

# **UCAM & UNAH**

## **Manual de suelos**

### **- investigaciones al campo y laboratorio**



**Elaborado por: J. Forrest y E. Barnes, con la colaboración de otras personas,  
en colaboración con la Universidad Nacional de Huanta, Perú**

**2026**

**1<sup>ra</sup> edición © TFM, Dept.of Physics, University of Cambridge**

## **Manual de Suelos**

### **Índice**

#### **1. Introducción (Pág. 1)**

#### **2. Identificación de suelos**

##### **2.1. Clasificación global de suelos (Págs. 1-11)**

##### **2.2. Suelos de Ayacucho y Huanta (Págs. 11-15)**

#### **3. Recopilación de datos**

##### **3.1. Trabajo de campo: muestreo (Pág. 16-17)**

##### **3.2. Trabajo de campo: recolección y medición de muestras de suelo (Págs. 17-22)**

##### **3.3. Laboratorio: análisis de muestras (Págs. 23-24)**

#### **4. Análisis de suelos y agricultura (Págs. 24-25)**

### **Apéndices**

#### **A. Hoja de recolección de datos de campo**

#### **B. Hoja de recolección de datos de laboratorio**

#### **C. Diagrama de flujo de tipos de suelo**

#### **D. Mapa de superposición del paisaje físico con tipos de suelo: área de Huanta**

#### **E. Mapa de tipos de suelo: área de Huanta**

# **Manual de Suelos**

Esta sección introductoria proporciona el contexto pedológico y regional para el muestreo de suelos en la región de Ayacucho. Presenta los principales factores de formación del suelo, la taxonomía de suelos del USDA y los principales órdenes y subgrupos de suelos relevantes para el área de Huanta. El objetivo es ayudar a los equipos de campo a comprender por qué el diseño del muestreo debe tener en cuenta las diferencias en el material parental, la altitud, el régimen de humedad, la geomorfología y el uso del suelo.

## **1. INTRODUCCIÓN**

A menudo se considera que los suelos son simplemente una capa de material indiferenciado que cubre gran parte de la superficie terrestre. En realidad, son sistemas dinámicos y biodiversos, fundamentales para toda la vida en la Tierra. El suelo puede definirse como un «cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que se encuentra en la superficie terrestre, ocupa espacio y se caracteriza por uno o ambos de los siguientes aspectos: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o la capacidad de sustentar plantas enraizadas en un entorno natural». Esta es la definición estándar adoptada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El rol de los suelos es fundamental para la integridad de numerosos servicios ecosistémicos y recursos naturales, ya que proporcionan alimentos y agua a los seres humanos. Los suelos y los sistemas edáficos son sumamente complejos y variados, y requieren una gestión cuidadosa para garantizar que sus propiedades críticas no se degraden ni se pierdan. Los procesos del suelo están estrechamente ligados a las variables climáticas y tienen una influencia directa en la agricultura, la biodiversidad y el medio ambiente en general. Los sistemas de uso de la tierra y el cambio climático ejercen dos presiones significativas sobre los recursos del suelo que provocan cambios sistemáticos, impactando directamente en sus funciones esenciales. Es importante comprender mejor los sistemas edáficos para asegurar el correcto mantenimiento de los recursos naturales esenciales.

Los servicios y funciones del ecosistema del suelo se pueden desglosar de la siguiente manera:

**A. Servicios ecosistémicos de apoyo** que incluyen la producción primaria y biodiversidad, la formación de suelo y el ciclo nutricional;

**B. Servicios ecosistémicos de provisión** que incluyen refugios, almacenamiento de agua, suministro de alimentos y agua, biodiversidad, etc;

**C. Servicios ecosistémicos reguladores** que incluyen la filtración de agua, el control de inundaciones, la regulación de los gases atmosféricos, la regulación climática, el control de la erosión, etc.

Todos estos factores son fundamentales para mantener las condiciones de vida en la Tierra. La erosión del suelo, la disminución de la materia orgánica, la salinización, la desertificación, la compactación del suelo, los deslizamientos de tierra y la contaminación representan la degradación de este «capital natural». Los servicios ecosistémicos derivados de las reservas de capital natural son esenciales para el funcionamiento del sistema de soporte vital de la Tierra.

## **2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

### **2.1. Clasificación global de suelos**

Al determinar un sistema de clasificación de suelos, el objetivo inicial es establecer una jerarquía de tipos que permita comprender claramente la relación entre los tipos de suelo y las variables que determinan sus características. La taxonomía de suelos del USDA prioriza las propiedades importantes para el crecimiento de las plantas y que resultan del desarrollo del suelo o influyen en él. Determinar las similitudes entre suelos no es sencillo. Por ejemplo, puede haber similitud en la distribución del tamaño de las partículas entre dos suelos y en el estado de bases entre uno de ellos y otro. Es fundamental identificar la propiedad más importante para desarrollar una taxonomía que se ajuste a las necesidades del usuario. Los usos específicos de los suelos, generalmente relacionados con el crecimiento de las plantas, bajo sistemas de manejo de suelos específicos, son las principales preocupaciones al comparar y analizar los tipos de suelo.

La taxonomía de suelos, como todas las taxonomías, reduce la realidad a tipos, reconociendo al mismo tiempo las variaciones climáticas que existen naturalmente entre ellos. La clasificación de suelos del USDA es la más utilizada. En la categoría más alta, todos los tipos de suelo se clasifican en un número reducido de clases, lo suficientemente pequeñas como para recordarlas fácilmente y comprender sus diferencias con claridad.

De esta manera, los suelos se han organizado en **Órdenes**, seguidos de **Subórdenes**, **Grandes Grupos**, **Subgrupos**, **Familias** y, finalmente, **Serie**, como se muestra a continuación:

**ORDEN:** La agrupación de nivel más alto. Determinación geológica. Los nombres terminan con el sufijo sol. (Geológico).

**SUBORDEN:** La agrupación de segundo orden. Determinación climática.

**GRAN GRUPO:** La agrupación de tercer orden. Determinación del carácter del horizonte del suelo.

**SUBGRUPO:** Agrupación de cuarto orden. Tres tipos: típicos, intergrados y extragrados. El subgrupo típico es aquel que es representativo de la característica del Gran grupo.

**FAMILIA:** La agrupación de quinto orden. Determinación de propiedades físicas y químicas: textura, mineralogía, pH, permeabilidad, estructura, consistencia, patrón de precipitación local y temperatura del suelo.

**SERIE:** La agrupación de sexto orden. Se basan en datos de localidades tipo y reciben su nombre de características locales prominentes.

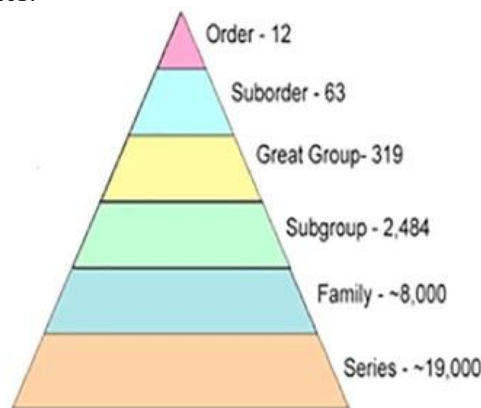


Figure 1 - the Mineral Soil Categories of Soil Taxonomy and approximate Numbers of Units in each Category (after Brady and Weil, 2014).

### 2.1.1 Órdenes de suelo

Existen **doce órdenes** de suelo, diferenciados por horizontes y características diagnósticas que reflejan los procesos de formación del suelo. Es muy probable que los suelos de diferentes grupos presenten procesos de desarrollo distintos. Las propiedades del suelo son consecuencia de diversos procesos que actúan sobre los materiales parentales a lo largo del tiempo.



Figure 2 - Soil orders diagram. ([https://serc.carleton.edu/kskl\\_educator/soil\\_classification/chap\\_5\\_explore.html](https://serc.carleton.edu/kskl_educator/soil_classification/chap_5_explore.html))

**Alfisolos:** estos suelos se desarrollan en zonas semiáridas a húmedas. Tienen un subsuelo enriquecido con arcilla y una fertilidad nativa relativamente alta. "Alf" se refiere al aluminio (Al) y al hierro (Fe). Los alfisolos son uno de los órdenes de suelo más importantes para la producción de alimentos y fibra. Las propiedades de los Alfisolos son una combinación de un epipedón ócrico o úmbrico, un horizonte argílico o nátrico, un suministro medio a alto de bases en los suelos y agua disponible para las plantas mesofíticas durante más de la mitad del año o más de 3 meses consecutivos durante una estación cálida.

**Andisolos:** la mayoría de los Andisolos se forman en eyecciones volcánicas o materiales volcanoclasticos y se definen como suelos que contienen altas proporciones de sílice y materiales coloidales amorfos, incluidos alofana, imogolita y ferrihidrita. Los andisolos son generalmente jóvenes, típicamente fértiles (excepto donde el fósforo se fija fácilmente). Por lo general, apoyan cultivos intensivos, como las zonas del sureste asiático donde se cultiva el arroz. Una propiedad única de los Andisolos es el predominio del complejo de humus Al, resultante de la meteorización y la transformación mineral. Los andisolos se caracterizan por una alta retención de fósforo, capacidad de agua disponible y capacidad de intercambio catiónico. Este es el tipo de suelo dominante en el alto Río Cachi desde Huanta hasta Huamanga, en el departamento de Ayacucho.

**Aridisolos:** son suelos predominantemente de ambientes xéricos y ocupan casi un tercio de la superficie terrestre de la Tierra. La vegetación en muchas áreas consiste en pastos y forbias efímeros dispersos, cactus y arbustos xerófitos. Los Aridisolos tienen muy baja concentración de materia orgánica, reflejando la producción vegetativa en regiones áridas y la escasez del agua. Los procesos de lixiviación y meteorización en los Aridisolos a menudo producen uno o más horizontes del suelo subterráneo en los que se han acumulado minerales: arcillas silicatadas, sodio, carbonato de calcio, yeso o sales solubles. Las propiedades únicas comunes a los Aridisolos son una combinación de falta de agua disponible para las plantas mesofíticas durante periodos muy prolongados, uno o más horizontes pedogénicos, un horizonte u horizontes no significativamente oscurecidos por el humus y ausencia de grietas profundas y anchas.

**Entisolos:** son suelos que muestran pocos o ningún horizonte pedogénico diferenciado, a excepción de un horizonte A limitado. Como tales, se caracterizan por no tener horizontes de diagnóstico y reflejan en gran medida sus materiales parentales, que podrían ser sedimentos o lechos de roca. Los entisolos están muy extendidos y cubren casi una quinta parte de la superficie terrestre libre de hielo. Por lo tanto, los entisolos están dominados por materiales minerales y son suelos en el sentido de que sustentan plantas, pero pueden estar asociados con cualquier clima o vegetación. La ausencia de horizontes pedogénicos puede ser el resultado de una variedad de factores, desde material parental inerte, roca parental dura, inmadurez, ubicación en una ladera altamente erosionada, remoción de capas superficiales por animales o arado.

**Gelisolos:** la propiedad única de los Gelisolos es la presencia de permafrost y características y propiedades del suelo asociadas con la congelación y la descongelación. Estas características incluyen horizontes irregulares o quebrados y la incorporación de materiales orgánicos en los horizontes inferiores, especialmente a lo largo de la parte superior de la tabla de permafrost. La congelación y la descongelación producen estructuras granulares, laminares y vesiculares en los horizontes superficiales y subterráneos. Los aumentos del volumen del suelo durante la congelación se consideran un importante proceso de formación del suelo en los Gelisolos. Estos suelos se limitan a las latitudes más altas o a las elevaciones elevadas, pero constituyen alrededor del 13% de los suelos del mundo, sólo superados por los Aridisols.

**Histosoles:** de manera única, los Histosoles presentan un contenido orgánico muy alto en los horizontes superiores hasta al menos 80 cm y no tienen permafrost. El carbono acumulado es del 20-30% en esta capa. La mayoría de los Histosoles son turbas, formadas en condiciones de anegamiento en las que se acumulan restos de plantas. Estos se forman en condiciones minerotróficas u ombrotólicas para dar ambientes de pantano o fango. Son el mecanismo edáfico más importante para el almacenamiento de carbono.

Se trata de suelos de particular importancia en los paisajes andinos por los servicios ecosistémicos relacionados con los recursos hídricos. Son suelos fuertemente asociados a bofedales y praderas húmedas a lo largo de los andes. Estos suelos son los que desde hace mucho tiempo han sido objeto de estudio por parte del grupo de Física Ambiental de Cavendish.

**Inceptisoles:** son suelos de origen relativamente nuevo, caracterizados por un desarrollo mínimo de horizontes. Son muy variables y se desarrollan en una amplia variedad de regiones húmedas y subhúmedas. Presentan horizontes que han perdido bases de hierro y aluminio pero conservan algunos minerales meteorizables. Estos suelos carecen de un horizonte iluvial enriquecido con arcilla silicatada o una mezcla amorfa de aluminio y carbono orgánico. Los Inceptisoles pueden tener varios horizontes de diagnóstico, pero no argílico, nátrico, kándico, espódico y óxico. Son el orden de suelo más abundante en la Tierra y cubren casi el 22% de la tierra libre de hielo. Estos suelos son el tipo dominante en Ayacucho a lo largo de la cuenca media.

**Molisoles:** las propiedades únicas de los Molisoles son una combinación de horizontes A y B superficiales de color marrón muy oscuro a negro (epipedón mólico) de más de 25 cm de espesor, con un predominio de calcio en esos horizontes. Los molisoles se forman característicamente debajo del pasto en climas que tienen un déficit de humedad estacional de moderado a pronunciado. Algunos molisoles se han formado bajo ecosistemas forestales y unos pocos se han formado en pantanos. Los molisoles son suelos esteparios extensos en Eurasia y en todo el continente americano. En nuestra área de estudio estos suelos se han formado principalmente bajo los bosques secos y pastizales de valle en las subcuencas de cabecera de los ríos Mantaro, Pampas y Apurímac.

**Oxisoles:** se caracterizan por una erosión mineral extrema, excepto el cuarzo, una fracción arcillosa inactiva y una textura arenosa o arcillosa. Se desarrollan típicamente en regiones tropicales o subtropicales húmedas, sobre superficies terrestres que han permanecido estables durante mucho tiempo (Pleistoceno temprano o anterior). Como se han desarrollado durante largos periodos de tiempo, se pueden encontrar en regiones áridas.

**Podsoles:** también conocidos como podosoles, podzoles o espodosolos, son los suelos típicos de los bosques de coníferas o boreales y también los suelos típicos de los bosques de eucaliptos. En Europa occidental, los podsoles se desarrollan en brezales, que a menudo son el resultado de la interferencia humana a través del pastoreo y la quema. Los podsoles tienen un horizonte B exclusivo que consiste en materiales negros o rojizos acumulados que tienen una alta capacidad de intercambio catiónico. Este horizonte es el horizonte espódico. Estos suelos pueden desarrollarse sobre casi cualquier material parental, pero generalmente derivan de arenas y areniscas ricas en cuarzo o de restos sedimentarios de rocas magmáticas, siempre que haya altas precipitaciones.

Los podsoles son generalmente pobres para la agricultura debido a la porción arenosa, lo que resulta en un bajo nivel de humedad y nutrientes. Un pH bajo agrava aún más los problemas, junto con las deficiencias de fósforo y la toxicidad del aluminio. El mejor uso agrícola de los podsoles es el pastoreo, aunque los tipos arenosos bien drenados pueden ser muy productivos para los cultivos si se utilizan cal y fertilizantes.

**Ultisoles:** A menudo se piensa que son el producto final de la erosión continua de los minerales en un clima húmedo y templado sin formación de suelo nuevo a través de la glaciación. Se definen como suelos minerales que no contienen material calcáreo (que contenga carbonato de calcio) en ninguna parte del suelo, tienen menos del 10% de minerales meteorizables en la capa superior extrema del suelo y tienen menos del 35% de saturación de bases en todo el suelo. Los ultisoles se encuentran en regiones templadas húmedas o tropicales. Aunque el término se aplica generalmente a los suelos de arcilla roja del sur de los Estados Unidos. Los ultisoles también se encuentran en regiones de África, Asia, Australia y Sudamérica. Los suelos de la parte inferior de Apurímac son principalmente Ultisoles, lo que refleja las condiciones más húmedas de los ambientes subtropicales y tropicales del flanco este de los Andes.

**Vertisoles:** Los vertisoles generalmente se desarrollan sobre rocas básicas, como el basalto, en climas estacionalmente húmedos o sujetos a sequías e inundaciones erráticas. La contracción y el hinchamiento de los Vertisoles pueden dañar edificios y carreteras, ocasionando hundimientos extensos. Dependiendo del material parental y del clima, pueden variar desde el gris o el rojo hasta el más conocido negro intenso. Los vertisoles se encuentran más cerca del ecuador. Las áreas donde predominan los Vertisoles son el este de Australia, la meseta del Decán en la India y la cuenca baja del Río Paraná en América del Sur. La vegetación natural de los Vertisoles es pastizal, sabana o bosque pastizado. La textura pesada y el comportamiento inestable del suelo dificultan el crecimiento de muchas especies de árboles.

### 2.1.2. Subórdenes de suelo

Los **órdenes** de suelo se subdividen en **subórdenes**. Estos se diferencian según la presencia o ausencia de horizontes específicos. El análisis de dos órdenes de suelo ilustra el funcionamiento del sistema de clasificación.

**Entisoles:** se caracterizan por un escaso o nulo desarrollo de horizontes. Este orden tiene **cinco subórdenes**:

- Suelos húmedos o anegados de carácter áquico con coloración azul verdosa cerca de la superficie.
- Suelos aluviales estratificados, jóvenes y en proceso continuo de sedimentación superficial.
- Suelos en laderas erosionadas. Estos suelos presentan escasa o nula presencia de horizontes debido a la continua remoción de materiales.
- Arenas, en las que los horizontes no se han desarrollado por falta de humedad o de materiales formadores de suelo.
- Suelos arados profundamente o afectados por otras actividades antropogénicas que interrumpen los procesos pedogenéticos.

**Alfisoles:** este orden tiene **cinco subórdenes**:

- Suelos húmedos de color gris.
- Suelos fríos con una corta temporada de crecimiento.
- Suelos con régimen de humedad *údico*, con disponibilidad continua de agua para el crecimiento de las plantas.
- Suelos con régimen de humedad *ústico*, con periodos prolongados en los que el agua no está disponible de forma continua para el crecimiento de las plantas.
- Suelos con régimen de humedad *xérico*.

En estos ejemplos, se puede ver que las condiciones y los procesos que diferencian los subórdenes del suelo se relacionan con la disponibilidad de agua y el movimiento de los materiales del suelo y que luego tienen un impacto en el crecimiento de las plantas. La nomenclatura de los subórdenes se compone de dos características del suelo. La primera sílaba identifica la propiedad diagnóstica del suelo y la segunda es el componente formativo del orden del suelo. La combinación de estos elementos produce sesenta y cuatro subórdenes derivados de los doce órdenes de suelo. Por lo tanto, obtendrás subórdenes para cada orden de suelo.

Continuando con el ejemplo de **Entisol**, las condiciones ácuicas dan '**Fluvents**', con *fluv* del latín *fluvius*, para río, y '**ents**' del orden de los entisoles. De esta manera se nombran sesenta y cuatro subórdenes de suelos.

**MOIST**  **DRY**

| SATURATED                                                                                                 | MOIST                                                                                                                                    | LIMITED MOISTURE IN SOIL                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                  | LOW MOISTURE                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AQUIC                                                                                                     | UDIC                                                                                                                                     | USTIC (Tropical)                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                  | XERIC (Mediterranean)                                                                                                                                        |
|                                                                                                           |                                                                                                                                          | *Hyperthermic 'iso'                                                                                                                                                            | *Thermic 'Non iso'                                                                                                                                                                                                                               | ARIDIC                                                                                                                                                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soils periodically water saturated.</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Well distributed rainfall</li> <li>• Rainfall + stored moisture exceeds evaporation.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moisture more than Aridic but less than Udic.</li> <li>• Available at times when conditions are suitable for plant growth.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Climate with cool, moist winters and warm, dry summers.</li> </ul>                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soils of Arid climate (both cold and hot).</li> </ul>                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduced conditions.</li> <li>▪ Less dissolved Oxygen.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Not dry ≥ 90 days in an year.</li> <li>▪ Not dry &gt;45 days after summer.</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dry ≥ 90 days but moist &gt;180 days and at least 90 days consecutively.</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dry ≥ 90 days but moist &gt;180 days cumulative or ≥ 90 days consecutively .</li> <li>▪ Not dry consecutive 45 days after summer.</li> <li>▪ Moist 45 or more consecutive days after winter.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dry &gt; 45 days consecutively after summer months.</li> <li>▪ Moist ≥ 45 consecutive days after winter.</li> </ul> |
|                                                                                                           |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Not moist &gt; 90 consecutive days.</li> </ul>                                                                      |

\* Soil Temperature Regime (STR)

Figure 4 - Soil moisture regime (after S.Kumar Singh, 2025)

### 2.1.3. Grandes Grupos

Los **subórdenes**, de acuerdo con elementos formativos dicotómicos, se dividen en **Grandes Grupos**. El nombre de un **Gran Grupo** lleva un prefijo en el nombre del suborden. Así, los Fluvents pueden denominarse Criofluvents, derivado del griego «*kryos*» (frío) y del suborden fluent. Por el contrario, los Fluvents pueden denominarse Torrifluvents, derivado del latín «*toridus*» (caliente y seco).

Elementos formativos y nomenclatura de los Grandes Grupos -

- Acr. Derivado del Gr. arkos, al final. Meteorización extrema.
- Al. Derivado de aluminio. Alto aluminio, bajo hierro.
- Alb. L.albus, blanco. Presencia de horizonte albico.
- Anhy. Gr.anydros, ausencia de agua. Muy seco.
- Anthr. Derivado del Gr. anthropos, humano. Un epipedón antrópico
- Aqu. L.aqua, agua. Condiciones Ácuicas.
- Argi. Horizonte argílico; L.argilla, arcilla blanca. Horizonte argílico;
- Calci, calc. L.calcis, cal. Horizonte cálcico.
- Cry. Gr.kryos, frío helado. Frío.
- Dur. L.durus, duro. Duripan.
- Dystr.dys. Derivado del Gr. dificultad, difícil. Baja saturación de bases.
- Endo. Gr.endon, dentro. Sugiere un nivel freático.
- Epi. Gr.epi, en, arriba. Sugiere un nivel freático colgado
- Eutr. Derivado del Gr. eu, bueno, fértil. Alta saturación de bases.
- Ferr. L.ferrum, hierro. Presencia de hierro
- Fibr. L.fibra, fibra. Estado de menor descomposición.
- Fluv. L.fluvius, río. Llanuras inundables.
- Fol. L.folia, hoja. Grupo de hojas.
- Fragi. Derivado de L.fragilis, frágil. Presencia de fragipan.
- Fragloss. Combinación de Frag y Gloss.
- Fulv. L.fulvus, amarillo opaco casi marrón. Presencia de carbono orgánico.
- Glac. L.glacialis, hielo. Cristales de hielo o cuñas.
- Gyps. L.gypsum, yeso. Presencia de horizonte gypsico.
- Gloss. Gr.glossa, lengua. Presencia de horizonte glósico.
- Hal. Gr.hals, sal. Salado.
- Hapl. Gr.haplous, simple. Desarrollo de horizontes mínimo.
- Hem. Gr.hemi, mitad. Etapa de descomposición intermedia.
- Hist. Gr.histos, tejido. Presencia de materiales orgánicos.
- Hum. L.humus, tierra. Presencia de materia orgánica.
- Hydr. Gr.hydor, agua. Presencia de agua.
- Kand, kan. Derivado de kandite. Capas de silicato de arcilla tipo 1:1.
- Luv. Gr.louo, lavar. Iluvial.
- Melan. Gr.melasanos, negro. Negro, presencia de carbono orgánico.
- Moll. L.mollis, suave. Presencia de epipedón mólico.
- Natr. Derivado de natrium, sodio. Presencia de horizonte nátrico.
- Pale. Gr.paleos, antiguo. Desarrollo excesivo.
- Petr. Gr.comb. de la forma petra, piedra. Horizonte cementado.
- Plac. Gr.base de plax, piedra aplanada. Presencia de un pan delgado.
- Plagg. Alemán.plaggen, césped. Presencia de un epipedon plaggen.
- Plinth. Gr.plinthos, ladrillo. Presencia de plintita.
- Psamm. Gr.psammos, arena. Textura arenosa.
- Quartz. Alemán.quarz, cuarzo. Alto contenido en cuarzo.
- Rhod. Gr.base de rhodon, rosa. Color rojo oscuro.
- Sal. L.base de sal, sal. Presencia de horizonte sálico.
- Sapr. Gr.saprose, descompuesto. Etapa de mayor descomposición.

- Somb. F.sombre, oscuro. Presencia de horizonte sómblico.
- Sphagn. Gr.sphagnos, pantano. Presencia de sphagnum.
- Sulf. L.sulfur, sulfuro. Presencia de sulfuros.
- Torr. L.torridus, caliente y seco. Régimen de humedad tórrico .
- Ud. L.udus, húmedo. Régimen de humedad údico.
- Umbr. L.umbra, sombra. Presencia de epipedón úmbrico.
- Ust. L.ustus, quemado. Régimen de humedad ústico.
- Verm. L.base de vermes, gusanos. Con gusanos o mezclado por animales.
- Vit. L.vitrum, vidrio. Presencia de vidrio.
- Xer. Gr.xeros, seco. Régimen de humedad xérico.

Por lo general, la temperatura tiene un papel menos relevante en la formación del suelo que los niveles de precipitación, pero puede seguir siendo importante, como se mencionó anteriormente, en el caso de ciertos suelos.

|                                                                 |        | T <sub>ANNSO</sub> : Mean annual soil temperature at 50cm |             |              |               |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
|                                                                 |        | <0<br>↓                                                   | 0 to 8<br>↓ | 8 to 15<br>↓ | 15 to 22<br>↓ | > 22<br>↓    |
| T <sub>SUMSO</sub> :<br>Mean<br>summer<br>soil temp.<br>at 50cm | > 15 → | Other<br>(primarily<br>permafrost)                        | Frigid      | Mesic        | Thermic       | Hyperthermic |
|                                                                 | < 15 → |                                                           | Cryic       |              |               |              |

Figura 5 - Régimen de temperatura del suelo (DOI: 10.3389/fevo.2019.00358)

#### 2.1.4.Subgrupos

Los nombres de los **Subgrupos** se establecen con el nombre del **Gran grupo** con un prefijo modificado. Son los siguientes:

**Árido:** suelos con condiciones secas y/o de estacionalidad.

**Lítico:** suelo de su tipo con fragmentos de roca.

**Típico:** Suelo típico de su tipo.

**Vérmico:** evidencia de actividad de gusanos.

Es el subgrupo que suele ser el tipo de suelo mapeado. La familia de suelos y la serie de suelos presentan detalles de la ubicación de las muestras de campo.

#### 2.1.5. Familias de suelos

En este nivel de la taxonomía, los principios que rigen la diferenciación se relacionan con las propiedades físicas y químicas que determinan su respuesta a la gestión de la tierra.

Los siguientes se definen principalmente para identificar suelos minerales con rangos restringidos en:

- Clases del tamaño de partículas en horizontes de mayor actividad biológica por debajo de la profundidad de arado.
- Clases mineralógicas en los mismos horizontes que se consideran al nombrar las clases del tamaño de partículas.
- Clases de intercambio catiónico de ciertas clases del tamaño de partículas y clases mineralógicas en los mismos horizontes que se consideran al nombrar las clases del tamaño de partículas.
- Clases calcáreas y de reacción en horizontes directamente debajo de la profundidad de arado.
- Clases de temperatura del suelo.
- Grosor del suelo penetrable por las raíces.
- Clases de revestimientos, grietas y resistencia a la ruptura utilizadas en la definición de algunas familias para producir la homogeneidad necesaria. Estos factores afectan la aireación, así como el movimiento y la retención del agua, los cuales afectan el crecimiento de las plantas y los usos de la ingeniería.

Las **Familias** de suelos son polinómicas. Cada uno consiste en el nombre de un **Subgrupo** y términos descriptivos, generalmente tres o más:

- Clase de tamaño de partículas (o combinaciones de estas si contrastan fuertemente).
- Mineralógicas (26 clases)
- Actividad de intercambio catiónico (4 clases).
- Clases calcáreas y de reacción (4 clases).
- Temperatura (8 clases).
- Profundidad de suelo (3 clases).
- Resistencia a ruptura (2 clases).
- Clases de revestimientos y clases de grietas (3 clases).

### 2.1.6. Series de suelos

En el sistema de clasificación de suelos del USDA, las **Series de suelos** son la categoría mejor definida, con más de 19,000 reconocidas solo en EE.UU. Como regla general, los nombres son nombres de lugares de donde se recolectaron las muestras de suelo.

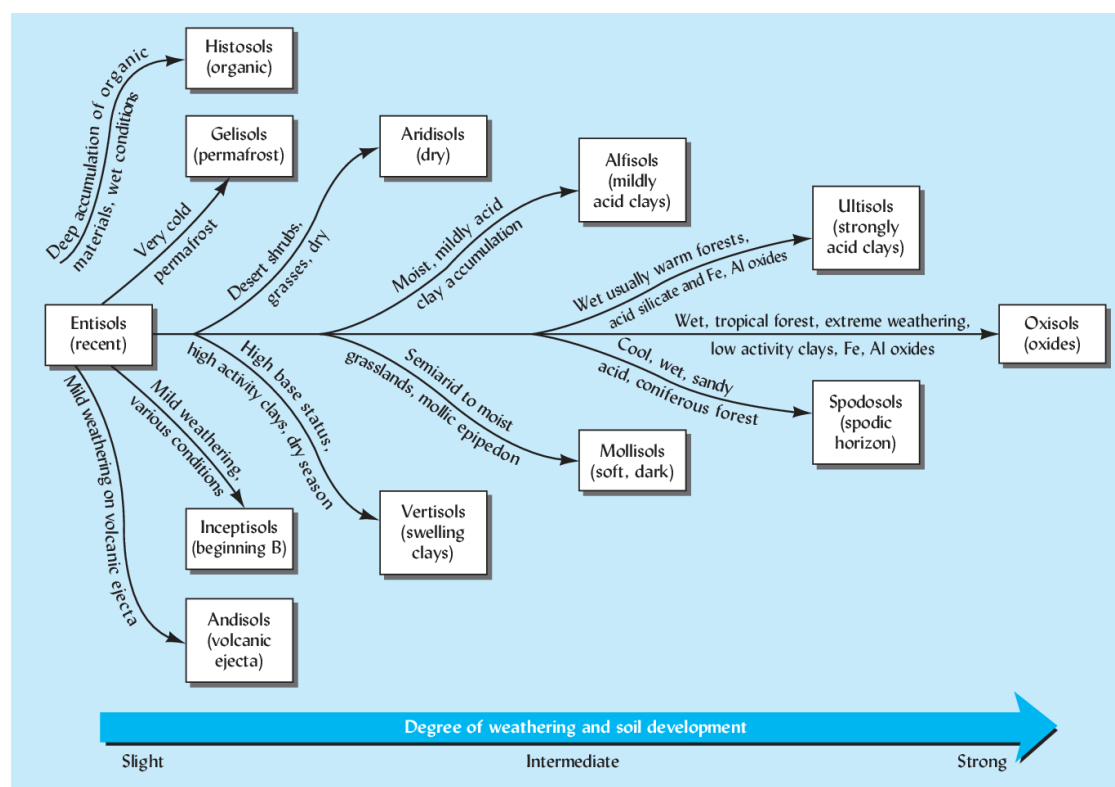


Figura 6: grado general de meteorización y desarrollo del suelo en los diferentes órdenes de suelos clasificados en la taxonomía de suelos. Asimismo, las condiciones climáticas y vegetativas generales en las que se forman los suelos de cada orden.

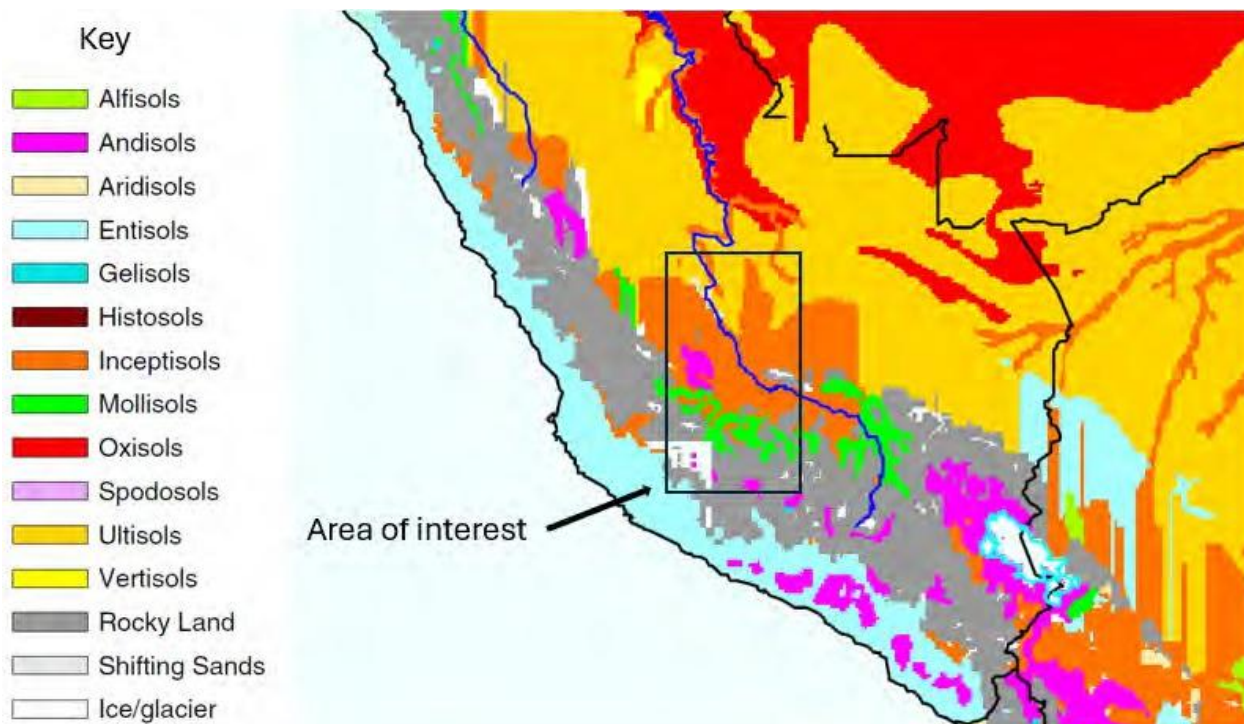
(<https://www.semanticscholar.org/paper/Soil-Classification-77-3.1-Concept-of-Individual-1/056f8dd791cef9e37d1d12e6790554817d041aa2>)

| Soil order  | Major criterion                  | Soil forming factors  |
|-------------|----------------------------------|-----------------------|
| Andisols    | Volcanic ash materials           | $pm > t > r > cl > v$ |
| Vertisols   | Dominance of swelling clays      | $pm > cl > r > v > t$ |
| Entisols    | No genetic horizons              | $t > pm > cl > r > v$ |
| Inceptisols | Few diagnostic horizons          | $t > cl > r > pm = v$ |
| Spodosols   | Spodic horizon, forest, low BS%  | $cl = pm = v > r = t$ |
| Aridisols   | Soils of arid areas              | $cl > r > r = t = pm$ |
| Mollisols   | Dark, grassy, high OM and BS%    | $cl > v > r = t = pm$ |
| Alfisols    | Diagn. horiz. medium BS%, forest | $cl > v > r > t = pm$ |
| Ultisols    | Argillic horiz. low BS%, forest  | $cl > t > v > r = pm$ |
| Oxisols     | Oxic horiz. highly weathered     | $cl > t > v > r = pm$ |
| Gelisols    | Cold, permafrost                 | $cl > r = v = pm > t$ |

(pm = parent material, cl = climate, r = relief, v = vegetation, t = time, BS = Base Saturation, OM = Organic Matter, Diagn = Diagnostic, Horiz = Horizon).

*Figura 7 - Clasificación y criterios principales de los factores de formación del suelo en los órdenes de suelos minerales de la taxonomía del suelo (según S. Kumar Singh, 2025)*

## 2.2. Suelos de Huanta y Ayacucho



*Figura 8 - Mapa generalizado de los órdenes de suelos en el sur de Perú.*

### 2.2.1 Clasificación

En la región de Ayacucho, la distribución de los suelos refleja los efectos combinados de la topografía andina, los materiales parentales volcánicos y sedimentarios, los fuertes gradientes de elevación y la marcada variación espacial en la disponibilidad de humedad. En los alrededores de Huanta, los **ordenes** de suelos cartografiados están dominados por Entisoles, Inceptisoles, Aridisoles, Andisoles e Histosoles.

**Andisoles:** este es el tipo de suelo dominante en el valle inferior del Cachi, más abajo de Huanta hacia Ayacucho.

**Histosoles:** son suelos fuertemente asociados con sistemas de humedales andinos de altura, como los bofedales de la Sierra Razuhuillca.

**Inceptisoles:** suelos dominantes en la cuenca media de Ayacucho.

**Mollisoles:** suelos de las subcuencas de las cabeceras de los ríos Cachi, Mantaro, Pampas y Apurímac que se han formado principalmente en bosques secos y praderas de valle.

**Ultisoles:** los suelos de la parte baja del Apurímac, al este de la Sierra Razuhuillca, reflejan las condiciones más húmedas de los ambientes subtropicales y tropicales del flanco oriental de los Andes.

Figura 9 - Subgrupos de suelos en la zona de Huanta (Adaptado de la figura 11; véase más abajo)

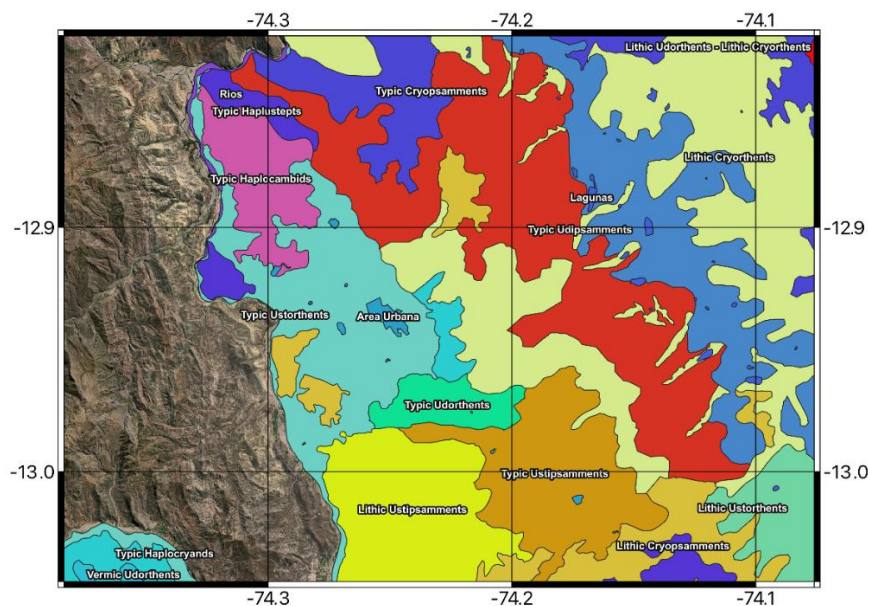
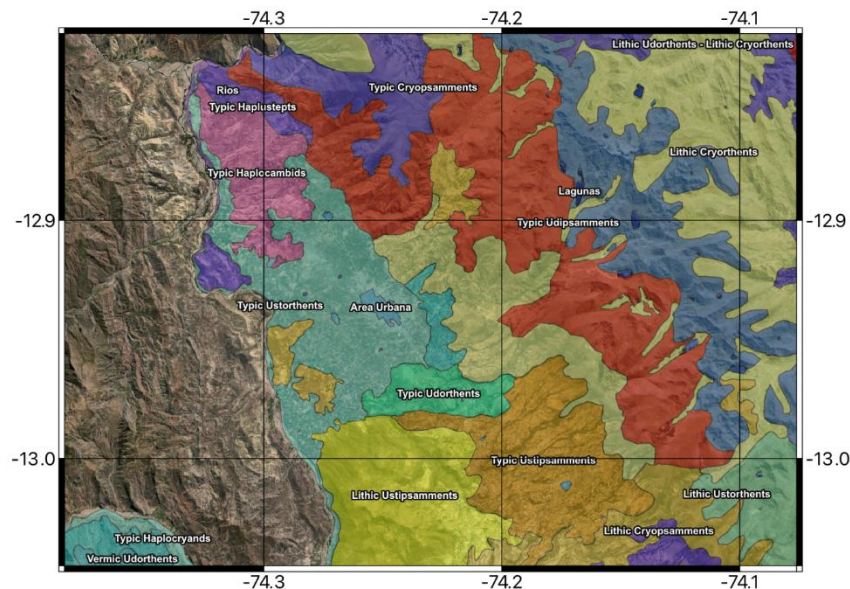


Figura 10 - Subgrupos de suelos de la zona de Huanta superpuestos en un mapa del paisaje físico (Adaptado de la figura 11; véase más abajo)



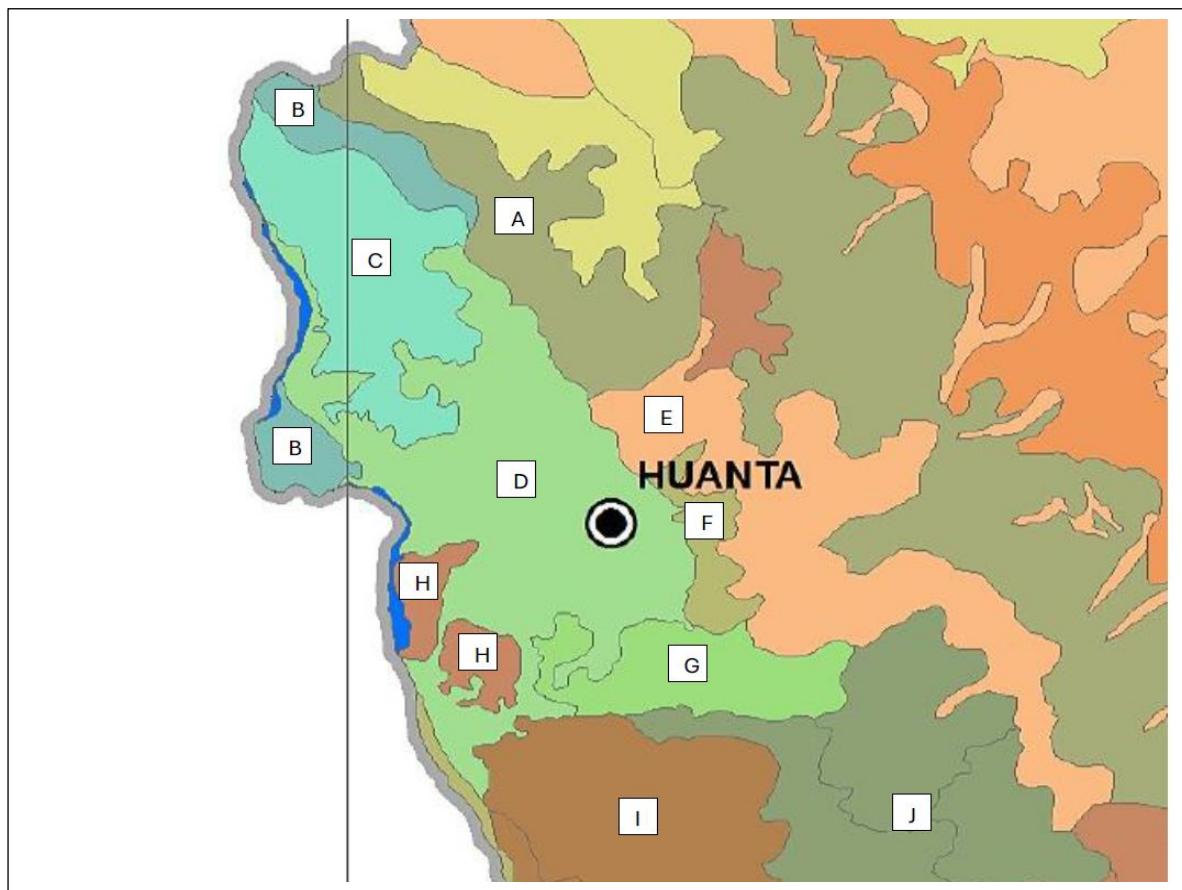


Figura 11 - Subgrupos de suelos en la zona de Huanta (<https://siar.minam.gob.pe/ayacucho/publicaciones/?nid=295804>)

| Map code | Soil subgroups                                                                |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| A        | Typic Udipsamments                                                            |
| B        | Typic Haplustepts                                                             |
| C        | Typic Haplocambids                                                            |
| D        | Typic Ustorthents                                                             |
| E        | Lithic Cryorthents                                                            |
| F        | Typic Haplocryands                                                            |
| G        | Typic Udorthents                                                              |
| H        | Lithic Cryopsamments                                                          |
| I        | Lithic Ustipsamments                                                          |
| J        | Typic Ustipsamments                                                           |
|          |                                                                               |
|          | Typic soils from the Huanta area / Suelos <i>Típico</i> de la zona de Huanta  |
|          | Lithic soils from the Huanta area / Suelos <i>Lítico</i> de la zona de Huanta |

Tabla 1 - Leyenda del mapa de subgrupos de suelos en la zona de Huanta y estimaciones de sus respectivas superficies (<https://siar.minam.gob.pe/ayacucho/publicaciones/?nid=295804>)

| Subgrupo de suelos             | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                           | Orden              | Clima                                                                        |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. Typic Udipsamments</b>   | suelos excesivamente drenados, arenosos y pobres en nutrientes. Se caracterizan por tener una textura arenosa en toda su extensión y carecen de horizontes edafológicos significativos.                                                                                               | <b>Entisols</b>    | Climas húmedos con precipitaciones distribuidas de manera uniforme.          |
| <b>B. Typic Haplustepts</b>    | presentan un perfil moderado y, por lo general, carecen de condiciones extremas como un alto contenido de arcilla, un alto contenido de sodio o un exceso de humedad.                                                                                                                 | <b>Inceptisols</b> | Regímenes de humedad que van de semiáridos a subhúmedos.                     |
| <b>C. Typic Haplocambids</b>   | se caracterizan por un desarrollo mínimo de los horizontes, un horizonte subsuperficial cámbico (alterado) y, por lo general, presentan una redistribución de carbonatos por debajo de la zona principal del suelo.                                                                   | <b>Aridisol</b>    | Entornos de sem áridos a áridos.                                             |
| <b>D. Typic Ustorthents</b>    | suelos minerales jóvenes y poco desarrollados.                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Entisols</b>    | De semiárido a subhúmedo, con estaciones secas muy marcadas.                 |
| <b>E. Lithic Cryorthents</b>   | suelos poco profundos y permanentemente fríos (crióticos) que se encuentran en entornos extremos como las cumbres alpinas o el Ártico y la Antártida. Se asientan directamente sobre el lecho rocoso (contacto lítico) a profundidades muy reducidas, normalmente inferiores a 50 cm. | <b>Entisols</b>    | Climas fríos.                                                                |
| <b>F. Typic Haplocryands</b>   | suelos fríos de ceniza volcánica de gran altitud que se encuentran en regiones montañosas o alpinas y que carecen de características inusuales como la saturación profunda (aquicos), la sequedad extrema (xéricos) o la cementación.                                                 | <b>Andisols</b>    | Normalmente, climas fríos.                                                   |
| <b>G. Typic Udorthents</b>     | suelos jóvenes, poco desarrollados y muy alterados, que carecen de horizontes maduros bien diferenciados debido a los movimientos de tierra provocados por el hombre o a una erosión grave; además, no presentan la humedad prolongada característica de los suelos 'aquicos'.        | <b>Entisols</b>    | Se encuentra en climas húmedos o templados.                                  |
| <b>H. Lithic Cryopsamments</b> | Suelos arenosos y poco profundos, compuestos principalmente por material arenoso grueso y poco desarrollado, con un lecho rocoso sólido subyacente a poca profundidad.                                                                                                                | <b>Entisols</b>    | Se encuentra en ambientes fríos.                                             |
| <b>I. Lithic Ustipsamments</b> | textura gruesa y arenosa sin un desarrollo significativo de los horizontes edafológicos (psamments), con un lecho rocoso sólido y sin meteorización a poca profundidad, que suele encontrarse a menos de 50 cm de la superficie.                                                      | <b>Entisols</b>    | Climas semiáridos con estaciones húmedas y secas bien diferenciadas (Ustic). |
| <b>J. Typic Ustipsamments</b>  | un subgrupo de suelos arenosos y sin desarrollar (Psamments), compuestos casi en su totalidad por arena no consolidada, por lo que tienen una capacidad muy baja para retener agua y nutrientes.                                                                                      | <b>Entisols</b>    | Se encuentra en climas áridos y semiáridos.                                  |

Tabla 2 - Datos edafológicos y climáticos de los subgrupos de suelos presentes en la zona de Huanta

Fuente: Taxonomía de suelos del USDA: <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-taxonomy>

### 2.2.2. Geología y suelos en la zona de Huanta

La Sierra Razuhuillca está compuesta por rocas paleozoicas, formaciones geológicas depositadas hace aproximadamente entre 540 y 250 millones de años a lo largo de siete períodos geológicos distintos, desde el Cámbrico hasta el Pérmico.

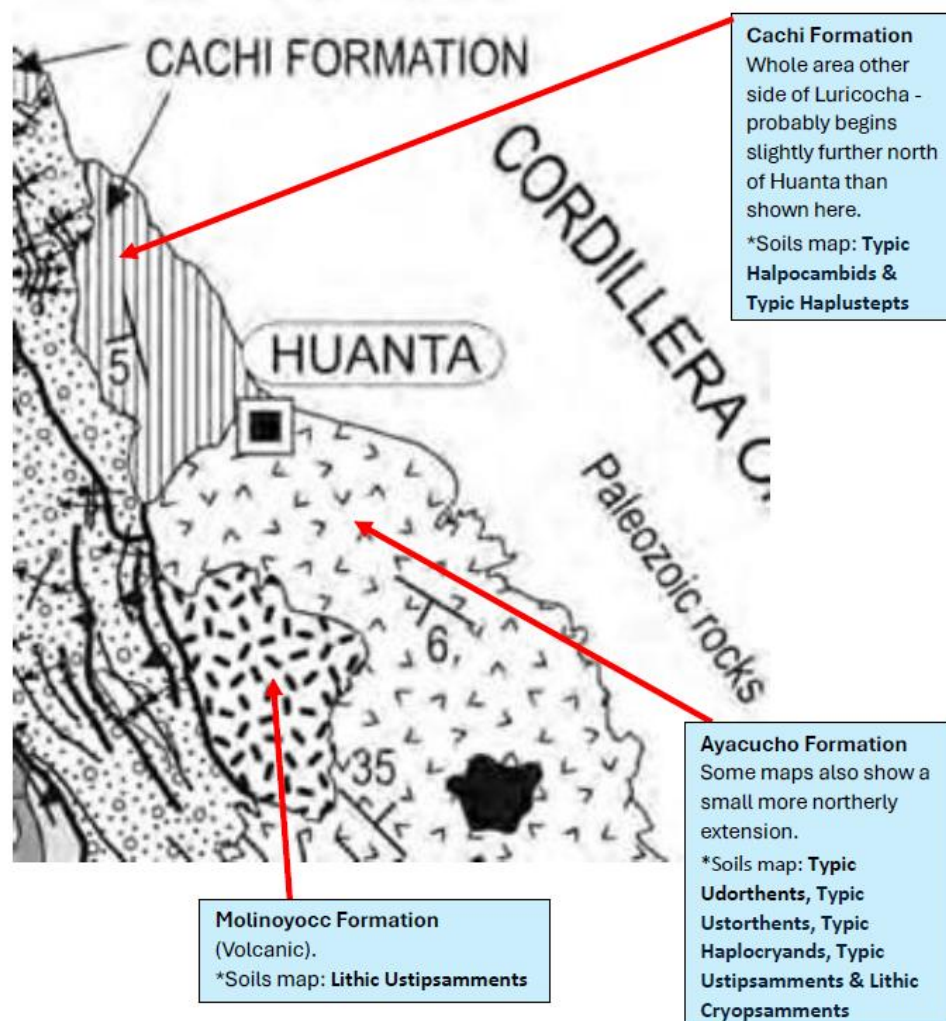
La zona agrícola de Huanta, situada al pie de la sierra Razuhuillca, está cubierta por tres formaciones que subyacen a los suelos de la zona:

- la formación volcánica Molinoyocc, al sur, alrededor de La Vega;
- la formación Ayacucho, al sur de Huanta; y
- la formación Cachi, al norte de Huanta.

Sin embargo, estas dos últimas están recubiertas por capas sustanciales de sedimentos depositados en períodos de deshielo glacial y por los ríos que bajan de la sierra Razuhuillca, así como por algunos depósitos de ceniza volcánica. En consecuencia, es probable que solo las rocas de la formación Molinoyocc tengan un impacto directo en la composición de los suelos de la zona de Huanta.

Figura 12 - Geología de la región de Huanta y su relación con los subgrupos de suelos

[https://www.researchgate.net/publication/296484499\\_EARLY\\_MIOCENE\\_BIMODAL\\_VOLCANISM\\_AND\\_SYN-EXTENSIONAL\\_DEPOSITION\\_THE\\_LARAMPUQUIO\\_FORMATION\\_AYACUCHO\\_INTERMONTANE\\_BASIN\\_CENTRAL\\_PERU\\_VOLCANISMO\\_BIMODAL\\_DEL\\_MIOCENO\\_INFERIOR\\_Y\\_SEDIMENTACION\\_BAJA\\_CONDICION](https://www.researchgate.net/publication/296484499_EARLY_MIOCENE_BIMODAL_VOLCANISM_AND_SYN-EXTENSIONAL_DEPOSITION_THE_LARAMPUQUIO_FORMATION_AYACUCHO_INTERMONTANE_BASIN_CENTRAL_PERU_VOLCANISMO_BIMODAL_DEL_MIOCENO_INFERIOR_Y_SEDIMENTACION_BAJA_CONDICION)



### **3. RECOPIACIÓN DE DATOS**

La toma de muestras de suelo y la recopilación de datos deben realizarse de manera coherente y reproducible, de modo que los resultados de los distintos sitios puedan compararse de forma fiable. En cada punto de muestreo seleccionado, el equipo de campo debe registrar el estado físico del suelo, tomar una muestra representativa y documentar las características relevantes del sitio, tales como la cobertura vegetal, el contenido de piedras, la profundidad del suelo, el color, la textura, el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura del suelo. Todas las mediciones deben registrarse en la hoja de datos de campo en el momento del muestreo, junto con el código del sitio, la fecha, la hora, la ubicación GPS y cualquier observación que pueda influir en la interpretación de los resultados.

#### **3.1. Protocolos de muestreo**

Se debe prestar especial atención a la selección de los puntos de muestreo del suelo para garantizar que se obtenga una muestra representativa. En el caso de los suelos, los sitios de muestreo suelen dividirse en cuatro subáreas, y se toma una muestra de cada una de ellas. Posteriormente, estas cuatro muestras se mezclan para crear una muestra única representativa de todo el sitio.

Las muestras compuestas son adecuadas cuando el objetivo es obtener una condición promedio del suelo para un área relativamente uniforme, como un campo. El muestreo compuesto no debe utilizarse cuando se investigan contaminaciones localizadas, zonas de salinidad, características de erosión, montones de estiércol u otras anomalías a pequeña escala. En tales casos, deben conservarse muestras de puntos individuales y analizarse por separado.

Las opciones para elegir los puntos de donde se tomarán las muestras son las siguientes:

##### **3.1.1. Muestreo aleatorio simple**

Desde el punto de acceso al área de muestreo (p. ej., el borde de un campo), colóquese de espaldas al área y lance un objeto con fuerza por encima del hombro. El lugar donde caiga el objeto será el centro del punto de muestreo.

##### **3.1.2. Muestreo complejo**

###### **A. Muestreo aleatorio**

En una imagen (p. ej., una imagen satelital) del área de muestreo (p. ej., un campo), coloque una cuadrícula numerada como las que se muestran a continuación, que podría representar el área de muestreo.

Genere números aleatorios utilizando un generador de números aleatorios como: [www.random.org](http://www.random.org) para obtener los números que identificarán el número de sitios requeridos.

###### **B. Muestreo aleatorio estratificado**

Divida el área en cuatro sectores iguales. Los diagramas que se muestran a continuación podrían representar un sector. A continuación, siga las instrucciones anteriores para el muestreo aleatorio a fin de generar uno o varios puntos en cada sector.

###### **C. Muestreo sistemático**

Sobre una imagen (por ejemplo, una imagen satelital) del área de muestreo (por ejemplo, un campo), coloque una cuadrícula numerada.

Dependiendo del número de puntos de muestreo requeridos, seleccione cada «enésimo» sitio para visitarlo.



Figura 13: estrategias para dividir un sitio o parte de un sitio con el fin de obtener muestras

### 3.2. Muestreo de campo y recopilación de datos

**3.2.1. Equipo:** barrena, cinta métrica, regla, paleta, medidor de pH del suelo, medidor de conductividad del suelo, carta de Munsell, cuadrado de muestreo (0,5 m x 0,5 m), guantes, bolsas plásticas con cierre hermético (tamaño A4), marcador permanente, cámara fotográfica, portapapeles, hoja de recopilación de datos (campo), etc.

Una vez en el lugar seleccionado, coloque el cuadrante centrado en el lugar. Si se utilizó un objeto para seleccionar el lugar, retírelo.

#### 3.2.2. Profundidad del suelo (cm):

En una esquina del cuadrado, utilice la barrena para registrar la profundidad del suelo.

Coloque la barrena hacia una esquina del cuadrado, ejerza presión hacia abajo y gírela hasta que la barrena ya no pueda penetrar más. Esto significa que la barrena ha llegado al lecho rocoso o a un obstáculo, como una piedra grande, una capa compactada u otro obstáculo dentro del perfil del suelo.

Si se trata del primer caso (lecho rocoso), extraiga la barrena girándola en sentido contrario y mida la profundidad; es posible que necesite utilizar una cinta métrica para hacerlo. Marque el punto del eje de la barrena en el que desaparece en la tierra, de modo que se pueda medir la profundidad a la que ha penetrado al retirarla.

Si se trata del segundo caso (un obstáculo), repita la medición en otras esquinas del cuadrante — como se indicó anteriormente —, calcule la profundidad media de todas las mediciones y anote la posible naturaleza del obstáculo.

Si es posible hundir completamente la barrena en el suelo, registre la longitud del vástago de la barrena e indique que la profundidad es mayor que esta añadiendo un «+» en la hoja de registro de datos.

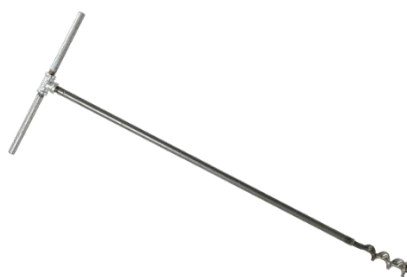


Figura 14 - Barrena para suelo

### 3.2.3. Muestra de suelo:

En cada punto de muestreo, utilice una paleta limpia para retirar los 2-5 cm superiores de 'material' — como hojarasca suelta, restos vegetales y materiales extraños evidentes — de aproximadamente un tercio del área dentro del cuadrado, antes de tomar la muestra.

Recoja al menos 0,5 kg del suelo expuesto en una bolsa de plástico hasta una profundidad de no más de 20 cm en cada punto de muestreo del sitio. Deseche cualquier partícula mayor que la grava fina y tanta materia vegetal como sea posible.

Si se recoge más de una muestra en el sitio, estas deben mezclarse para formar una sola muestra para el sitio.

Cada bolsa de muestra debe etiquetarse en el exterior y, cuando sea posible, con una segunda etiqueta colocada en el interior de la bolsa. La etiqueta debe incluir el código del sitio, el código del punto de muestreo, la fecha, la hora, los recolectores, la profundidad de muestreo y si la muestra es individual o compuesta. La misma información debe anotarse en la hoja de datos de campo.

### 3.2.4. pH del suelo (L): Hanna Groline HI981030

Las lecturas de pH tomadas en el campo deben considerarse orientativas, ya que se ven afectadas por la humedad del suelo, la temperatura, el contacto de la sonda y la cantidad y el tipo de agua añadida. Cuando sea necesario añadir agua, utilice agua desionizada si está disponible. Si no se dispone de agua desionizada en el campo, utilice el agua más limpia que haya disponible y anote la fuente de la misma.

**Preparación:** la sonda debe limpiarse y almacenarse utilizando una solución de limpieza y/o almacenamiento adecuada, **NO** agua destilada.

#### Calibración -

-**Presione** el botón **ON/OFF** hasta que aparezca «**CAL**» y luego «**pH 7.01**».

-**Coloque** la sonda en la solución tampón de pH 7.01 y **espere** hasta que la lectura se estabilice.

-**Presione inmediatamente** el botón **ON/OFF** para **guardar** la calibración; una vez guardada, aparecerá «**Sto**».

-Si no se sigue este procedimiento de inmediato, aparecerá la **opción** de calibrar a **pH 4,01**. Si es necesario, **coloque** la sonda en una solución buffer de **pH 4,01** y **espere** hasta que la lectura se estabilice; **presione** el botón **ON/OFF** para **guardar** la calibración y, una vez guardada, aparecerá «**Sto**» en la pantalla.

**Uso:** si el suelo expuesto es lo suficientemente blando, el pH se puede medir directamente en el terreno.

**Nota:** Si la punta de la sonda del medidor de pH es de vidrio y muy frágil, realice la prueba dentro de la bolsa de plástico que contiene la muestra de suelo. Esto debe hacerse en el terreno, para que la temperatura de la muestra no se vea afectada por su manipulación.



Figura 15 - Medidor de pH de suelos

Las mediciones deben realizarse en una muestra seca —si el suelo está muy seco o duro, desmenúzalo— y en una muestra húmeda —humedezca la muestra con una cantidad medida de agua desionizada o embotellada, NO agua destilada, antes de introducir la sonda en ella—.

Introduzca la punta de la sonda de pH al menos 5 cm en la muestra de suelo y espere hasta que la lectura se estabilice.

Además, registre la temperatura del suelo.

### 3.2.5. Conductividad del suelo ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (L): Hanna Groline HI98331

Los valores de conductividad eléctrica dependen en gran medida del método de medición. Las lecturas directas en el campo en muestras secas o húmedas (véase más arriba), las lecturas en pasta saturada y las lecturas de extractos líquidos de agua del suelo pueden arrojar valores diferentes. Se debe utilizar y registrar el mismo método o métodos con cada muestra cuya conductividad eléctrica se mida.

#### Calibración:

-**presione** el botón **ON/OFF** hasta que se muestren «**CAL**» y «**1.41 USE**».

-**coloque** la sonda en el **centro** de un vaso de precipitados que contenga **solución de calibración** (HI7031), bien alejada de los lados del vaso, y **espere** hasta que la lectura se estabilice.

-**espere** hasta que se muestre «**REC**» y luego «**Sto**».

#### Uso:

Si el suelo expuesto está lo suficientemente blando y húmedo, la conductividad se puede medir directamente en el terreno.

Sin embargo, si se está midiendo el pH en una bolsa de plástico, realice también allí la prueba de conductividad. Esto debe hacerse en el terreno, para que la temperatura de la muestra no se vea afectada por su manipulación.

Las lecturas deben tomarse en una **muestra seca** —si el suelo está muy seco o duro, desmenúcelo — y en una **muestra húmeda** — humedezca la muestra con agua **desionizada, NO destilada**, antes de colocar la sonda —

**Coloque** la punta de la sonda de conductividad al menos 5 cm dentro de la muestra de suelo y espere hasta que la lectura se estabilice.

Además, registre la **temperatura del suelo**.



*Figura 16 - Medidor de la conductividad de suelos*

### 3.2.6. Contenido de piedras (%):

**Evalúe** el suelo dentro del cuadrante para determinar el porcentaje de material presente que sea más grande que la grava (más de 1 cm de diámetro) y clasifíquelo según las categorías disponibles en la hoja de recopilación de datos.

### 3.2.7. Color del suelo (L):

**Utilice** la tabla de **Munsell** para identificar el color del suelo (y los códigos) tanto para una muestra seca (si es posible) como para una húmeda (mojada).

Es muy probable que los suelos de la zona de Huanta se clasifiquen en las categorías 5YR, 7.5YR o 10YR.

El color del suelo debe evaluarse con luz natural siempre que sea posible, evitando la luz solar directa intensa, la sombra profunda o la luz artificial. Anote si el color se midió utilizando una muestra seca o húmeda, ya que la humedad puede oscurecer el color aparente.

Tome una pequeña cantidad de suelo y elija una de las páginas de la tabla de colores que parezca más representativa del color de la muestra de suelo.

Coloque el suelo sobre la página blanca que sigue a la página de la tabla de colores, de modo que la muestra sea visible a través del círculo asociado al color que parezca más similar al de la muestra. Mueva la muestra entre los círculos hasta que pueda confirmar cuál es el que más se aproxima al color de la muestra. Anote el código (p. ej., 7.5YR 3/3) de ese círculo que se encuentra en la página opuesta de la Guía.

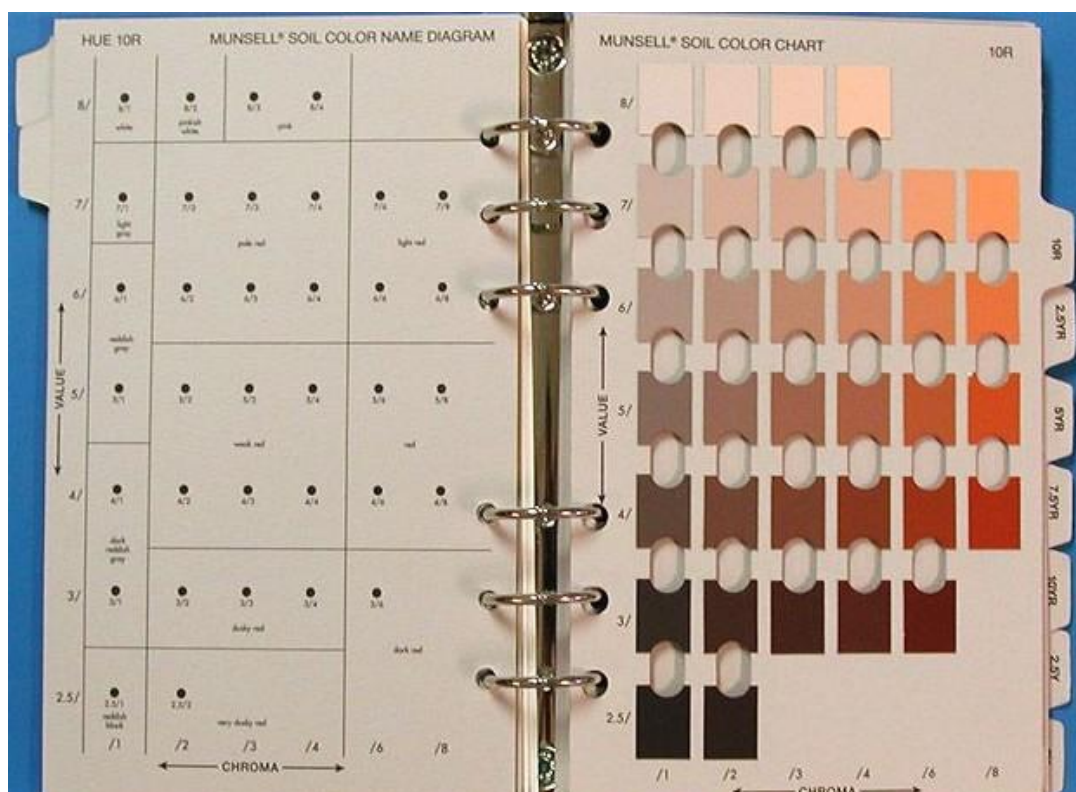


Figura 17 - la guía Munsell

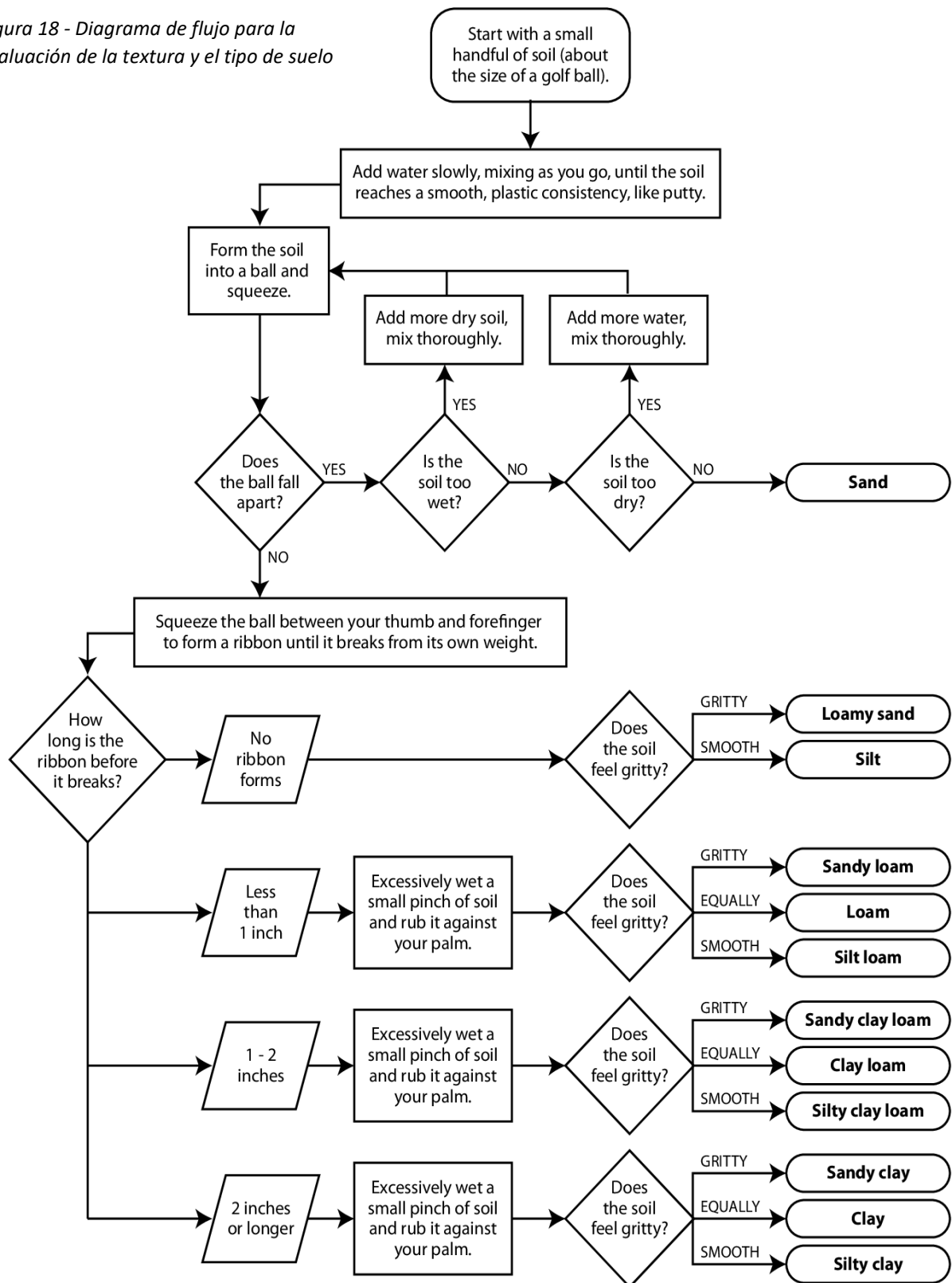
### 3.2.8. Textura/tipo del suelo (L):

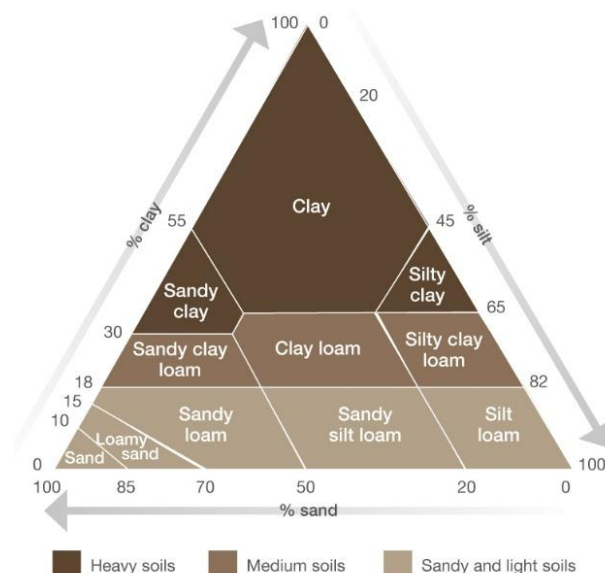
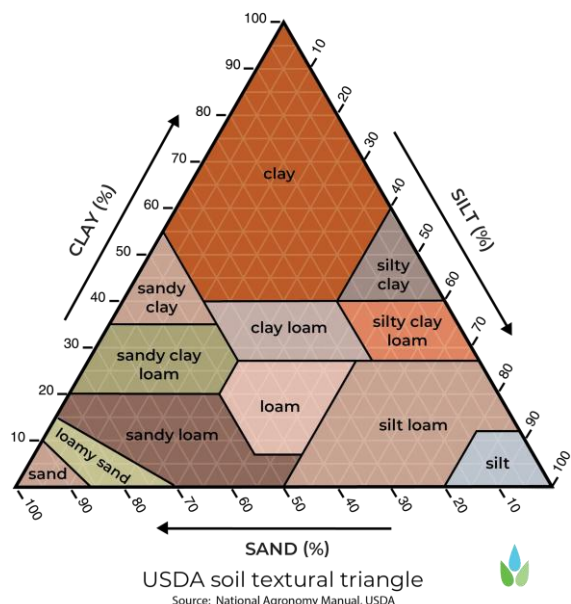
La evaluación manual es aproximada y debe utilizarse como método de clasificación rápida. Cuando se requieran datos precisos sobre el tamaño de las partículas, se debe realizar un análisis granulométrico en laboratorio.

Tome una pequeña cantidad de suelo húmedo y forme una bolita del tamaño aproximado de una cereza o una ciruela (etapas 1-3 en el diagrama a continuación). Luego, estire la bolita hasta formar una tira larga y delgada (cinta) o una salchicha y siga el diagrama de flujo (véase más abajo) para identificar la textura y el tipo de suelo.

Se puede utilizar un triángulo de identificación de suelos para determinar el porcentaje aproximado de arcilla, arena y limo en la muestra.

Figura 18 - Diagrama de flujo para la evaluación de la textura y el tipo de suelo





**Nota:** Los colores del gráfico no se corresponden con los colores reales del suelo.

Figura 19 - Triángulo de identificación de suelos (dos ejemplos)

### 3.2.9. Cobertura vegetal (%):

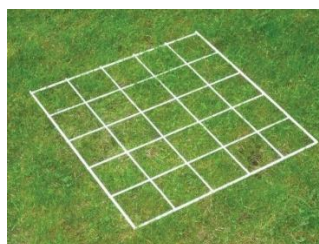
**Evalúe** la superficie dentro del cuadrante en función del porcentaje de cobertura vegetal, es decir, suelo desnudo/suelo expuesto frente a cobertura total (¿por ejemplo, pasto?), y realice una evaluación según las categorías disponibles en la hoja de recopilación de datos.

**Nota:** es mejor realizar esto en un área de vegetación «natural»; de lo contrario, es difícil determinar el impacto de las actividades humanas o los aportes al área que afectan el crecimiento de la vegetación. En los campos cultivados, la cobertura vegetal refleja el manejo reciente del suelo, la etapa del cultivo, el pastoreo y las perturbaciones, y no debe interpretarse como un indicador directo de la condición natural del suelo. En áreas naturales o seminaturales, la cobertura vegetal puede proporcionar información más útil sobre los niveles de humedad del suelo, la fertilidad, el riesgo de erosión y las perturbaciones.

**Coloque** el cuadrante de manera que el punto de muestreo seleccionado quede en el centro del mismo. Todos los datos deben registrarse desde dentro de este cuadrante. Cada pequeño cuadrado dentro del cuadrante representa el 4 % de la superficie total del cuadrante.

**Estima** la cobertura vegetal antes de retirar cualquier resto de vegetación, hojarasca o material extraño. Una vez registrado el cálculo, retire únicamente el material necesario para dejar al descubierto la zona de muestreo del suelo.

Figura 20 - Cuadrícula adecuada para evaluar la



### 3.2.10. Fotografías:

Se debe tomar una serie de fotografías que reflejen:

- el contexto paisajístico del sitio: una fotografía general de la ubicación.
- el acceso al sitio: una fotografía que muestre la carretera o el camino de acceso.
- toda la superficie del sitio (por ejemplo, un campo).
- los puntos de muestreo (es decir, las áreas más amplias de los cuadrantes).
- cualquier característica notable del sitio, como erosión, salinidad, canales de riego, estiércol, quemaduras, piedras, contaminación o cambios en la vegetación.

**L. (Laboratorio):** estas y otras pruebas deben repetirse en el laboratorio en condiciones controladas.

### 3.3. Procesamiento y análisis de muestras en laboratorio

Las mediciones de campo proporcionan valores indicativos rápidos y deben registrarse en el momento del muestreo. Sin embargo, los análisis de pH, conductividad eléctrica, color, textura y los ensayos químicos y de nutrientes deben repetirse, siempre que sea posible, en condiciones de laboratorio utilizando procedimientos de preparación estandarizados. Los resultados de laboratorio deben considerarse como los resultados analíticos principales, mientras que los resultados de campo deben utilizarse para la interpretación in situ, la verificación cruzada y la identificación de condiciones inusuales que requieran un estudio más detallado.

#### 3.3.1. Garantía de calidad y control de calidad

Se deben incluir muestras de control de calidad cuando los resultados se vayan a utilizar para informes científicos o decisiones de gestión. Como mínimo, se debe recoger una muestra duplicada de campo por cada 10 a 20 muestras, o al menos una duplicada por día de campo. Las duplicadas de campo deben recogerse utilizando el mismo método que la muestra original y etiquetarse con un «código ciego» diferente.

El equipo debe limpiarse entre cada muestra para reducir la contaminación cruzada.

Se recomienda recalibrar los medidores de pH y conductividad a diario, si es posible.

**3.3.2. Equipos y Materiales:** regla, medidor de pH del suelo, medidor de conductividad del suelo, carta de Munsell, guantes, balanza, mortero y maza (de ágata), placas de Petri (de vidrio, resistentes al calor), kits de análisis de suelo, cucharas, tamices, estufa de secado, recipientes de plástico (p.e.vasos de plástico), bolsas de plástico con cierre hermético (C5), hoja de registro de datos (laboratorio), etc.

#### 3.3.3. Preparación de la muestra:

La preparación en el laboratorio debe ajustarse al análisis previsto.

Para los análisis rutinarios de pH, conductividad eléctrica (CE), color del suelo, textura del suelo y kits de nutrientes, las muestras deben secarse al aire, desagregarse con cuidado y tamizarse para obtener la fracción de tierra fina.

Para los procedimientos geoquímicos o de análisis de elementos totales que requieran polvo fino homogeneizado, puede ser necesario pulverizar la muestra completa.

Para pulverizar las muestras, utilice un mortero y un mazo de ágata, una cuchara y un tamiz, de modo que toda la submuestra quede compuesta por material muy fino. Es preferible utilizar un mortero y un mazo de ágata que tengan una superficie impermeable para que no haya contaminación cruzada entre las muestras. Sin embargo, el mortero y el mazo deben limpiarse y secarse completamente entre cada muestra.

Utilice la balanza para preparar las submuestras según sea necesario.



*Figura 21 - Mortero y mazo de ágata*

#### 3.3.4. Secado de las muestras:

La temperatura de secado debe seleccionarse en función del análisis previsto. El secado al aire es adecuado para muchos análisis rutinarios de suelos. El secado en horno puede utilizarse cuando se requiera un secado rápido, pero deben registrarse la temperatura y la duración. Las muestras destinadas a análisis de materia orgánica, nitrógeno o biológicos no deben sobrecalentarse, a menos que el método lo requiera específicamente. Lo mejor es realizar varias «pruebas piloto» con una selección de muestras a diferentes tiempos y temperaturas para confirmar los parámetros más adecuados para secar las muestras.

Coloque 50 g de muestra pulverizada en una placa de Petri de vidrio resistente al calor. Retire cualquier material restante más grande que la arena y cualquier vegetación evidente.

Ejemplo: coloque en el horno a 80 °C durante una hora.

### 3.3.5. Análisis de muestras:

Consulte también las instrucciones de la sección «Muestras de campo y recopilación de datos».

**3.3.5.1. pH del suelo:** coloque una parte de la muestra **original** de suelo en un recipiente (por ejemplo, un vaso de plástico) para realizar la prueba. Si el suelo está muy seco o duro, desmenúcelo y humedézcalo ligeramente con agua destilada.

Las lecturas deben tomarse en una **muestra seca** — si el suelo está muy seco o duro, desmenúcelo — y en una **muestra húmeda** — humedezca la muestra con agua destilada antes de introducir la sonda.

**Introduzca** la punta de la sonda de pH al menos 5 cm en la muestra de suelo y espere hasta que la lectura se estabilice.

**3.3.5.2. Conductividad del suelo ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ):** coloque una parte de la muestra original de suelo en un recipiente (por ejemplo, un vaso de plástico) para realizar la prueba. Si el suelo está muy seco o duro, desmenúcelo y humedézcalo ligeramente con agua **desionizada, NO destilada**.

Las lecturas deben tomarse en una **muestra seca** — si el suelo está muy seco o duro, desmenúcelo — y en una **muestra húmeda** — humedezca la muestra con agua **desionizada, NO destilada**, antes de colocar la sonda.

Introduzca la sonda al menos 5 cm en la muestra de suelo y espere hasta que la lectura se estabilice. Además, registre la **temperatura del suelo**.

**3.3.5.3. Textura y tipo del suelo:** toma una pequeña cantidad de tierra húmeda y forma una bolita del tamaño aproximado de una cereza o una ciruela. A continuación, estira la bolita hasta formar una tira larga y delgada o una salchicha, y sigue el diagrama de flujo (véase más arriba) para identificar la textura y el tipo del suelo.

**3.3.5.4. Color del suelo:** utilice la guía de **Munsell** (véase más arriba) para identificar el color del suelo (y los códigos) tanto para una muestra seca (si es posible) como para una húmeda (mojada).

**3.3.5.5. Composición química:** utilice un kit de análisis de suelo para medir los niveles de nitratos, potasio y fósforo. Los kits comerciales de análisis de suelo proporcionan valores aproximados y resultan útiles para una evaluación rápida. Los resultados deben interpretarse únicamente como indicativos, a menos que se validen mediante métodos de laboratorio. Para la elaboración de informes oficiales, las concentraciones de nutrientes deben medirse mediante un método de laboratorio acreditado o normalizado, indicando claramente las unidades, el método de extracción y los límites de detección.

### 3.4. Análisis del suelo y agricultura

Los siguientes diagramas pueden servir de ayuda para determinar los cultivos más adecuados para los suelos de la zona de Huanta, así como algunos de los retos que pueden surgir.

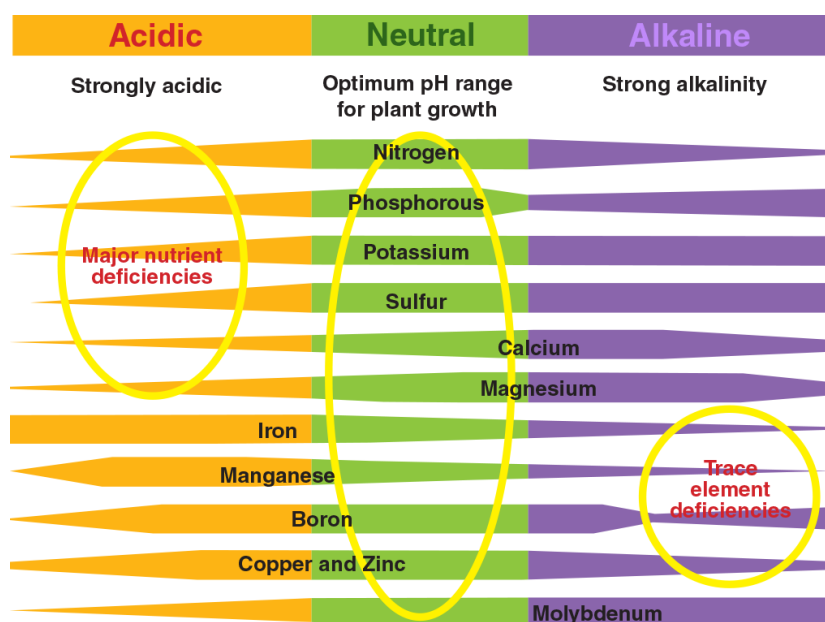


Figura 22 -- pH del suelo y disponibilidad de nutrientes Fuente: [www.bluedale.com.au](http://www.bluedale.com.au)

Figura 23 - Interpretación de los valores de pH y conductividad del suelo (abajo)

| pH de suelo |                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|
| 3.5 - 10.0  | La mayoría de suelos (Acídico - Alcalino)                       |
| 5.0 - 7.0   | Lugares con un nivel de precipitación más alta                  |
| 6.5 - 9.0   | Lugares más secas con poca precipitación                        |
| 5.5 - 7.0   | Muy buenas condiciones por el crecimiento de plantas / cosechas |

| Conductividad de suelo                                                                                                                            |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Arenas sueltas:</b> tienen una conductividad eléctrica típica de 0.01-1 mS/m (10-1000 µS/cms)                                                  |  |
| <b>Algunas arcillas:</b> tienen una conductividad eléctrica típica de 1 mS/m (1000 µS/cms)                                                        |  |
| <b>Por debajo de 400 µS/cm:</b> se consideran aguas con salinidad marginal o sin salinidad                                                        |  |
| <b>Por encima de 800 µS/cm:</b> se consideran muy salinas                                                                                         |  |
| <b>Crecimiento de las plantas:</b> suele ser óptimo entre 0,8 y 1,8 m/cm <sup>2</sup> (800-1800 µS/cm), y no debería superar los 2,5 (2500 µS/cm) |  |

Figura 24 - Interpretación de los valores de conductividad del suelo para cultivos específicos que se producen habitualmente en la zona de Huanta (arriba)

Figura 25 - Rango de conductividad eléctrica (CE) de la solución del suelo

| Cosecha  | Mejor rango de conductividad |
|----------|------------------------------|
| Tomato   | 1.5 - 3.0 mS/cm              |
| Fresa    | 0.8 - 1.2 mS/cm              |
| Lechuga  | 0.9 - 1.5 mS/cm              |
| Pimiento | 0.8 - 1.4 mS/cm              |
| Sandía   | 2.0 - 2.5 mS/cm              |

Los rangos de pH de los cultivos deben considerarse únicamente como una guía general. El rendimiento real de los cultivos también dependerá de la textura del suelo, la salinidad, el drenaje, la calidad del agua de riego, el estado de los nutrientes, la materia orgánica, el clima y el manejo. Siempre que sea posible, las recomendaciones para los cultivos deben basarse tanto en los resultados de los análisis de suelo como en la experiencia agronómica local.

Figura 26: valores de pH del suelo más adecuados para el cultivo de determinados cultivos

| Cosecha       | pH        |  | Cosecha          | pH        |
|---------------|-----------|--|------------------|-----------|
| <b>Frutas</b> |           |  | <b>Vegetales</b> |           |
| Limon         | 6.0 - 7.0 |  | Alcachofa        | 6.5 - 7.5 |
| Melon         | 5.5 - 6.5 |  | Cebada           | 6.0 - 7.0 |
| Naranja       | 5.0 - 7.0 |  | Lechuga          | 6.0 - 7.0 |
| Pomegrante    | 5.5 - 6.5 |  | Maiz             | 6.0 - 7.5 |
| Fresa         | 5.0 - 7.5 |  | Cebolla          | 6.0 - 7.0 |
| Tomato        | 5.5 - 6.5 |  | Pimiento         | 6.0 - 7.0 |
| Nuez          | 6.0 - 8.0 |  | Trigo            | 6.0 - 7.0 |
| Sandía        | 5.5 - 6.5 |  |                  |           |