar el tamaño de las partículas de arcilla es por dispersión, mediante la aplicación de hexametáfosfato sódico o amoniaco y luego por sedimentación en fase acuosa y, cuando sea necesaria, la centrifugación. Estos grupos obedecen al concepto de Juárez y Rico

(2005), quienes dicen sobre un mineral, que es una sustancia inorgánica y natural, que tiene una estructura interna característica determinada por un arreglo específico de sus átomos e iones.

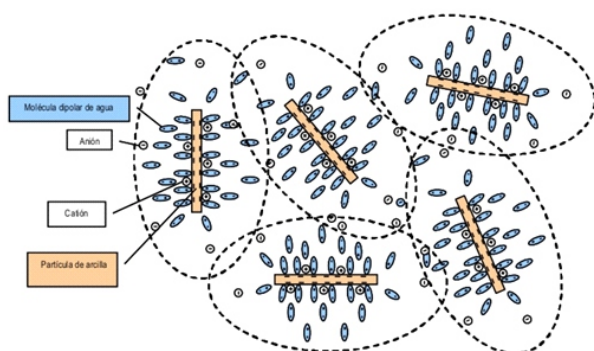


Figura N° 2. Interacción eléctrica de las partículas de arcilla con las moléculas de agua. (Tuesta, Vivas, Sun y Gutarra, 2005).

3. Caracterización de la arcilla

Galeano (2011) refiere que las propiedades de las arcillas son muy variadas y que dependen del enfoque de estudio; manifiesta que algunas veces interesan las propiedades reológicas, en otras pueden ser las estructurales o solo las texturales. Para encontrar sus propiedades se realizan ensayos físico-químicos y físicos. Los primeros solo se mencionan como información general, pero no se aplican en este estudio.

Ensayos físico-químicos

Para establecer las descripciones cualitativa y semicuantitativa de los diferentes minerales en una fracción arcillosa, se pueden usar las técnicas analíticas de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (FRXED), de difracción de rayos X (DRX) y de espectroscopia Mössbauer por transmisión (EMT) (Nima, Bravo, Mejía y Silva, 2011).

La FRXED se usa para identificar y cuantificar los elementos químicos presentes en una muestra. La DRX permite identificar los minerales de buena cristalización y de alta concentración en la muestra, pudiendo quedar desapercibidas los minerales de baja concentración. La EMT es una técnica nuclear que usa la emisión y absorción resonante de rayos gamma por

ciertos núcleos, que se desee observar.

Los resultados cualitativos de un análisis FRXED se presentan mediante espectros de fluorescencia como la mostrada en la Figura N° 3, donde se evidencia la presencia de elementos químicos como silicio (Si), cloro (Cl), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti) y hierro (Fe). También se notan elementos traza como fósforo (P), cromo (Cr) o zinc (Zn). Los valores semicuantitativos del análisis FRXED están representados por las concentraciones en mg/kg, que se proporcionan en el Cuadro N° 3.

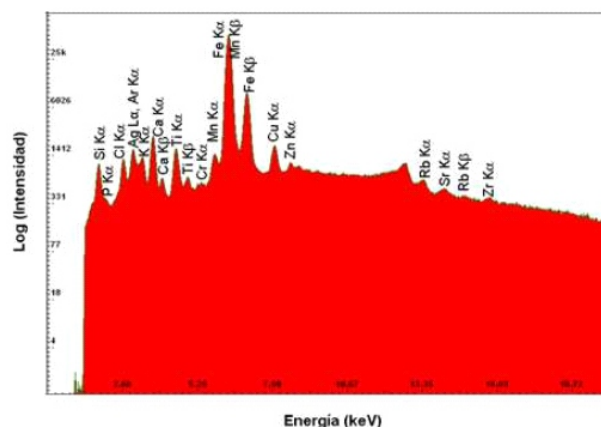


Figura N.º 3. Espectro de fluorescencia de rayos X de una fracción arcillosa de una muestra M. (Nima et al., 2011).

Cuadro N.º 3. Concentraciones de elementos químicos en una fracción arcillosa de una muestra M. (Nima et al, 2011.)

M1	
E. Q.	C (mg/kg)
Si	296,600
P	170
S	
Cl	18,000
K	5,000
Ca	8,500
Ti	2,600
Cr	120
Mn	700
Fe	38,500
Cu	750
Zn	150
Rb	180
Sr	250
Zr	30

La técnica de difracción de rayos x (DRX) proporciona también datos cualitativos y semicuantitativos como los mostrados en la Figura N° 4 y en el Cuadro N° 4 (Pérez, Vargas y Córdova, 2010). Ambas son útiles para los propósitos de una investigación, siendo la primera la que muestra las concentraciones de los elementos químicos y la segunda la que ayuda a identificar los tipos de arcillas (estructuras de arcillas).

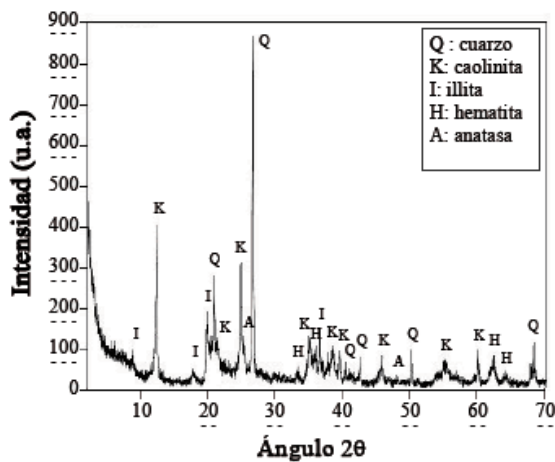


Figura N° 4. Difractograma de una arcilla. (Pérez et al., 2010).

Cuadro N° 4. Análisis semicuantitativo de la arcilla de la Figura N° 4. (Pérez et al., 2010).

Fórmula	Composición química	Cantidad (%)
Cuarzo	SiO ₂	15.8
Illita	(K ₂ H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	29.4
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	49.4
Hematita	Fe ₂ O ₃	2.8
Anatasa	TiO ₂	2.6

Ensayos físicos

Los ensayos físicos comúnmente practicados en la mecánica de suelos, aplicados a la ingeniería civil, son los llamados estándares y están contemplados en la Norma E.050 (2006). Son ampliamente conocidos, por lo que solo los mencionamos y desarrollamos algunos de ellos en los numerales posteriores.

- Granulometría por sedimentación
- Límite líquido

- Límite plástico
- Límite de contracción
- Índice plástico
- Índice de fluidez
- Índice de liquidez
- Actividad
- Potencial de expansión
- Adsorción

4. Capacidad de carga de arcillas

La capacidad de carga de un suelo (qu) es la máxima capacidad de resistencia antes de fallar ante la aplicación de una carga, a partir de la cual pierde su resistencia al corte y, en consecuencia, pierde su estabilidad. En una arcilla en particular, cuando se encuentra saturada, su capacidad de carga está relacionada con su grado de cohesión (c), que se muestra mediante la Fórmula N° 1 y la Figura N° 5.

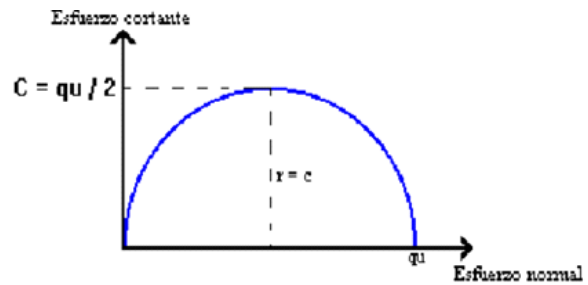


Figura N.º 5. Relación entre la capacidad de carga (qu) y la cohesión (c) en suelos arcillosos saturados. (Adaptación propia).

Sin embargo, en los piedemontes y en los valles, mayormente se encuentra con su humedad que está muy lejana de la saturación y a veces seco. En este caso, la capacidad de carga para una cimentación superficial de forma conocida (cuadrada, rectangular, corrida y losa), se encuentra con las fórmulas proporcionadas por Terzaghi y otros autores que han tratado el asunto con posterioridad.

La ecuación inicial de Terzaghi es la mostrada en la Fórmula N° 2 y es concebida para un cimiento corrido, que es ampliamente usada hasta la actualidad; las demás contienen correcciones por forma de cimiento, inclinación de terreno, inclinación de carga, etc., pero mantienen la forma de la ecuación.

$$q_u = c N_c + D_f \gamma N_q + 0.5 B \gamma N_y \quad (2)$$

Donde:

- N_c , N_q y N_y Factores de capacidad de carga que dependen de la fricción interna (ϕ).
 D_f Profundidad de cimentación
 γ Peso volumétrico del suelo
 B Ancho de la zapata

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio del tipo Descriptivo y Exploratorio (Hernandez, Fernández y Baptista, 2016), porque se identifica el origen de los suelos, en función a la litología y a la geomorfología. Es Aplicativo en parte con referencia a la mecánica de suelos, porque a través de sus teorías se conocen sus propiedades.

La población de estudio está conformada por los suelos cohesivos o arcillosos localizados en los cinco sectores del Asentamiento Humano San Luis. El espacio abarcado que tiene la forma de una franja lateral de lado de la ciudad (Figura N° 8), está limitado por el Cerro San Cristóbal y la carretera nacional PE-18A que va de Lima a Tingo María, formando una superficie de ladera medio pronunciada (piedemonte) con buzamiento superficial hacia el Oeste con un ángulo aproximado de 30°. Los sondeos se realizaron en:

- Uno en el Sector I: Jr. Coropuna
- Cinco en el Sector II: Cuatro en la Institución Educativa N° 32925 René E. Guardián y uno en el puente peatonal paradero 14.
- Dos en el Sector IV: Uno en el Jr. Oswaldo Reynoso y otro en el Jr. Santos Chocano.
- Dos en el Sector V: Uno en el Jr. Prolongación Cuzco y otro en el puente peatonal del Instituto Pedagógico Marcos Durán Martel.

Las propiedades de los suelos fueron obtenidas con los ensayos de laboratorio, siguiendo los protocolos de las NTP E.050 (2006).

Luego se aplicó el software ARCGIS, herramienta que data desde 2001 (Law y Collins, 2013), para la representación digital del subsuelo bajo el tutorial de Puerta, Rengifo y Bravo (2013), que en este caso sirvió para

elaborar los mapas de zonificación y estratificación de los depósitos de arcilla en los cinco sectores de San Luis.

RESULTADOS

La identificación de las formas de relieve según Zinck se hizo en la Figura N° 1. En ella se muestra que la zona de estudio es parte de la ciudad de Huánuco, y San Luis se localiza junto con Paucarbamba en la geoforma llamada piedemonte. El cerro San Cristóbal forma parte de la cordillera oriental junto con el cerro Nauyán Rondos, y la ciudad de Huánuco se encuentra encerrada en la depresión limitada por estos dos cerros.



Figura N° 1. Geoforma de la zona de estudio.

En el piedemonte de San Luis se localizan suelos arcillosos, que fueron caracterizados en AASHTO y SUCS, luego de los ensayos de laboratorio (Cuadros N°1 al 10).

Cuadro N° 1. Calicata N° 1, Jr. Coropuna (Sector I)

Profundidad (m)	Estrato	SUCS	AASHTO	Descripción
0.10	E-1	Pt	A-8	Suelo orgánico
0.90	E-2	GM-GC	A-4 (0)	Grava arcillosa - limosa
0.80	E-3	GW-GC	A-2-4 (0)	Grava bien graduada con arcilla y limo

Cuadro N° 2. Calicata N° 1, I.E. R. Guardián (Sector II)

Profundidad (m)	Estrato	Pt	A-8	Suelo orgánico
0.30	E-2	CL-ML	A-4 (3)	Arcilla limosa con arena
2.35	E-3	CL-ML	A-4 (2)	Arcilla limosa con arena
0.55	E-4	SC	A-2-4 (0)	Arena arcillosa con grava

Cuadro N°3. Calicata N°2, I.E. R. Guardián (Sector II)

Espesor (m)	Estrato	SUCS	AASHTO	Descripción
0.10	E-1	Pt	A-8	Suelo Orgánico
1.80	E-2	CL	A-6 (4)	Arcilla inorgánica de baja plasticidad. Arenosa.
1.30	E-3	GM	A-1-a (0)	Grava Limosa

Cuadro N°4. Calicata N°3, I.E. R. Guardián (Sector II)

ESPESOR (m)	ESTRATO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.70	E-1	Pt	A-8	Suelo orgánico
0.60	E-2	CL	A-6 (11)	Arcilla inorgánica de media plasticidad
1.80	E-3	CL	A-4 (4)	Arcilla inorgánica de baja plasticidad, arenosa

Cuadro N°5. Calicata N°4, I.E. R. Guardián (Sector II)

ESPESOR (m)	ESTRATO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.10	E-1	Pt	A-8	Suelo orgánico
0.80	E-2	CL	A-6 (9)	Arcilla inorgánica de media plasticidad
2.20	E-3	CL	A-4 (4)	Arcilla inorgánica de baja plasticidad, arenosa

Cuadro N°6. Calicata N°1, paradero 14 (Sector II)

ESPESOR (m)	ESTRATO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.80	E-1	Pt	A-8	Suelo contaminado, material de relleno
1.80	E-2	CL	A-6 (4)	Arcilla inorgánica de baja plasticidad, arenosa
1.20	E-3	GM	A-1-a (0)	Grava limosa

Cuadro N°7. Calicata N°1, Jr. O. Reynoso (Sector IV)

ESPESOR (m)	ESTRATO	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.50	E-1		Material de relleno, turba y residuos plásticos
0.60	E-2	A-6 (4)	Arcilla gravosa. La arcilla se encuentra en mayor cantidad

Cuadro N°8. Calicata N°1, Jr. S. Chocano (Sector IV)

ESPESOR (m)	ESTRATO	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.40	E-1	Pt	Material de relleno, turba y residuos plásticos
0.80	E-2	A-6 (4)	Arcilla gravosa. La arcilla se encuentra en mayor cantidad

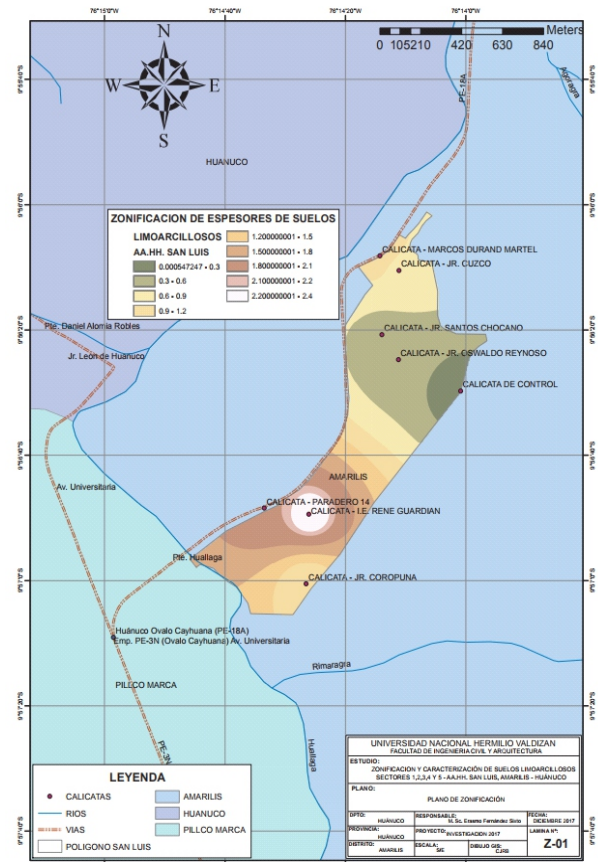
Cuadro N°9. Calicata N°1, Prol. Jr. Cuzco (Sector V)

ESPESOR (m)	ESTRATO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.50	E-1	Pt	A-8	Suelo contaminado, relleno
0.70	E-2	GM-GC	A-6 (4)	Grava arcillosa - limosa
0.80	E-3	GW-GC	A-2-4 (0)	Grava bien graduada con arcilla y limo

Cuadro N°10. Calicata N°1, I.P. M. Durand (Sector V)

ESPESOR (m)	ESTRATO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
0.80	E-1	Pt	A-8	Suelo contaminado,
0.30	E-2	CL-ML	A-4 (3)	Arcilla limosa con arena
2.35	E-3	CL-ML	A-4 (2)	Arcilla limosa con arena
0.55	E-4	SC	A-2-4 (0)	Arena arcillosa con grava

Asimismo, en la Figura N°2 se elaboró el mapa de las variaciones de los espesores de los suelos arcillosos en el área de estudio, con ayuda del ARCGIS.



DISCUSIÓN

Las geoformas y los suelos guardan una estrecha relación. Por un lado los relieves pronunciados como son las faldas de los cerros o montañas, no facilitan la acumulación de suelos, quedando solo los de naturaleza residual con escasa potencia y una mayor proporción se trasladan hacia el piedemonte, donde se acumulan suelos de naturaleza sedimentaria de flujo transversal respecto al cauce longitudinal del valle. Esto es lo que ha sucedido con la geomorfología de San Luis, donde los suelos tienen naturaleza fina y de gradación detrítica con partículas angulares, es decir, arcillas, limos, arenas y gravas.

Las arcillas se ubican en el primer horizonte estratigráfico, cubriendo la superficie con algunas contaminaciones de rellenos u obras recientes. Los suelos de naturaleza arcillosa (C), toman configuraciones en el SUCS: GC (grava arcillosa), SC (arena arcillosa) y CL (arcilla de baja o mediana plasticidad).

Asimismo, en el AASHTO pueden ser: A-2-4 (n), A-4 (n) y A-6 (n); donde "n" es el índice de grupo. Todas las arcillas son de baja plasticidad, porque tienen simbología "L" en el SUCS y los índices de grupo "n" del AASHTO son menores de 10.

Según el mapa de la Figura N° 2, los estratos de menor dimensión se localizan al pie mismo de la montaña y los de mayor potencia se ubican en las partes planas. Esto es concordante con la propuesta de Zinck (2012).

Debido a su mediana densificación y la calidad poco plástica, con poca humedad, la capacidad admisible es mediana. Una cimentación superficial cuadrada típica de 1.50 m de lado, desplantada a una profundidad razonable de 1.50 m, tiene una capacidad admisible mayor a 1.50 Kg/cm². Son poco expansivos.

CONCLUSIONES

Los cinco sectores del Asentamiento Humano San Luis, ocupan la geoforma de piedemonte del cerro San Cristóbal de la cordillera oriental de los Andes y pedológicamente están constituidos por suelos de naturaleza fina con presencia menor de detritos arenosos y gravosos.

Los suelos finos arcillosos se localizan en la parte externa del piedemonte, con identificaciones de grava arcillosa (GC), arena arcillosa (SC) y arcilla de mediana a baja plasticidad (CL).

Los espesores de los suelos arcillosos alcanzan desde menos de 1.00 m hasta valores promedio de 3.00 m.

La capacidad admisible de los estratos de arcilla de San Luis, según el procedimiento de Terzaghi (1944) y aplicado por Martínez (2014), para un cimiento con Df=1.50 m y un cuadrado de lado 1.50 m, supera 1.50 Kg/cm²; adecuándose también a lo concluido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2011).

Por su baja plasticidad, reflejada en su índice de grupo y su índice de plasticidad, el grado de expansión es bajo, tal como lo califican Aguilar (2012) y Crespo (1993).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, B. Z. (2012). Suelos expansivos en Moquegua. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Carrión, B. Z. (2006). Movimientos en masa en las quebradas Jactay, Tingoragra La Florida y Llicua, y su influencia en la ciudad de Huánuco. SIGRID.CENEPRED.gob.pe
- Crespo, Z. A. (1993). Investigación de arcillas en las áreas de Llerena – Berlanga (Badajoz). España: Junta de Extremadura.
- David, JVR. (2014). Origen, formación y constitución de suelos. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
<https://es.slideshare.net/Arqtronic/origen-de-los-suelos>.
- Domínguez, J. M. y Schifter. (1995). Las arcillas: el barro noble. Fondo de Cultura Económica. 2a edición. México, D.F.
- Duitama, L., Espitia, C., Mojica, J., Quintero, J., & Romero, F. (2004). Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá. Rev. Acad. Colomb. Cienc, 28(109), 555-563.
- Gobierno Regional Huánuco. (2012). Zonificación ecológica y económica provincia de Huánuco: Estudio Geológico Consorcio Pasma. Huánuco. Perú.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2016). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill. 6ª Edición. México DFC.
<https://metodologiaecs.wordpress.com/2016/.../libro-metodologia-de-la-investigacion>.
- Law, M., & Collins, A. (2013). Getting to know ArcGIS for desktop. ESRI press.
- López-Lara, T., Hernández-Zaragoza, J. B., Horta-Rangel, J., Coronado-Márquez, A., & Castaño-Meneses, V. M. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. Revista Iberoamericana de Polímeros, 11(3), 159-168.
- Martín, J. D. M. M., Sanfeliu Montolio, T., Gómez-Gras, D., & Jordán, M. M. (2006). Caracterización litológica y mineralógica de los materiales permo-triásicos de Castellón utilizados como materia prima cerámica: la arcilla de Moró. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 2006, vol. 45, num. 4, p. 239-244.
- Martínez, G.H. (2014). Cálculo de una

- cimentación superficial en arcilla (Tesis de pregrado). Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, México.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. Lima: El Peruano - Normas Legales.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2011). Microzonificación sísmica en el distrito de la Molina. Lima, Perú.
- Puerta, R., Rengifo, J. y Bravo, N. (2013). Manual de Arcgis 10 - Nivel Intermedio. Tingo María: UNAS.
- Quispesivana, L. (1996). Geología del cuadrángulo de Huánuco. Lima - Perú: INGEMMET.
- Rodríguez, L. D., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr, 41(5), 459-470.
- Romero, H., & Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. Eure (Santiago), 31(94), 97-117.
- Terzaghi, K. (1944). Theoretical soil mechanics. Chapman and Hali, Limited John Wiler and Sons, Inc; New York.
- Zinck, J. A. (2012). Geopedología, Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.