

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS KARST EN ROCAS  
CARBONATADAS DEL CASERÍO MACHAYPUNGO – BAMBAMARCA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

**Presentado por:**

BACH. KELVIN LEODÁN FERNÁNDEZ CRUZADO

**Asesor:**

DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

**Cajamarca - Perú**

**-2021-**

## **AGRADECIMIENTO**

A todos los docentes de la EAPIG. de la Universidad Nacional de Cajamarca, por su valioso aporte en mi formación profesional. A mis padres y hermanos; por su invaluable apoyo constante al educarme, guiarme, entenderme y confiar en mí. A todos mis amigos y compañeros que de una u otra manera contribuyeron en el desarrollo de esta Tesis.

## **DEDICATORIA**

A mis maestros:

Alcides Fernández G. y Lupe Cruzado M. mis padres por guiarme sabiamente por el camino del bien.

Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani, mi maestro de profesión por guiarme en el sendero de la geología y la elaboración de la presente tesis.

## CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	3
2.1.1. Antecedentes nacionales e internacionales .....	3
2.1.2. Antecedentes locales .....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	3
2.2.1. Karst.....	4
2.2.2. La formación de karst.....	5
2.2.3. La evolución del karst.....	14
2.2.4. Factores condicionantes.....	20
2.2.5. Manifestaciones exokársticas.....	22
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	29
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.1.1. Geográfica.....	30
3.1.2. Política.....	30
3.1.3. Accesibilidad.....	30
3.1.4. Clima .....	31
3.1.5. Hidrología e hidrogeología .....	32

	Pág.
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	32
3.2.1. Metodología.....	33
3.2.2. Identificación de variables .....	33
3.2.3. Técnicas.....	34
3.2.4. Instrumentos y equipos. ....	34
3.3. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	35
3.3.1. Geomorfología.....	35
3.3.2. Geología local.....	38
3.3.3. Geología estructural .....	42
3.4 TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
3.4.1 Manifestaciones exokársticas cerradas.....	45
3.4.2. manifestaciones exokársticas abiertas.....	51
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	60
4.1. RESULTADOS DE LAS MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS. ....	60
4.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	61
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	67
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
5.1 CONCLUSIONES.....	68
5.2 RECOMENDACIONES .....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Evolución superficial de un sistema Kárstico.....	16
Tabla 2. Evolución subterránea de un sistema kárstico. ....	19
Tabla 3. Inventario de Lapiaz cartografiados en el área de investigación. ....	47
Tabla 4. Inventario de Dolinas cartografiadas en el área de investigación.....	50
Tabla 5. Inventario de sumideros cartografiadas en el área de investigación.....	52
Tabla 6. Inventario de simas cartografiadas en el área de investigación. ....	54
Tabla 7. Inventario de simas cartografiadas en el área de investigación. ....	56
Tabla 8. Inventario de Surgencias cartografiadas en el área de investigación. ....	58
Tabla 9. Cantidad numérica de las unidades morfokársticas.....	60
Tabla 10. Cantidad porcentual de las unidades morfokársticas.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Paisaje kárstico, modelo de formación de un karst.....	4
Figura 2. Curva de equilibrio de la calcita en agua pura .....	6
Figura 3. Relación entre la solubilidad de $\text{CO}_3\text{Ca}$ y el pH. ....	9
Figura 4. Solubilidad del $\text{CO}_3\text{Ca}$ en función de la presión de $\text{CO}_2$ .....	12
Figura 5. Tres fases del ciclo subterráneo.. .....	18
Figura 6. Evolución de la dolina desde la fisura.....	23
Figura 7. Líneas de evolución de las dolinas (Llopis, 1952).....	24
Figura 8. Mapa geológico y perfil de un valle ciego (Llopis, 1952). ....	26
Figura 9. Tipos Genéticos de simas (Geze, 1974). ....	27
Figura 10. Depósito carbonaticos endokársticos (Selby, 1985). ....	28
Figura 11. Grafica de precipitaciones (Est. Puente Maygasbamba - 221110) .....	31
Figura 12. Clasificación de índices climáticos SENAMHI .....	31
Figura 13. Datos de las familias de estructuras predominantes. ....	44
Figura 14. Dolinas (Do) alineadas en dirección NO-SE. ....	49
Figura 15. Porcentajes de lapiaz. ....	62
Figura 16. Porcentaje de dolinas en cada formación geológica.....	62
Figura 17. Porcentajes de sumideros en cada formación geológica. ....	63
Figura 18. Porcentajes de las simas en cada formación geológica. ....	63
Figura 19. Porcentaje de las cavernas en cada formación geológica.....	64
Figura 20. Porcentaje de los manantiales en cada formación geológica.....	64
Figura 21. Porcentaje de la exurgencia en cada formación geológica. ....	65
Figura 22. Representación porcentual de las unidades morfokársticas dentro de cada formación geológica. ....	66

## ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Paisaje donde se observa los surcos de lapiaz sobre la Fm. Cajamarca en Machaypungo Alto. Longitud: 769618 / Latitud: 9263291. ....	22
Foto 2. Instrumentos utilizados para la recolección de datos en campo. ....	35
Foto 3. Planicie de 5° de pendiente, la topografía del terreno está representada por el buzamiento de los estratos de la Fm. Cajamarca .....	36
Foto 4. Lomada de 18° de pendiente, la topografía está representada por los planos de estratificación de la Fm. Cajamarca .....	36
Foto 5. Ladera con 45° de pendiente. Topografía generada por Falla normal, sobre la Fm. Mujarrun Grp. Quilquiñán .....	37
Foto 6. Escarpa con pendiente de 85 °. Sobre la Fm. Cajamarca, en dichas escarpas se presenta caída de rocas.....	37
Foto 7. Contacto entre la Fm. Cajamarca y La parte superior de la Fm. Mujarrun Grp. Quilquiñán de calizas nodulares amarillentas.....	39
Foto 8. Parte inferior de la Fm. Mujarrun Grp. Quilquiñán el cual presenta intercalaciones de margas amarillentas, lutitas y calizas con abundantes fósiles..	39
Foto 9. Fm. Cajamarca, presenta bancos gruesos de calizas, con una topografía inaccesible, ubicado en la margen izquierda de la quebrada Machaypungo. ....	40
Foto 10. Fm. Celendín, intercalación de calizas y lutitas con Azimut: N 310° y Buzamiento: 72°. ....	41
Foto 11. Diaclasas y planos de estratificación sobre la Fm. Cajamarca. Ubicado en la margen Izquierda carretera Machaypungo Bajo – Machaypungo Alto. ....	42
Foto 12. Falla normal local F1 con dirección NO-SE y diaclasas con dirección SO-NE. Longitud: 770127 / Latitud: 9263372. Con vista al Noreste.....	43
Foto 13. Estructuras del macizo rocos, Planos de estratificación con dirección NO-SE, diaclasas y falla con dirección SO-NE.....	43
Foto 14. Paisaje kárstico con lapiaz muy desarrollados, con surcos de hasta 5 cm de ancho, ubicado sobre la Formación Cajamarca .....	46
Foto 15. Paisaje con pendiente menor a 8° mostrando lapiaz con surcos que van desde 1 cm a 5 cm de espesor; sobre la Formación Cajamarca .....	46
Foto 17. Depresión ovalada de terreno con dimensiones: D: 7m. / d: 4m. Sobre la Fm. Celendín a un costado de la carretera Machaypungo – La Unión.....	48



Foto 18. Sumidero con dimensiones de 25 cm x 30 cm. absorbe el total de escorrentías que se da en tiempo de lluvias. Ubicado entre Machaypungo Bajo ...	52
Foto 19. Sima en el cual existe infiltración lenta del agua de escorrentías en la quebrada Machaypungo en las épocas de lluvia. ....	53
Foto 20. Formación de Caverna siguiendo el buzamiento de la estratificación de la Fm. Cajamarca. Con 1.20 m de alto y 1.5 m de ancho. ....	55
Foto 21. Interior de la caverna 3 con alto de hasta 2m y profundidad máxima accesible de 15 m. ....	55
Foto 22. Surgencia de agua de manera permanente, pero con variación de caudal según época del año, el cual ha sido captada en posa artificial. ....	57
Foto 23. Surgencia Captada para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771600 / Latitud: 9262449.....	57
Foto 24. Exurgencia denominada los 3 chorros de agua proveniente de aparato kárstico de Machaypungo, con caudal permanente y pequeñas variaciones durante el año, captada por SEDABAM para abastecer de agua potable a la ciudad de Bambamarca. ....	59

## **ABREVIATURAS USADAS EN LA TESIS**

**atm.** Unidad de presión denominada atmósfera.

**Ca.** Caverna.

**D.** Diámetro mayor.

**d.** Diámetro menor.

**Do.** Dolina

**Exur.** Exurgencia

**Fm.** Formación (Usado para referirse a formación geológica)

**La.** Lapiaz

**Ma.** Unidad de tiempo equivalente a un millón de años.

**m s.n.m.** Metros sobre el nivel del mar

**NE.** Noreste

**NO.** Noroeste

**pCO<sub>2</sub>.** Presión del Dióxido de carbono

**SE.** Sureste

**SO.** Suroeste

**Si.** Sima

**Sum.** Sumidero

**Sur.** Surgencia

## RESUMEN

En el caserío de Machaypungo, se presencia la existencia de karstificación, manifestándose las unidades kársticas en formas abiertas y cerradas, de los cuales se desconoce la caracterización geológica y morfológica; por lo cual en la siguiente investigación se tiene como objetivos la caracterización morfológica de los karst en rocas carbonatadas, la generación de un mapa de estructuras kársticas y la elaboración de un inventario. Esta investigación se inicia con la recopilación de información, mapas e imágenes satelitales y un análisis de los mismos; luego se procede con la recopilación de datos en campo con fichas técnicas y finalmente se ordena, procesa y analiza la información obtenida. Como resultado se tiene que en la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán se encuentra el 8% de dolinas, el 16.70% de simas y el 37.50% de surgencias; en la Formación Cajamarca se ubica el 80% de los lapiaz, 12% de las dolinas, 66.70% de sumideros, 33.30% de simas, el 100% de las cavernas, 16.70% de surgencias y la única exurgencia que se ha encontrado; En la Formación Celendín se ha identificado el 20% de lapiaz, 80% de dolinas, 33.30% de sumideros, 50% de simas y el 45.80% de surgencias. En conclusión, las rocas carbonatadas presentes en el área han sufrido karstificación debido a sus condiciones favorables como el tipo de roca (Calizas puras), las estructuras geológicas adecuadas (Estratificación, Fallas y diaclasas), el clima adecuado (Lluvioso, frío y húmedo) y el tiempo suficiente de exposición en la superficie; estas manifestaciones kársticas presentan un alineamiento de NO-SE.

**Palabras claves:** Karst, estructura kárstica, lapiaz, dolina, caverna, sima, sumideros, surgencias, exurgencia.

## ABSTRACT

In the hamlet of Machaypungo, the existence of karstification is witnessed, the karst units manifesting in open and closed forms, of which the geological and morphological characterization is unknown; For this reason, the following research aims at the morphological characterization of the karst in carbonate rocks, the generation of a map of karst structures and the elaboration of an inventory. This investigation begins with the compilation of information, maps and satellite images and an analysis of them; then we proceed with the collection of data in the field with technical sheets and finally the information obtained is ordered, processed and analyzed. As a result, the Mujarrun Formation and Quilquiñán Group has 8% sinkholes, 16.70% potholes and 37.50% upwellings; 80% of the lapiaz, 12% of sinkholes, 66.70% of sinkholes, 33.30% of potholes, 100% of caverns, 16.70% of upwellings and the only exurgency that has been found are located in the Cajamarca Formation; In the Celendín Formation, 20% of lapiaz, 80% of sinkholes, 33.30% of sinkholes, 50% of potholes and 45.80% of upwellings have been identified. In conclusion, the carbonate rocks present in the area have suffered karstification due to their favorable conditions such as the type of rock (Pure limestones), the appropriate geological structures (Stratification, Faults and joints), the appropriate climate (Rainy, cold and humid). and sufficient time of exposure on the surface; these karst manifestations present a NW-SE alignment.

**Key Words:** Karst, karst structure, lapiaz, sinkhole, cavern, chasm, sinks, upwellings, exurgency.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En el caserío de Machaypungo - Bambamarca, se presencia la existencia de karstificación, debido a la acción de los factores litológicos, climáticos y estructurales, generando una alteración física y química de las rocas carbonatadas (caliza). Manifestándose en formas exokársticas, de los cuales se desconoce la caracterización geológica y morfológica; existiendo ausencia de un inventario de la morfología kárstica y una descripción litológica y estructural de los mismos; los cuales están aflorando en rocas de la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán, Formación Cajamarca y Formación Celendín. Por lo cual se realizará un inventario de los karst ayudándose de la estadística y además se caracterizará la morfología kárstica en dicha área. Al finalizar este trabajo de investigación tendremos respuestas a las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son las características geológicas - morfológicas de los karst en el caserío de Machaypungo – Bambamarca? ¿Cuáles son las manifestaciones exokársticas?

El trabajo de investigación se elabora con la finalidad de aportar con un inventario de la morfología kárstica, y la caracterización de dichos karst; ya que existe la ausencia de esta información. Al desarrollar el proyecto se determinará los factores litológicos, estructurales, climáticos y temporales que intervinieron en los procesos de karstificación dando un alcance descriptivo. También se realizará el inventario de las zonas kársticas.

Las limitaciones que se obtuvieron en el desarrollo del proyecto son la obtención de equipos que se utilizaron y las licencias de softwares. Este trabajo tiene como objetivo general Caracterizar morfológicamente los karst en rocas

carbonatadas en el caserío de Machaypungo – Bambamarca. Y como objetivos específicos elaborar un inventario de las estructuras kársticas, describir geológicamente los karst y generar un plano de la morfología kárstica.

Las variables estructurales, litología y precipitación pluvial, junto con la erosión química, producen en rocas carbonatadas los procesos de karstificación, los cuales dan como resultado manifestaciones exokársticas, dentro de las cuales tenemos formas cerradas como: lapiares, dolinas, valles ciegos; y formas abiertas como: sumideros, simas, cavernas, surgencias y Exurgencias. Estas formas kársticas son características del caserío de Machaypungo - Bambamarca, que corresponden a rocas carbonatadas del Cretácico superior.

La investigación consta de cinco capítulos en el cual el primer capítulo se dará una introducción al desarrollo de la tesis. En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico en el cual se considera los antecedentes de la investigación tanto internacionales como nacionales; además se detalla las bases teóricas sobre procesos y morfología kárstica que fueron necesarias para la elaboración del proyecto y finalmente se definirán los términos básicos en la investigación. En el tercer capítulo que corresponde a materiales y métodos; se describe la ubicación geográfica y política, la accesibilidad, el clima, la hidrología e hidrogeología; el procedimiento y metodología del estudio, así como también la definición de variables y los instrumentos y equipos a utilizar, además se describe el contexto geológico y por último el tratamiento y presentación de resultados. En el cuarto capítulo se desarrollará el análisis y discusión de resultados. En el último capítulo que viene a ser el quinto se desarrolla las conclusiones y recomendaciones que estarán referidos de acuerdo a los objetivos inicialmente propuestos, se detallará las conclusiones y se darán algunas recomendaciones necesarias para seguir ampliando los conocimientos sobre el tema de investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES**

Baby P. (2018) Control tectónico de los sistemas kársticos de Chachapoyas y Alto Mayo (Nor Perú). En este trabajo presenta secciones estructurales regionales ilustrando las relaciones que existen entre los karst y las estructuras geológicas. Concluyendo que el levantamiento tectónico del anticlinal del Cerro Blanco y sus redes kársticas tropicales, está asociado a fallas activa de la región. Los espeleotemas encontrados en las cuevas exploradas han registrado paleo-seísmos desde por lo menos 30000 años.

Moreno, Núñez, Dueñas (2016), Evaluación geológica e hidrogeológica del sector aguas claras. Describe peligros geológicos asociados a ambientes cársticos en el sector de Aguas Claras – Rioja – San Martin.

Uasapud (2021), Evaluación del sistema kárstico y el potencial de patrimonio geológico de los sectores Las Confusas y Agualinda, San Luis – Antioquia. Realiza la caracterización geomorfológica, la identificación geológica y el reconocimiento espeleológico del sistema kárstico. Los resultados obtenidos muestran que en Las Confusas se cuenta con un karst bien desarrollado, y en su área central resaltan las depresiones kársticas y otras geoformas como los valles kársticos.

##### **2.1.2. ANTECEDENTES LOCALES**

Marín (2014), Caracterización de karstificación en rocas carbonatadas en las localidades de Cruzpampa y el Tingo Cajamarca 2013. Realiza el cartografiado de las zonas kársticas y determina las evidencias, que en su mayoría están presentes en la Formación Cajamarca.

Pino (2019), Prediction of flow in a karstic aquifer, case Yumagual, Cajamarca, Peru. El estudio establece el modelo hidrogeológico conceptual y define las unidades hidrogeológicas, las zonas de recarga, las zonas de descarga y la dirección del flujo, del sistema kárstico.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. KARST

Término definido por primera vez en la antigua Yugoslavia, donde se estudió el fenómeno. En la actualidad es aceptado internacionalmente y se emplea para designar procesos similares estudiados alrededor del mundo.

La palabra Karst es un término aplicado a zonas calcáreas o dolomíticas, con una topografía propia y peculiar, que es el resultado de la disolución del carbonato de calcio y de la desviación de aguas superficiales hacia cauce subterráneo, donde el agua es el sujeto activo y la roca el soporte pasivo de su acción (Mangin, 1982).

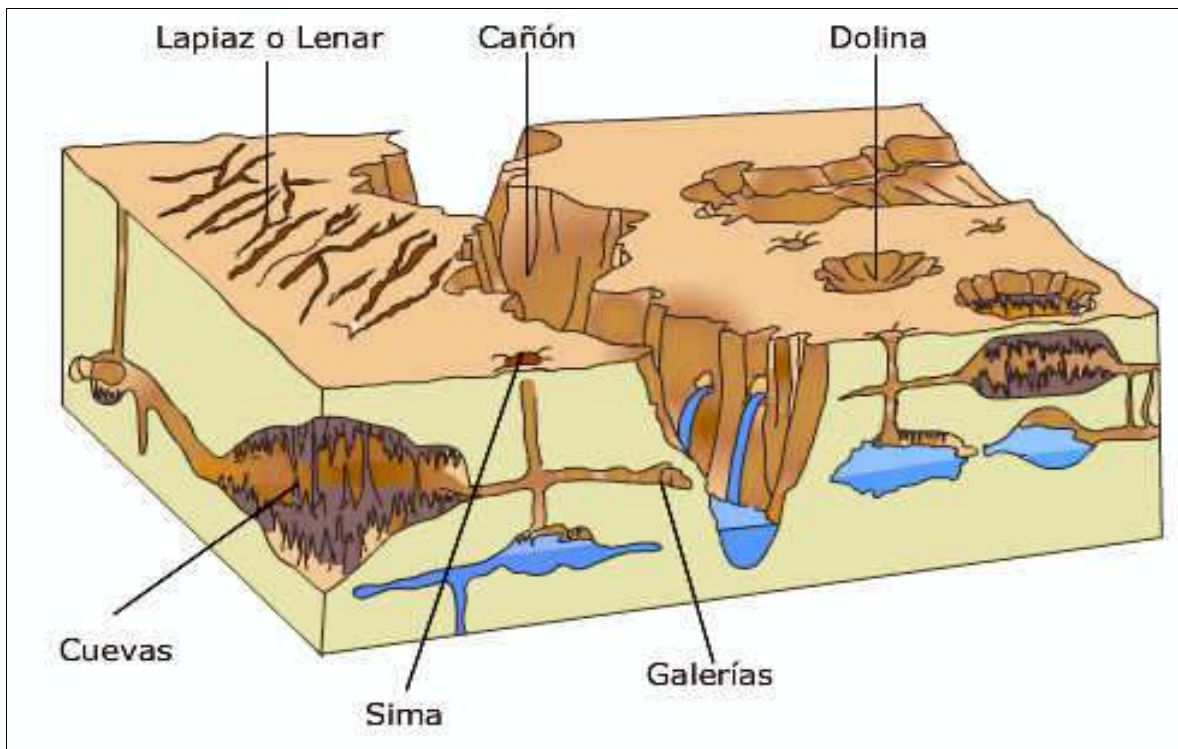


Figura 1. Paisaje kárstico, modelo de formación de un karst, durante decenas de miles de años (Llopis, 1952).



La karstificación reside en establecer una red de drenaje subterráneo que a la vez ocasione la desaparición más o menos completa del drenaje superficial. En rocas carbonatadas, se necesita que el estado inicial de la roca sea favorable a la infiltración y que además exista un gradiente hidráulico. Aquí interviene la litología de los materiales y su grado de fracturación. El aspecto principal aparece una vez que una parte de las aguas infiltradas logran crear caminos preferenciales para conducir la infiltración, lo que es condicionado a su vez por las diferencias de potencial (hidráulico) entre las distintas partes del karst. Y está en relación a sí mismo con la topografía (Galán, 1991).

### **2.2.2. LA FORMACIÓN DE KARST**

Han sido propuestas diversas hipótesis para explicar la formación del karst en calizas.

Howard (1964), hace jugar un papel esencial a la producción de CO<sub>2</sub> en el interior del acuífero, por oxidación de materia orgánica introducida en profundidad. Este CO<sub>2</sub> provocaría una subsaturación y, en consecuencia, el reinicio de la disolución. Los datos en la que se apoya la teoría anterior son muy pocos, y pueden ser explicados también por la heterogeneidad existente en la repartición del CO<sub>2</sub> en el suelo y zona de infiltración (Bakalowicz, 1982).

La teoría de la corrosión por mezcla de aguas de Bogli (1964) es la más difundida de todas. Se apoya en el hecho de que la relación entre la concentración del ion calcio (Ca<sup>2+</sup>) y la presión parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>), en el equilibrio, es una función curvilínea; a consecuencia de esto, la mezcla de dos aguas en equilibrio con pCO<sub>2</sub> diferentes, es obligatoriamente subsaturada y por consecuencia agresiva; (ver Figura 2). Según Bogli (1964) estas mezclas son posibles en la zona inundada, ya que el agua de infiltración proviene de lugares diferentes. El déficit de saturación así creados generarían un reinicio de la disolución en profundidad.

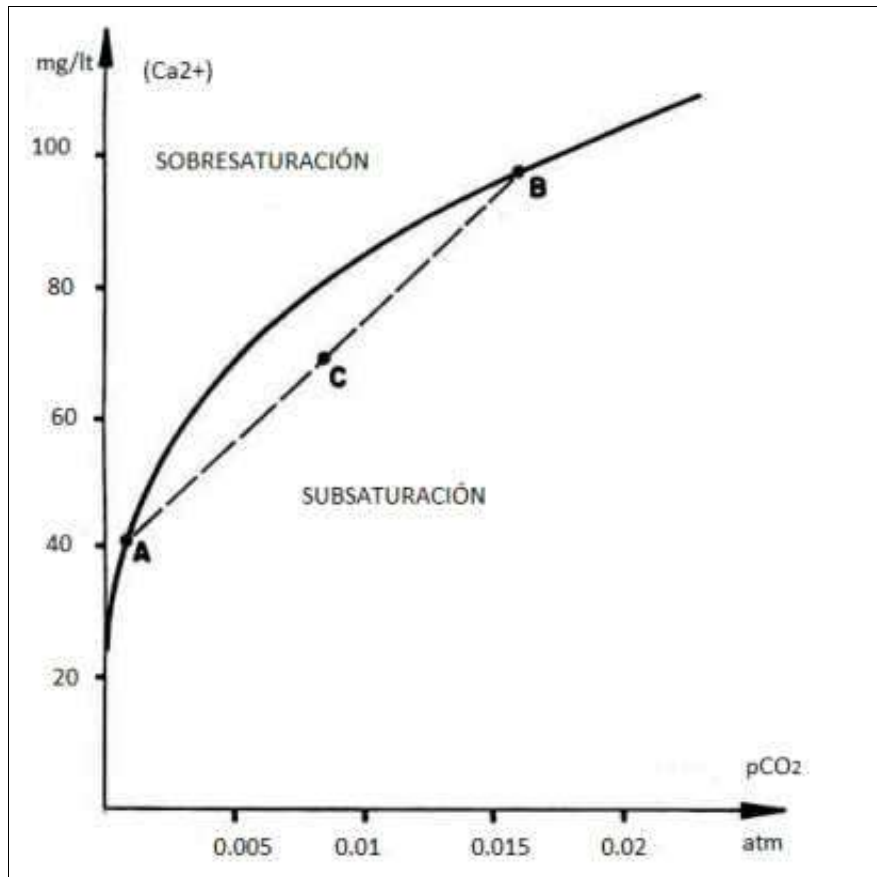


Figura 2. Curva de equilibrio de la calcita en agua pura con temperatura de 10 °C y recta de mezcla de aguas. A y B = dos aguas en equilibrio, pero con presión ( $pCO_2$ ) diferente. C=mezcla subsaturada (Bakalowicz, 1986)

Las investigaciones de Wigley y Plummer (1976), muestran que esta realidad no es tan simple como la define Bogli y que la mezcla de aguas no es obligatoriamente subsaturada. Miserez (1973), realiza una demostración experimental en el mismo sentido. En consecuencia, si las concentraciones de  $CO_2$  no son muy diferentes, la mezcla que se produce es una porción lineal de la curva de equilibrio, y por tanto no puede ser agresiva.

Del mismo modo, aunque el problema de la materia orgánica y su oxidación es aun insuficientemente conocido, parece ser que lo esencial de esta introducción en el karst ocurre bajo la forma de compuestos húmicos hidrosolubles, poco susceptibles de ser oxidados y por tanto de aportar  $CO_2$ .

Pero el problema de fondo en todos estos modelos, radica en que sus autores no consideran al karst como un acuífero, reduciendo todas sus investigaciones a un problema químico en condiciones de laboratorio. El postulado de base admite que el agua adquiere la totalidad de su quimismo en la proximidad de la

superficie. La karstificación ha sido entonces relacionada con la cinética química, ignorando o desestimando la heterogeneidad real del karst y su comportamiento físico. Las observaciones y datos de campo han demostrado que la karstificación es comandada esencialmente por la circulación del agua (Bakalowicz, 1986).

Le debemos a Mangin (1975) el primer modelo coherente de la génesis, estructura y funcionamiento del acuífero kárstico, y que se complementa con las observaciones geoquímicas de Bakalowicz (1975, 1979).

Estos autores dicen que en el acuífero kárstico existen dos modos de infiltración: una infiltración rápida, que puede llegar a la zona inundada en pocas horas, siguiendo algunas discontinuidades mayores; y una infiltración lenta, realizada en forma difásica (mezcla de agua y aire) a través de la figuración de conjunto e incluso de la porosidad de la roca. En la parte inundada del karst existe a su vez una red de drenaje, asiento de circulaciones rápidas, y una serie de sistemas anexos o reservas anexas al drenaje, que permiten el almacenamiento.

a. **El agua de infiltración lenta**, que puede recorrer los 10 o 15 primeros metros en varios días, es responsable de la disolución en la zona superficial. El agua importa el  $\text{CO}_2$  del suelo a toda la zona de infiltración y que constituye por tanto un reservorio de  $\text{CO}_2$ . Si esta agua permanece cierto tiempo almacenada en la zona epikárstica, es sometida a procesos biológicos que la puede enriquecer considerablemente en  $\text{CO}_2$  y empobrecer en  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{K}^+$ , y puede también sufrir una reconcentración en  $\text{Cl}$  por evapotranspiración; estas variaciones son estacionales. Además, esta agua, está sometida permanentemente a intercambios de  $\text{CO}_2$  con la fase gaseosa asociada, de esta forma existe una relación entre su tasa de sobresaturación en carbonatos y su  $\text{pCO}_2$  equilibrante. Si existen amplios vacíos o grutas abiertos al exterior, el  $\text{CO}_2$ , contenido en las fisuras de la roca y asociado al agua de infiltración, difunde lentamente hacia las grutas a  $\text{pCO}_2$  mucho más débil. De esta manera, el conjunto de la zona de infiltración es un reservorio de  $\text{CO}_2$  y contribuye a proporcionar al agua el  $\text{CO}_2$  necesario para la disolución de los carbonatos.

Esto hecho invalidan la suposición de que el CO<sub>2</sub> proviene solamente del horizonte pedológico, como habitualmente se ha sido dicho.

b. **El agua de infiltración rápida** se pone en equilibrio con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera subterránea; ella comienza a disolver el carbonato de la roca encajante, pero permanece subsaturada, hasta alcanzar la zona inundada. A este nivel, el agua dispone de un poder de disolución inversamente proporcional a su tiempo de estadía en la zona de infiltración. Por consiguiente, la infiltración rápida desplaza a profundidad las condiciones de disolución de superficie que posee la infiltración lenta (Bakalowicz, 1982).

Este hecho, es de fundamental importancia para poder comprender la génesis del endokarst y sobretodo la karstificación. Puede entenderse también que en la evolución del sistema la infiltración rápida experimenta un desarrollo progresivo, acompañando el establecimiento de una red de drenaje subterráneo progresivamente más extenso; es decir, la infiltración rápida acelera el movimiento del agua de circulación lenta contenida en la red de fisuras y amplía la karstificación a volúmenes progresivamente más grandes de roca.

Para cumplir estas condiciones es necesario que el estado inicial de la roca sea favorable a esta infiltración rápida. Es aquí donde interviene la fracturación, y las discontinuidades; pero el aspecto principal aparece una vez que una parte de las aguas de infiltración logran crear caminos preferenciales que conducen la infiltración rápida.

#### **2.2.2.1. LA DISOLUCIÓN DE LOS CARBONATOS**

El carbonato cálcico (CO<sub>3</sub>Ca) y la dolomita (MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) son prácticamente insolubles en el agua pura; a temperatura ambiente la solubilidad del carbonato de calcio oscila entre 10 y 15 mg/l. Sin embargo, algunos compuestos presentes en el agua alteran notablemente estos valores.

En la figura podemos ver que la solubilidad del carbonato cálcico está directamente relacionada con el pH del agua; los valores bajos (ácidos) favorecen la disolución; en tanto que con pH básico la solubilidad es muy baja.

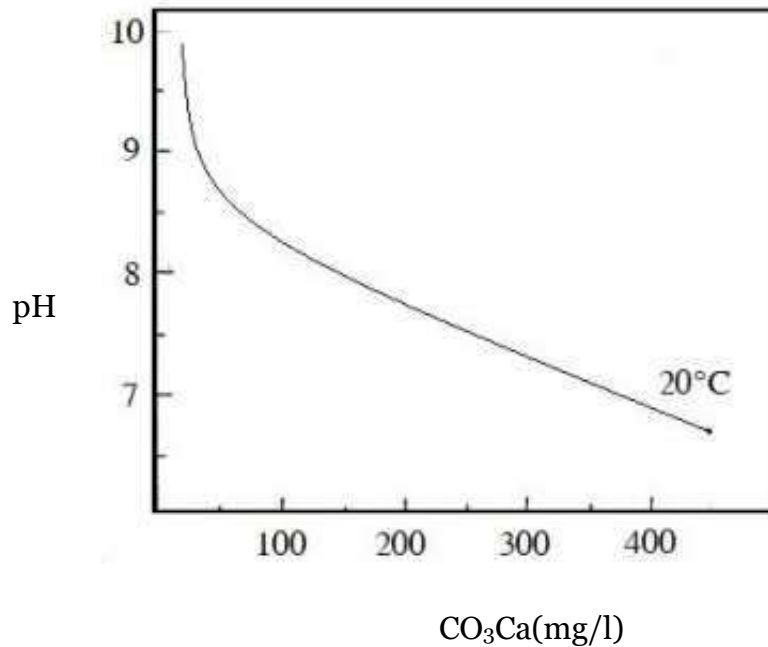
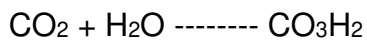


Figura 3. Relación entre la solubilidad de CO<sub>3</sub>Ca y el pH. Fuente: Federación Española de Espeleología, 1995.

### 2.2.2.2. LA FUNCIÓN DEL CO<sub>2</sub> EN LA KARSTIFICACIÓN

En la naturaleza el compuesto que condiciona principalmente la disolución es el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>); que disuelto en agua reacciona dando ácido carbónico según la reacción.



Este ácido es el que produce la disolución de la calcita según veremos a continuación.

El anhídrido carbónico presente en el agua procede del aire, desde donde pasa fácilmente. La cantidad disuelta depende de dos factores: su concentración en la atmosfera y la temperatura

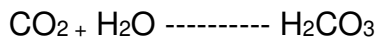
Cuanto mayor sea la cantidad de CO<sub>2</sub> en el aire más cantidad pasará al agua; en la atmosfera el contenido normal de CO<sub>2</sub> es del 0.033%, no obstante, la

descomposición de la materia orgánica desprende grandes cantidades de este gas. Así en las proximidades del suelo vegetal pueden alcanzar valores de hasta el 1%, y el contenido del CO<sub>2</sub> del agua puede llegar a ser por consiguiente muy elevado.

Por el contrario, a mayor temperatura el agua puede contener cantidades menores de gas, se explica así la gran agresividad del agua en los karst nivales o de alta montaña, donde las aguas más frías alcanzan solubilidad de 70mg/l de CO<sub>3</sub>Ca. Además, en climas fríos, la escorrentía superficial es mayor que en los cálidos a igual que precipitación.

El ácido carbónico formado a partir del CO<sub>2</sub> es el que produce la disolución del carbonato cálcico según la siguiente cadena de reacciones:

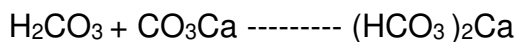
- El anhídrido carbónico al entrar en contacto con el agua reacciona formando el ácido carbónico



- El H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> es muy inestable y la mayor parte se disocia de acuerdo con la reacción



- Entonces cuando el H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> entra en contacto con el CO<sub>3</sub>Ca, este por ser inestable pierde un catión hidrogeno H<sup>+</sup>, este catión se asocia al carbonato de calcio disociándolo en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + Ca de la siguiente manera



Dicho producto es muy soluble en agua y se disocia de la malla cristalina un ion hidrocarbonato y un ión calcio, disolviéndose así el carbonato cálcico de las rocas calizas.

### **2.2.2.3. EL FENÓMENO DE DISOLUCIÓN**

De acuerdo con Llapas (1974), El fenómeno kárstico es el resultado de la dinámica del sistema agua-caliza. La circulación del agua por la masa caliza a

través de las fisuras es la causa de toda la compleja fenomenología kárstica, que en su esencia se reduce a dos procesos fundamentales: uno químico, de disolución y otro mecánico, de erosión. La hegemonía de uno u otro proceso depende de las condiciones de circulación del agua. Cuando el volumen de agua kárstica es pequeño y la circulación se realiza a lo largo de fisuras estrechas, no se puede desarrollar fuerza viva suficiente para que se produzca erosión y la hegemonía del fenómeno corresponderá a la disolución. Cuando el agua circula en masa por conductos amplios, pero llenándolos completamente, la circulación es lenta y el proceso erosivo, producido sobre todo por erosión hidrostática más que por gravedad, se une un proceso de disolución lenta: erosión y disolución estarán equilibrados.

Ya hemos dicho que la posibilidad de disolución de la caliza depende de dos factores: 1) De la composición química de la caliza, y 2) De la acidez del agua kárstica.

El contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  de la caliza es esencial para la disolución; las calizas muy puras, con porcentajes del orden de un 96 por 100 en carbonato de calcio, son muy solubles; la solubilidad disminuye a medida que disminuye también el porcentaje en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

Los problemas de la solubilidad de la caliza han sido planteados desde ya hace años por los químicos Johnston (1915 y 1916) da un resumen muy concreto del equilibrio del sistema  $\text{CaO-H}_2\text{O-CO}_2$ , según el cual se sientan algunas conclusiones importantes:

- 1.- Bajo las condiciones normales, la presión de una atmósfera equivale a la presión parcial del  $\text{CO}_2$  de 0.0003 atmósferas.
- 2.- A esta presión se disuelven alrededor de 63 partes por millón de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  por litro, equivalente a 0.00063 moles.
- 3.- Un pequeño incremento de la presión parcial del  $\text{CO}_2$ , representa un importante aumento de solubilidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

Generalmente los porcentajes de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  del agua subterránea no exceden de

400 partes por millón, y la mayoría no alcanza las 200 partes por millón. La curva de la figura 4, muestra las relaciones entre la presión parcial del CO<sub>2</sub> y moles de CO<sub>3</sub>Ca disuelto.

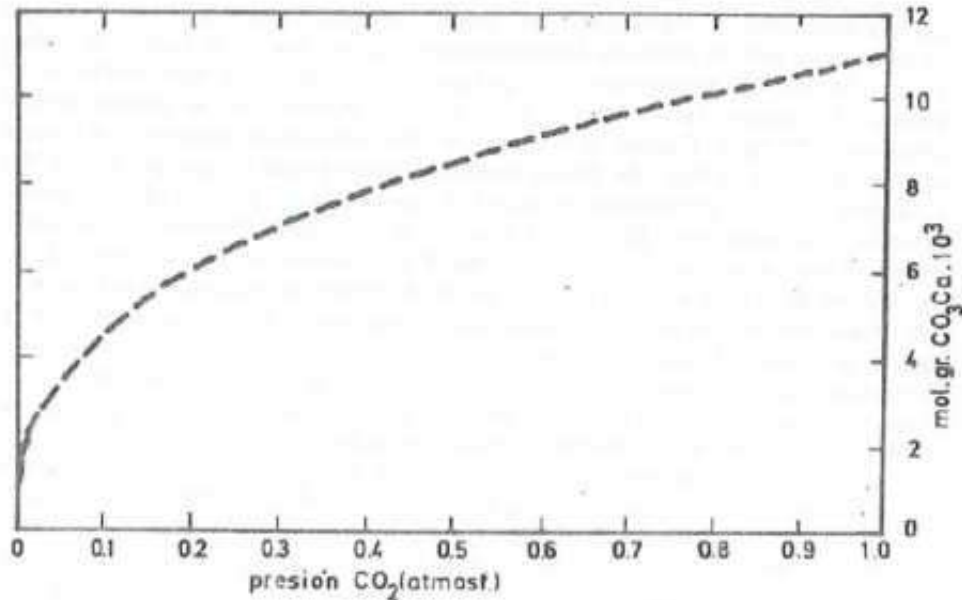


Figura 4. Solubilidad del CO<sub>3</sub>Ca en función de la presión de CO<sub>2</sub> a 16,1 °C de temperatura (Johnston, 1915)

En conclusión, la solubilidad de la caliza sólo puede realizarse bajo la forma de bicarbonato de calcio, de tal modo que es necesaria la previa transformación en (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>Ca, puesto que el CO<sub>3</sub>Ca es completamente insoluble.

Pitty (1966); dice que el agua de origen nival o glaciar disolverá mayor cantidad de caliza que el agua de un Karst templado o tropical. Las siguientes cifras nos ilustran a este respecto:

A 0° al agua se disuelve 2,15 l. de CO<sub>2</sub>.

A 15° al agua se disuelve 1,0 l. de CO<sub>2</sub>.

A 25° al agua se disuelve 0,8 l. de CO<sub>2</sub>.

La disolución de la caliza puede ser de dos tipos:

- 1.- Disolución Masiva.
- 2.- Disolución sobre fisuras.



En realidad, la disolución masiva se realiza siempre sobre diaclasas submacroscópicas. Roques (1963), el proceso mecánico se realiza en realidad sobre fisuras (Planos de estratificación, macro y microdiaclasas y fallas). No obstante, los planos de las fisuras no son las zonas óptimas para la disolución, sino que ésta será la máxima en la intersección de dos planos de fisura, sea plano de estratificación y diaclasa o dos planos de diaclasa.

En estas intersecciones se juntan dos soluciones de continuidad que determina la generación de un conducto incipiente por el agua que penetra más fácilmente.

#### **2.2.2.4. EDAD DE LAS FORMAS EN ROCAS CARBONÁTICAS**

Diversos autores han demostrado que el tiempo necesario para establecer un drenaje subterráneo es relativamente muy corto. Unos se apoyan sobre una cronología relativa de las formas kársticas Geze (1965); Cavaille (1970); otros sobre una cronología absoluta Gascoyne y Ford, (1984); y otros Bakalowicz, (1975) sobre una estimación del tiempo a partir del balance de materias disueltas exportadas. En todos estos casos, la duración de la puesta en funcionamiento de un sistema de drenaje subterráneo es calculada en un orden de magnitud de 20.000 años, es decir, muy rápida a escala de los tiempos geológicos.

Diversas dataciones absolutas (de espeleotemas y sedimentos en cuevas) dan edades para las partes más antiguas de algunas grandes redes (p.ej.: Sima de la Piedra de San Martín - País Vasco-, Gouffre Berger -Francia-, Castleguard Cave -Canadá-) de 150.000 -200.000 años hasta 1-2 millones de años. Hoy se acepta que la mayoría de las redes subterráneas en calizas (exceptuando los paleokarst) son de edades pleistocenas a plioleistocenas. Las redes holocenas (post -glaciales, de menos de 10.000 años) sólo conciernen pequeñas cavidades epidérmicas y sistemas de cuevas en yesos.

La mayoría de los karst son polifásicos, y albergan formas excavadas en distintas fases, superpuestas unas a otras, y que corresponden igualmente a diferentes drenajes. Una cavidad o un karst tienen en consecuencia diferentes

partes excavadas en épocas distintas, y el inicio de la karstificación del conjunto puede remontarse a valores de algunas decenas de miles o incluso unos pocos millones de años. La "edad" de una cavidad es un dato complejo. Generalmente las edades más antiguas corresponden a las cuevas hidrológicamente inactivas, o a las galerías "fósiles" de una cueva activa, mientras que las edades más recientes corresponden a los conductos hidrológicamente activos, que continúan excavándose hasta hoy.

La edad de una cavidad no es la edad de la roca que la contiene, ni tan siquiera la edad en que estas rocas quedaron emergidas. El inicio de la karstificación sólo puede remontarse a lo sumo al momento en que estas rocas quedaron expuestas a la acción de los agentes erosivos, una vez removidos los materiales suprayacentes. Pero además es necesario como vimos en el apartado de karstificación que la erosión de superficie haya excavado diferencialmente el terreno, generando niveles de base locales hacia los cuales pueda drenar el sistema kárstico.

La cantidad total de energía requerida para la formación de un karst es relativamente débil Mangin, (1982). Esto indica que para alcanzar una morfología kárstica muy desarrollada, o bien es necesario que el karst sea de pequeña dimensión, o bien que la duración de su puesta en funcionamiento sea larga, o bien que haya un aporte energético exterior importante. Este último es el caso cuando un drenaje epígeo aporta, a nivel de las calizas, cantidades considerables de agua en puntos precisos.

### **2.2.3 LA EVOLUCIÓN DEL KARST**

Según Llapas (1974), La Evolución Kárstica es una y no puede separarse, la evolución superficial de la subterránea; pero teniendo lugar simultáneamente tienen que ser descritas por separado para su mejor comprensión.

#### **2.2.3.1. Evolución superficial del karst**

La karstificación comienza con fenómenos de disolución superficial que caracterizan su período juvenil; primeramente, se establecen campos de lapiaz, y comienzan en las zonas de poca pendiente la generación de dolinas allí

donde existen elementos tectónicos que la favorecen. Existe, pues una primera fase de lenarización o lapiazación, comienzo del modelado kárstico la fase inmediata es la de dolinización o desarrollo de dolinas; se forman campos de dolinas aisladas que pueden cubrir superficies muy extensas; una vez iniciada ya la dolinización siempre con la lenarización que progresa intensamente, puesto que el escurrimiento continúa y aun se hace más intenso.

El periodo de madurez se caracteriza sobre todo por la aparición de dolinas conjugadas y úvalas y por un mayor desarrollo de los campos de lapiaz, que se hacen más extensos y sobre todo se excavan profundamente. Las dolinas pierden sus contornos circulares, se conjugan unas con otras y se hacen progresivamente más profundas; aparecen algunas simas en los fondos de las dolinas; la absorción en general se hace mucho más intensa; en las fases finales del periodo de madurez hacen ya su aparición los poljes generados por conjugación de las úvalas (Llapas, 1974).

En cuanto a los grandes poljes de origen tectónico, han podido hacer ya su aparición en los primeros momentos de la karstificación. En este periodo desaparecen totalmente las aguas superficiales y la abundancia de dolinas y los sumideros hacen que la circulación se totalmente hipogea. El periodo de senilidad se caracteriza por la degradación de las formas kársticas superficiales, ausencia de dolinas, cuyas dimensiones son enormes a consecuencia de la conjugación formando úvalas y poljés: sus vertientes son poco escarpadas y muy bajas; las formas de conducción se derrumban frecuentemente, y así se originan gargantas o trincheras kársticas con formas residuales, como los arcos o puentes naturales bajo los cuales cruzan los ríos; las gargantas o cañones kársticos son en realidad las primeras manifestaciones del periodo de senilidad; cuando esta progresa los cañones son también degradados, los campos de lapiaz barridos, lo propio que las dolinas, simas y todas las formas de absorción (Llapas, 1974).

La evolución kárstica a de resumirse a degradar primero y destruir después los restos de la masa caliza. Entonces se desarrollan las formas residuales y el paisaje adquiere unas características inusitadas, esta topografía es llamada

ruiniforme por algunos morfólogos, nombre que no puede ser más exacto, puesto que en efecto están formadas por las ruinas del Karst.

Tabla 1. Evolución superficial de un sistema Kárstico.

<b>EVOLUCIÓN SUPERFICIAL DEL KARST</b>	
<b>PERIODO</b>	<b>FASE</b>
<b>Juvenil</b>	1.- Lenarización. Dominio de circulación superficial
	2.- Dolinización, interfiriendo con la anterior.
<b>Madurez</b>	3.- Uvalización. Conjugación de dolinas y generación de poljés. Circulación hipogea
	4.- Degradación. Generación de cañones. Vuelta a la circulación epigea.
<b>Senilidad</b>	5.- Destrucción. Generación de topografía ruiniforme. Circulación epigea.

Fuente: (Llopis, 1952).

### **2.2.3.2. Evolución subterránea**

**Espeleogénesis:** Simultáneamente a la evolución superficial se produce la evolución subterránea. La evolución subterránea empieza con un periodo embrionario, durante el cual la penetración del agua a través de las fisuras se hace gota a gota primeramente y en conducción forzada después, cuando la disolución ha progresado suficientemente para generar conductos. El agua acumulada en estos conductos permanecería estática y acabaría por rezumar en la superficie si no existiera ningún sistema de eyaculación, pero cuando un valle alóctono corta la caliza, se produce inmediatamente un afloramiento hídrico, surgencia o manantial kárstico, dividiéndose inmediatamente la masa caliza en dos regiones: 1) La situada por encima del manantial o región hidrodinámica y la situada por debajo o región hidroestática. En su consecuencia, toda la evolución del karst subterráneo se realiza exclusivamente en la región hidrodinámica, mientras la zona estática profunda permanece intacta y su evolución es extremadamente lenta (Llapas, 1974).

El periodo juvenil de las formas de conducción se caracteriza, pues, por la circulación forzada o circulación a presión hidrostática, durante el cual se generan las formas de erosión cilindroideas o arosariadas, siempre de diámetros modestos. Estos momentos de la evolución subterránea corresponden en superficie al de lenarización y comienzo de dolinización. El periodo juvenil de las formas de conducción del Karst termina con los primeros procesos kársticos que determinan derrumbamientos.

Periodo de madurez. Los primeros derrumbamientos se producen cuando las bóvedas de las cavidades alcanzan gran altura, como resultado de los procesos de decalcificación por una parte y de la excavación de los talwegs fluviales por otra. Estos derrumbamientos generan caos de bloque que obstaculiza la libre marcha de las aguas y crean niveles de base locales, generándose muchas veces lagos. (Llapas, 1974).

En cuanto a las formas litogénico puede comenzar a producirse antes de los derrumbamientos puesto que en efecto tenemos muchos ejemplos de ríos subterráneos en cuyas bóvedas se producen procesos de estalactización.

Periodo de senilidad. Se caracteriza por el predominio de la sedimentación litoquímica el proceso de estalactización adquiere dimensiones extraordinarias. Lo frecuente es que las infiltraciones sean suficientemente abundantes para producir un proceso litogénico muy desarrollado los suelos se de las cavernas se cubren de cortezas estalagmíticas pavimentarías; los caos de bloques enmascarados y cubiertos por macizos y columnas estalagmíticas (Llapas, 1974).

La terminación del periodo de senilidad de la caverna consiste, o bien en su total fosilización, por el progreso de la estalagmitización, o en su muerte por anulación de la infiltración y aborto del proceso de estalagmitización.

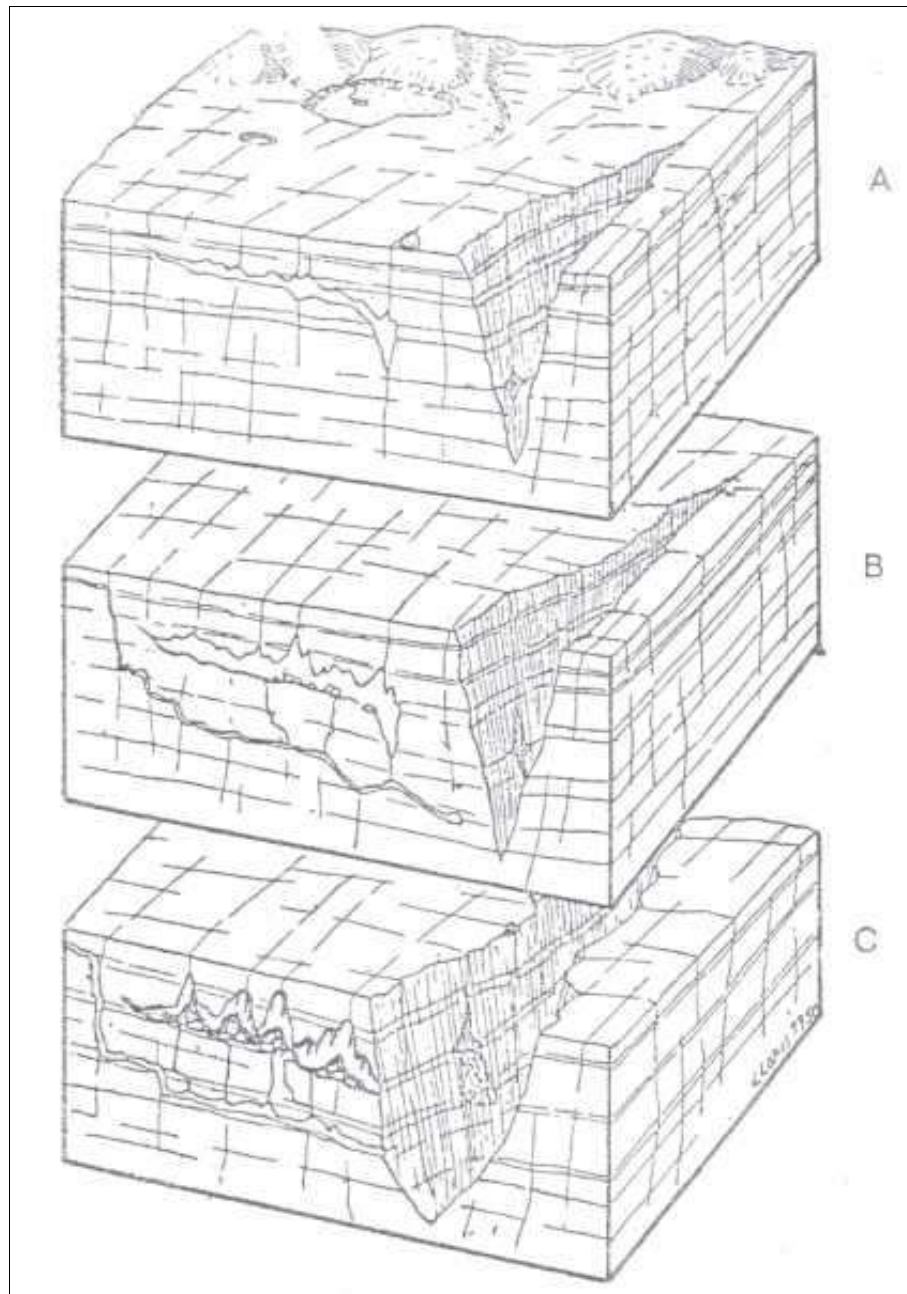


Figura 5. Tres fases del ciclo subterráneo. A. Juvenil, dominio de formas de erosión; B. Madurez, abandono de cavidades superiores donde se inician procesos clásticos. Muerte de la caverna superior; C. Sensibilidad, estalagmitización y fosilización de la caverna (Llopis, 1952).

Tabla 2. Evolución subterránea de un sistema kárstico.

<b>EVOLUCIÓN SUBTERRÁNEA. ESPELEOGÉNESIS</b>	
<b>PERIODO</b>	<b>FASE</b>
<b>Embrionario</b>	1.- Infiltración a lo largo de las fisuras. Predominio de la disolución
	2.- Acumulación y circulación a presión hidrostática por conductos embrionarios. Dominio de la disolución; intervención de la erosión
<b>Juventud</b>	3.- Circulación a presión hidrostática, por generación de surgencia. Instalación de aparatos kársticos. Equilibrio de disolución y de erosión.
	4.- Circulación fluvial, mixta al principio. Dominio de la erosión sobre la disolución.
<b>Madurez</b>	5.- Fases clásticas. Generación de caos, conos, etc., accidentación de los talwegs fluviales
	6.- Fases de estalagmitización. Generación de formas litoquímicas. Las fases 5 y 6 pueden alternar y repetirse varias en el decurso de un proceso espeleogénico. Continúa en todas ellas la circulación fluvial
<b>Senilidad</b>	7.- Sedimentación, autóctona o exótica. Comienza el relleno de las cavidades kársticas. Desaparece la circulación fluvial, comenzando por ser intermitente y terminando con la muerte hídrica
	8.- Fosilización, autóctona o exótica. Relleno total de las cavidades por los sedimentos. Las fases 7 y 8 pueden alternar con fases clásticas y de estalagmitización.

Fuente: (Llopis, 1952).

## **2.2.4. FACTORES CONDICIONANTES**

Para producirse los procesos de karstificación, deben de existir los siguientes factores.

Factor litológico: Existencia de rocas favorables a la disolución.

Factor estructural: Estructura geológica sea la adecuada.

Factor climático: Existencia de precipitaciones o aportes hídricos importantes.

Factor temporal: Tiempo suficiente para el desarrollo de la karstificación.

### **2.2.4.1. Factor Litológico**

La karstificación, es susceptible de producirse en lo se conoce como rocas solubles. Se entiende por roca soluble, aquella que puede ser disuelta químicamente por el agua. Si se hace intervenir el factor tiempo, las rocas que aparentemente son insolubles se pueden convertir en solubles. Las rocas calizas se forman por precipitación química, compuestas por esqueletos y conchas de organismos marinos y por barros calcáreos precipitados directamente del agua del mar. Después de sufrir diversos procesos de diagénesis, estos sedimentos se convierten en una roca compacta, de grano muy fino y cuyo color puede variar dependiendo de su composición y los elementos que la forman. Desde el punto de vista químico, la caliza está compuesta principalmente por carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ , y por restos de sedimentos, arenas y arcillas. Cuanto más elevado sea el contenido en carbonato cálcico, más pura será la caliza y por lo tanto mayor posibilidad de karstificación tendrá. Este es un rasgo limitante, ya que, si el contenido en  $\text{CaCO}_3$  es inferior al 60 %, no se podrán generar cavidades (Bakalowicz, 1982).

### **2.2.4.2. Factor Estructural**

La tectónica de placas juega un papel primordial en la formación del relieve. Ya que esto hace que las capas de las rocas sedimentarias, que originalmente se depositaron y horizontalmente, sufran plegamientos, cabalgamientos y fracturación. Otras veces, los plegamientos producen elevaciones del terreno, lo que permite que tengamos una misma capa abarcando notables amplitudes topográficas. La tectónica de placas es la causante para genera las familias de fallas y de diaclasas que se observan en los macizos kársticos. Los procesos



de tensión y descompresión producen fracturas en las rocas, que luego serán aprovechadas por las aguas superficiales, para introducirse en el subsuelo. Con el tiempo se producirá un ensanchamiento progresivo de las mismas, favoreciendo la circulación subterránea, y formando cavidades (Bakalowicz,1982).

#### **2.2.4.3. Factor Climático**

En el mundo existe karst en todas las latitudes, desde los círculos polares hasta las regiones tropicales. Sin embargo, su desarrollo y magnitud no es homogéneo. Un rasgo fundamental en la disolución de los carbonatos, es la disponibilidad de agua, y que ésta sea suficientemente agresiva para la roca, o lo que es lo mismo, que contenga anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). Estas dos condiciones vienen claramente influenciadas por el clima: debido a la cuantía de las precipitaciones y a la temperatura, que puede incrementar el poder de disolución del agua, y por otra, favoreciendo la presencia de una cobertera vegetal de importancia. Al introducirse el agua en un suelo rico en materia orgánica, su contenido en CO<sub>2</sub> aumenta, lo que le permitirá disolver una mayor cantidad de carbonatos. La temperatura juega un papel similar. Cuanto más baja sea, el agua podrá movilizar más CO<sub>2</sub>, incrementando el contenido en éste gas y por lo tanto aumentando su poder de disolución frente a los carbonatos. Los karst más desarrollados se encuentran situados en zonas tropicales húmedas, donde existen grandes selvas y las precipitaciones superan los 4000 mm/año, o en regiones donde en tiempos pasados se dieron ambientes similares. La cobertera vegetal, también influye en el desarrollo del karst, pero lo hace sobre todo en la morfología resultante (Bakalowicz,1982).

#### **2.2.4.4. Factor Tiempo**

Para la formación de cualquier relieve debemos tener en cuenta el paso del tiempo que hará evolucionar su estructura, por eso no debemos olvidarnos de los procesos de formación de un karst debido a éste. La primera fase de karstogénesis sería la generación, desde las zonas de absorción, de una red incipiente de drenaje a través de microfracturas. Esta etapa es larga, llevándose a cabo entre 10.000 y 100.000 años. Progresivamente, algunas de

las microfracturas conseguirán conectar con las zonas de surgencia, favoreciendo a través de ellas el flujo del agua, y sufriendo un notable ensanchamiento. Esta segunda etapa, más rápida puede durar entre 1.000 y 10.000 años. A partir de aquí la formación de cavidades ya es relativamente rápida (Bakalowicz,1982).

### **2.2.5. MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS**

Se hallan en la superficie del Karst y a través de ellas se produce la infiltración del agua. Las principales formas son las siguientes:

#### **2.2.5.1. Formas Cerradas**

**Lapiaz:** O llamado también carren o lenar, es posiblemente la forma inicial más sencilla de karst embrionario que puede degenerar, posteriormente en dolinas. Se presentan, como un conjunto de pequeñas acanaladuras o surcos estrechos (con dimensiones desde centímetros – microlapiaz - hasta 1 metro – megalapiaz) separadas por crestas, a menudo agudas; o bien por orificios tubulares, nidos de abejas etc. Aparecen generalmente en superficies más o menos inclinadas o con bajas pendientes y ausentes de vegetación (González, 1997).



Foto 1. Paisaje donde se observa los surcos de lapiaz sobre la Fm. Cajamarca en Machaypungo Alto. Longitud: 769618 / Latitud: 9263291. Con vista hacia el Noreste.

**Dolina:** Son depresiones semi circulares o elípticas que se forman por disolución (y consiguiente pérdida de volumen) en su fase inicial, a partir de la intersección de diaclasas, generalmente a favor de los planos de estratificación,

produciéndose un proceso en cadena de infiltración- disolución. En cualquier caso, no se disponen caprichosamente, sino que generalmente están alineadas según fracturas o direcciones de estratificación determinadas. En sección tienen forma de cubeta o embudo. Sus dimensiones varían desde unos pocos metros de diámetro hasta incluso 500 m, Siendo las más frecuentes de 20 a 25 m y normalmente están rellenas en su centro por terrarossa o arcillas de descalcificación (Mayta, 2011).

Estos fenómenos tienen por núcleo la ya indicada intersección de diaclasas y van disminuyendo concéntricamente a partir de este punto hasta anularse. Un ancho círculo de caliza, cuyo centro es la intersección, estará pues, afectado por este fenómeno con tanta mayor intensidad cuanto más próxima está la zona al centro. La emigración de caliza, separación de terrarossa de descalcificación y consiguiente pérdida de volumen, determinará el hundimiento lento de toda la zona afectada a partir de su centro, originándose entonces una depresión circular en principio embudiforme, llamada dolina (Llapas, 1974)

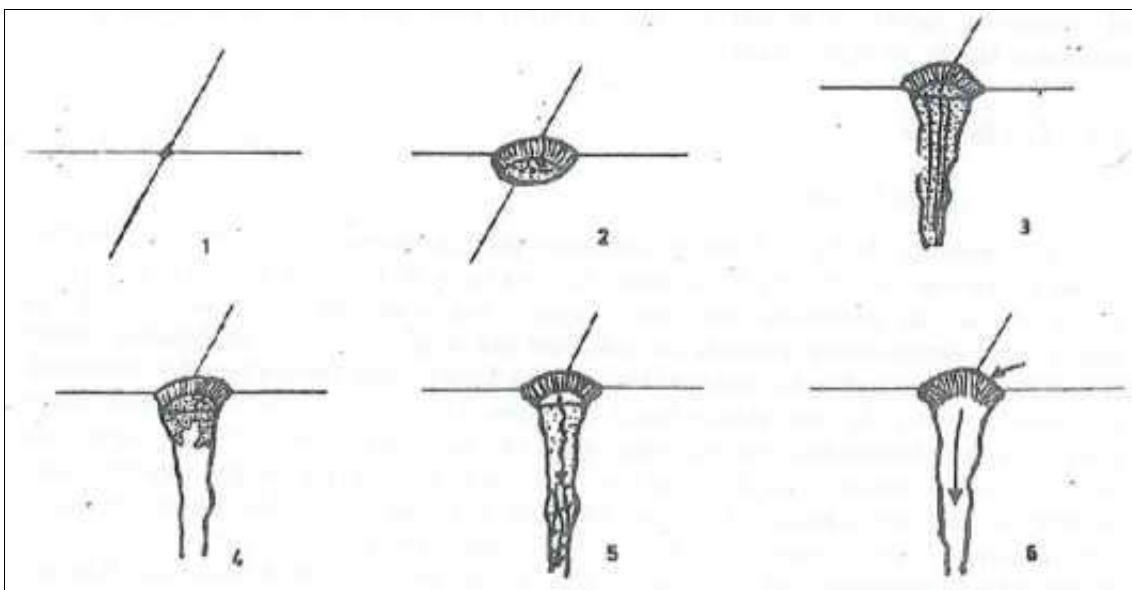


Figura 6. Evolución de la dolina desde la fisura. 1. Sistema de diaclasas en corte ortogonal, los fenómenos de disolución son máximos en el punto de intersección; 2. Depresión circular embudiforme, con depósito de terrarossa dolina; 3, 4 y 5, Desarrollo de la dolina en profundidad. 6. Sima-Sumidero partiendo de una dolina (Llopis, 1952).

**Úvala:** El termino úvala se emplea para depresiones cerradas complejas que engloban a varias depresiones cerradas en su interior. Pueden adoptar

morfologías lobuladas en planta y en ocasiones son el resultado de la coalescencia de varias dolinas (Gracia y Gutiérrez, 1999).

Cuando las dolinas evolucionan, más rápida en superficie que en profundidad se originan las úvalas. Sus dimensiones pueden alcanzar incluso 1 Km. de diámetro. Las úvalas aumentan considerablemente la capacidad de absorción actuando como verdaderas zonas colectoras de agua en mayor escala que las dolinas (Gonzales, 1997).

**Poljes:** Son las formas superficiales más evolucionadas y de mayor tamaño, así como de absorción kárstica. Normalmente presentan una disposición alargada y vienen condicionadas por fracturas importantes. Se considera una longitud de 2 km., el límite a partir del cual es un polje y no una úvala. Frecuentemente, de las superficies de los poljes se erigen pequeñas colinas, a modo de islas, que se denominan hum (Mayta, 2011).

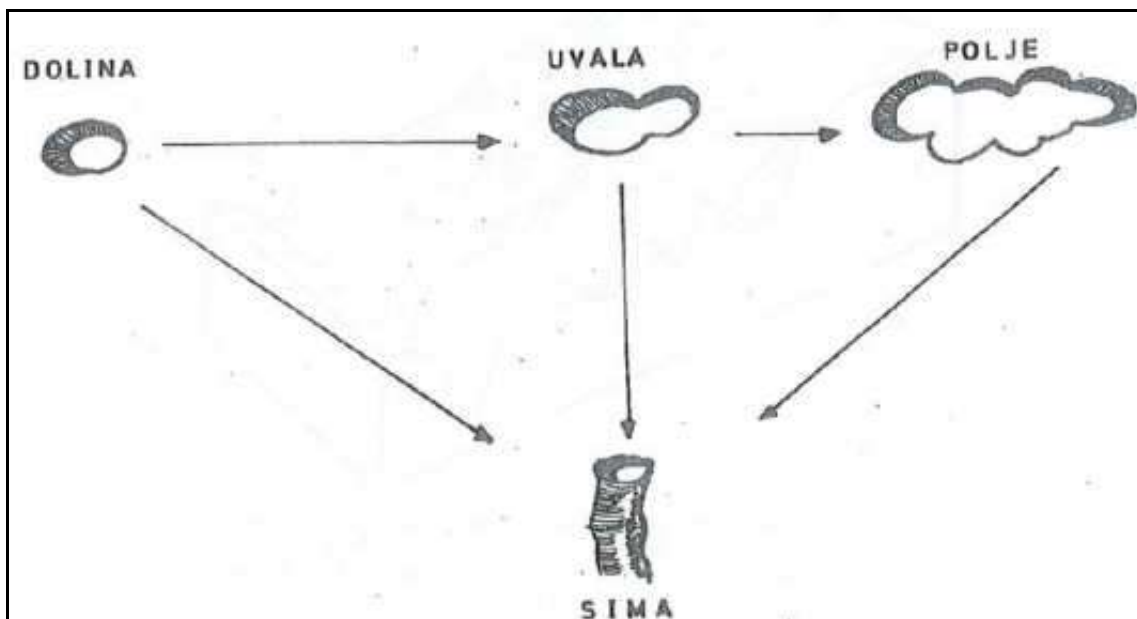


Figura 7. Líneas de evolución de las dolinas (Llopis, 1952).

**Valles muertos, perdidos y valles ciegos:** Son valles que han dejado de funcionar a consecuencia de la karstificación en las zonas de sus cabeceras. Estas formas se encuentran frecuentemente en todas las regiones kársticas a consecuencia de que el 90% de los karsts se han generado durante el Cuaternario y, por tanto, han sufrido los acusados cambios climáticos glaciares

e interglaciares. Durante los pluviales interglaciares, los aparatos kársticos no podían absorber la totalidad de las precipitaciones, y así se formaron redes fluviales permanentes o accidentales en las regiones kársticas que dejan de funcionar durante los glaciares y que hoy encontramos en forma de valles muertos.

Los valles ciegos, son formas fundamentalmente estructurales desarrolladas sobre haces de diaclasas, o sobre fallas, que presentan formas alargadas en la dirección del accidente que las ha originado; estos valles ciegos pueden estar recorridos por arroyos epigeos subsecuentes, cuya hidrografía han sido desorganizada por el karst. Así, los encontramos sobre cuevas degeneradas al pie de los hog-backs, a lo largo de planos de descamación tectónica y de planos de falla.

Si sobre uno de estos valles epigeos comienza a producirse una absorción kárstica, la circulación epigea se desorganiza y se produce divisorias de agua subterráneas y superficiales a lo largo del valle subsecuente, originándose así los valles ciegos.

Un último tipo de absorción en formas cerradas lo encontramos en las que podemos llamar zonas de pérdidas, que constituyen una forma de transición a las formas abiertas. En efecto, en muchos ríos que cortan regiones kársticas, procedentes de otras áreas no calizas se observan sensibles disminuciones de caudal cuando salen de la región kárstica. Estos caudales desaparecidos deben haber sido absorbidos por diaclasa o fracturas existentes en la vaguada e incorporados a la circulación kárstica general del macizo.

Cuando los caudales que tienen los ríos son precarios e inferiores a los que se absorben en las zonas de pérdida, el río queda en seco en una zona de corta extensión (Llapas, 1974).

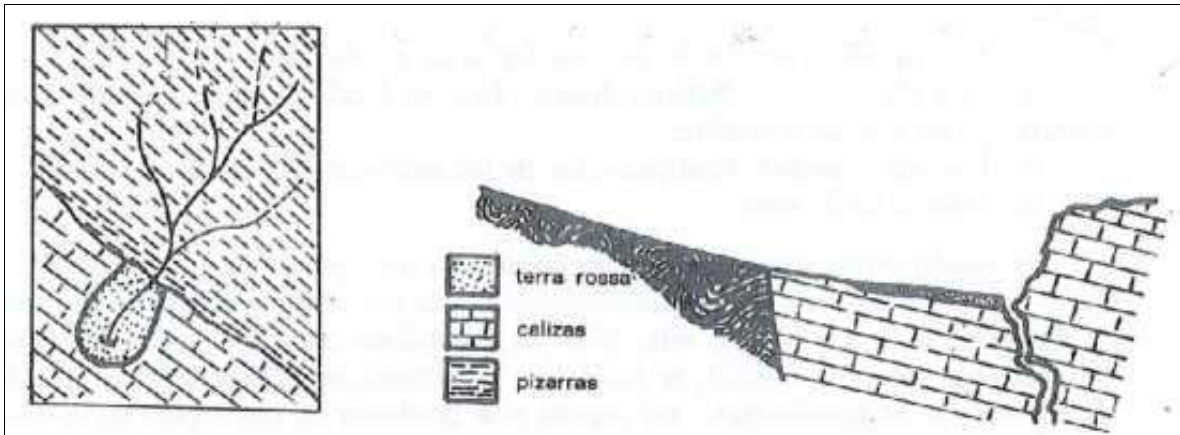


Figura 8. Mapa geológico y perfil de un valle ciego (Llopis, 1952).

### 2.2.5.2. Formas Abiertas

**Simas:** Cuando la evolución de la dolina progresa más en profundidad que en superficie, se produce una continua depresión de la misma; este progresivo hundimiento es consecuencia que la dolina se ha instalado sobre un haz de diaclasas o sobre una falla, es decir, sobre un accidente que facilita excepcionalmente la disolución; el resultado final, en muchos casos de este progreso hacia la profundidad, es el hundimiento brusco de los bloques de la chimenea de la dolina. Esto sólo puede ocurrir cuando por debajo de la misma existen ya huecos determinados por la propia disolución o que ya existían antes de la instalación de la dolina. La evolución de la dolina es un proceso lento que se desarrolla paralelamente a la evolución de todo aparato kárstico, de manera que ha de pasar largo tiempo hasta que pueda producirse el hundimiento de una dolina, es decir, el tiempo necesario para que se formen, más abajo, las cavidades necesarias para alojar a los productos clásticos resultantes del hundimiento. Cuando esto existe la dolina puede sufrir un hundimiento brusco que determine un desplazamiento rápido de bloques y terrarossa hacia el interior del aparato kárstico, originándose de este modo una forma de absorción abierta, penetrable, denominada sima cuya topografía es fundamentalmente de desarrollo vertical (Llapas, 1974).


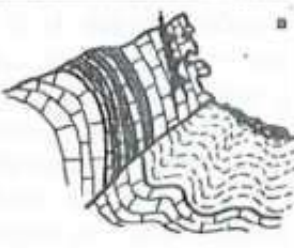


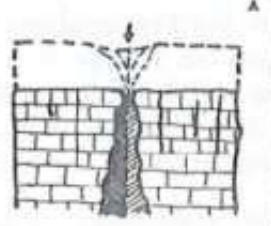

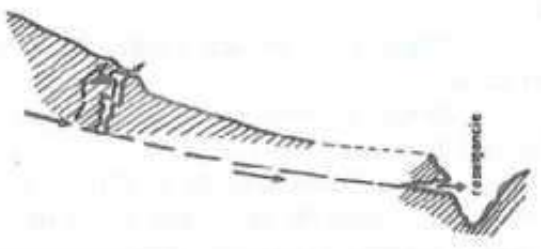
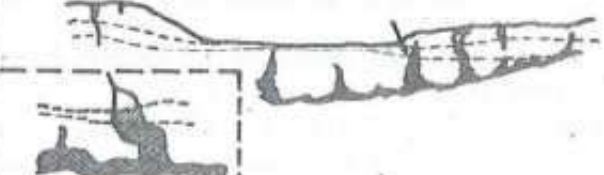
SIMAS TECTONICAS	A. Diclases abiertas		
	B. Despegues en planos de estratificación		
SIMAS DE HUNDIMIENTO	Hundimiento de bóvedas (Procesos clásticos)		
SIMAS ABSORBENTES	A. Por ablación superficial descendente		
	B. Por erosión subterránea remontante		
SIMAS EMISIVAS	Por ascenso de aguas subterráneas		
CHIMENEAS DE EQUILIBRIO	No han funcionado como absorbentes ni como emisivas		

Figura 9. Tipos Genéticos de simas (Geze, 1974).

**Cavernas:** Constituyen los conductos de circulación subterránea, actual o pasada, libre o forzada. Pueden alcanzar hasta decenas de kilómetros y son frecuentes en ellas los conductos secundarios ramificados a modo de laberinto (Mayta, 2011).

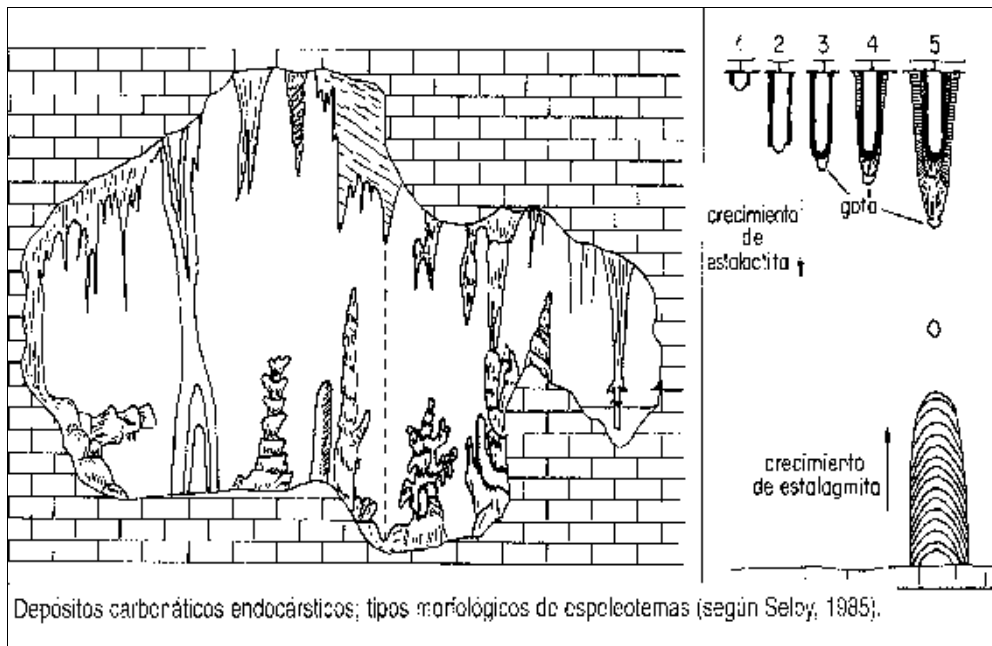


Figura 10. Depósito carbonáticos endocársticos; tipos morfológicos de espeleotemas (Selby, 1985).

**Sumideros:** En la fase dolina la absorción es lenta, puesto que como ya hemos dicho se realiza gota a gota, hasta formarse una sima, cuando la sima empieza aumentar de tamaño considerablemente y la absorción es masiva, en este caso la sima recibe el nombre de sumidero. Los sumideros pueden actuar constantemente siendo entonces permanentes, en este caso constituyen las absorciones normales de arroyos y a un río interior.

Otras veces pueden ser accidentales que actúan únicamente durante las crecidas de los ríos o en periodos de fuertes precipitaciones; finalmente, existen también sumideros periódicos que tienen régimen estacional o funcionan en primavera durante la fusión de nieves o en otoño durante los periodos lluviosos (Llapas, 1974).

**Surgencias:** Son los manantiales de pequeño caudal. Son producto de una diaclasa que actúa como colector del agua. Cada manantial de este tipo tiene una cota de salida diferente e independiente de la de los demás pertenecientes a este grupo (Mayta, 2011).



Las surgencias pueden ser permanentes o estacionarias, a tenor de que funcione continuamente o sólo lo hagan en determinados momentos. Ello depende no sólo del caudal alimentador, sino también de las características de la topografía de los conductos por donde circula el agua.

**Exurgencias:** Son de mayores caudales, proceden de aguas colectoras del aparato kárstico y son de tipo permanente, aunque con fuertes fluctuaciones estacionales en el caudal (Mayta, 2011).

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

Las siguientes definiciones fueron tomadas del diccionario geológico (Dávila, 2011)

**Karstificación.** Proceso de disolución de las rocas calcáreas por acción del ácido carbónico  $H_2CO_3$  disuelto en el agua y los cambios de temperatura.

**Litología.** Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología.

**Morfología kárstica.** Estudio de la distribución y formas kársticas.

**Precipitación pluvial.** Caída de aguas de la atmósfera por el cambio de temperatura, en forma de lluvia, nieve o granizo.

**Tiempo geológico.** Es la representación gráfica de las Eras, períodos, épocas, etc. que sirven para clasificar los terrenos, con la ayuda de la superposición estratigráfica y de los fósiles hallados, los cuales constituyen los elementos indispensables para el establecimiento correcto de la cronología de los terrenos.

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. GEOGRÁFICA**

El área de investigación está ubicada entre las depresiones interandinas y la cordillera noroccidental del Perú. A 17 kilómetros al noroeste de la ciudad de Bambamarca y se extiende a lo largo de la Quebrada Machaypungo dentro de la carta geológica Chota 14-f perteneciente a la zona 17S.

Ubicado específicamente en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) DATUM WGS-84. Teniendo las siguientes coordenadas:

Vértice 1.- Longitud: 764000 Latitud: 9265000

Vértice 2.- Longitud: 772500 Latitud: 9265000

Vértice 3.- Longitud: 772500 Latitud: 9262000

Vértice 4.- Longitud: 764000 Latitud: 9262000

##### **3.1.2. POLÍTICA**

Políticamente la zona de investigación está en la Región Cajamarca, en la Provincia de Hualgayoc, Distrito de Bambamarca en los Centros Poblado de Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto; ver ANEXO III: Mapa N°01 - Mapa de Ubicación y Accesibilidad.

##### **3.1.3. ACCESIBILIDAD**

El acceso vial al área de estudio lo constituyen los siguientes tramos: Cajamarca – Bambamarca, (vía asfaltada en tramos - 94km.); Bambamarca – Machaypungo Bajo (vía asfaltada en tramos - 17km.), todo el trayecto suma un total de 111km, con un tiempo de viaje aproximado de 3 horas.

### 3.1.4. CLIMA

El clima está influenciado directamente por la altitud de la Cordillera Andina, el periodo de lluvias ocurre entre los meses de octubre a marzo, las precipitaciones anuales varían entre 800 - 1000 mm. La temperatura generalmente varía entre los 5°C a 20°C. Se tomaron los datos promedios de los últimos 10 años para la elaboración del gráfico a continuación (01 de enero del 2011 – 31 de diciembre del 2020) de la Estación Puente Maygasbamba - 221110.

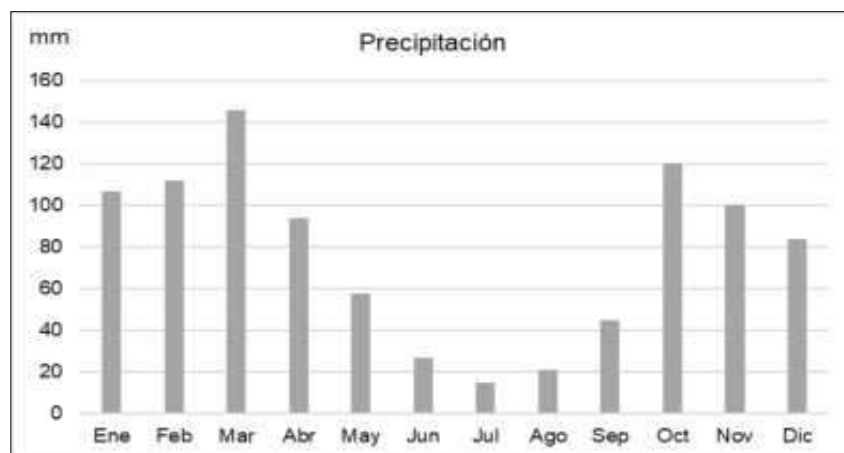


Figura 11. Grafica de precipitaciones promedio de cada mes de los últimos 10 años. Datos (Est. Puente Maygasbamba - 221110)

Según la clasificación de climas del SENAMHI con el método de Werren Thornthwaite corresponde a un B(o, i)B'3H'3 lo que viene a ser un clima Lluvioso con otoño e invierno secos, semifrío y húmedo.

CLIMAS	
<b>PRECIPITACION EFECTIVA</b>	<b>EFICIENCIA DE TEMPERATURA</b>
A MUY LLUVIOSO	A' CALIDO
B LLUVIOSO	B'1 SEMICALIDO
C SEMISECO	B'2 TEMPLADO
D SEMIARIDO	B'3 SEMIFRIO
E ARIDO	C' FRIO
	D' SEMIFRIGIDO
	E' FRIGIDO
	F' POLAR
<b>DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACION EN EL AÑO</b>	<b>HUMEDAD ATMOSFERICA</b>
r PRECIPITACION ABUNDANTE EN TODAS LAS ESTACIONES.	H1 MUY SECO
i INVIERNO SECO.	H2 SECO
p PRIMAVERA SECA.	H3 HUMEDO
v VERANO SECO.	H4 MUY HUMEDO
o OTOÑO SECO.	
d DEFICIENCIA DE LLUVIAS EN TODAS LAS ESTACIONES.	

Figura 12. Clasificación de índices climáticos SENAMHI, basada en la clasificación de climas de Werrer Thornthwaite. Fuente: SENAMHI.

### 3.1.5. HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

La quebrada Machaypungo de escurrimiento irregular es la predominante en el área con una dirección noroeste – sureste, concentrándose del 70% a 80% de su descarga entre los meses de diciembre a marzo, con su desembocadura al río Maygasbamba, el cual a su vez desemboca en la cuenca del río Llaucano, que pertenece al sistema hidrográfico de la vertiente del Atlántico. Tiene 2 Simas y 1 Sumideros que desaparecen parcialmente su caudal, haciendo que una gran cantidad de agua discurra de manera subterránea, creando un drenaje subterráneo kárstico que desemboca al río Llaucano a través de una Exurgencia denominada los tres chorros; Pero también cuenta con 5 surgencias que aportan caudal a la quebrada ver ANEXO II: Mapa N°06 - Mapa Estructuras Kársticas. En el área se ha desarrollado un drenaje paralelo debido a que su escorrentía está sobre estratos uniformemente resistente y con una pendiente marcada.

### 3.2. PROCEDIMIENTOS

La presente investigación se inicia con visitas de reconocimiento, para poder determinar el área, la magnitud del problema y planificar las investigaciones necesarias; luego de la visita de reconocimiento el trabajo se divide en tres principales etapas.

**Planificación**, consistió en la recopilación de información, referente a estudios anteriores de la zona y antecedentes, encontrándose estudios regionales e internacionales como los elaborados por Mayta en el 2011 y el de Marín 2014. En esta etapa también se llegó a planificar la investigación, elaborando las herramientas necesarias como la ficha de recolección de datos, y los mapas satelitales y topográficos para los cartografiados

**Trabajo de campo**, consiste en la descripción, toma de datos y fotografías de la litología y las unidades kársticas que se encuentran, conjuntamente a ello se realiza el cartografiado de la morfología kárstica a escala 1:25 000 para entender la disposición espacial de las diferentes unidades.

**Trabajo de gabinete**, esta etapa consiste en almacenar, ordenar, analizar e interpretar la información obtenida en el trabajo de campo para luego elaborar un inventario de las estructuras kársticas y generar el mapa de la morfología kárstica.

### **3.2.1. METODOLOGÍA**

#### **3.2.1.1. Población de estudio**

Morfología kárstica del caserío de Machaypungo-Bambamarca. Área aproximada 10km<sup>2</sup>

#### **3.2.1.2. Muestra**

Morfología exokársticas en rocas carbonatadas de la Formación Celendín, Formación Cajamarca y Formación Quilquiñan Mujarrum, en el centro poblado de Machaypungo-Bambamarca.

#### **3.2.1.3. Unidad de análisis**

Lapiaz, dolinas, simas, sumideros, surgencias, exurgencias y cavernas.

#### **3.2.1.4. Tipo de investigación**

**Según el nivel.** Es una investigación descriptiva y analítica; se describirá cada una de las estructuras kársticas encontradas dentro del área de investigación, para luego ser analizados los datos obtenidos.

**Según el diseño.** Es un trabajo de campo no experimental, la investigación se desarrolla principal en campo, sin la realización de algún experimento.

**Según su naturaleza.** Es Mixto (cualitativo y cuantitativo), se describirá y cuantificará las estructuras kársticas.

**Según su finalidad.** Es una investigación aplicada, El inventario de estructuras kársticas puede ser usado como datos para futuros trabajos, sobre todo en el área de hidrogeología.

### **3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

Las variables independientes son la precipitación, litología, estructuras y el tiempo geológico; y como variable dependiente se tiene a la morfología kárstica.

### **3.2.3. TÉCNICAS**

El trabajo consiste primeramente en un análisis de imágenes satelitales y mapas geológicos anteriores como los del INGEMMET, con el fin de identificar el área de estudio, accesos y estructuras a las escalas disponibles. Luego de este análisis se realiza las visitas a campo con el fin de verificar el análisis anterior y recolectar todos los datos necesarios para la investigación como la litología, estructuras e identificar las unidades kársticas presentes. Con los datos recolectados se procederá a la elaboración de los planos geológicos y de unidades exokársticas, el análisis de dichos datos y la elaboración de un inventario Kárstico.

### **3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS**

#### **3.2.4.1. Instrumentos de campo**

Picota geológica: Se usará para tomar muestras de las rocas aflorantes.

GPS. Navigation Garmin Etrex 20: Toma de coordenadas, para el mapeo kárstico.

Brújula Brunton (azimutal): para la toma de datos como son rumbo y buzamiento de los estratos y algunas estructuras.

Planos Topográficos 1:25000: Servirá para el cartografiado en campo.

Protactor: Ayudará al cartografiado de estructuras kársticas, para ubicarlo en el plano.

Libreta de Campo: Herramienta esencial para el registro de la toma de datos.

Flexómetro (5m): Para la medición de estructura kársticas pequeñas.

Wincha (50m): para medir estructuras kársticas gran tamaño.

Cámara fotográfica digital Canon DS126431: para la toma de fotografías de las evidencias en campo.

Fichas técnicas: Para la recolección de datos.

#### **3.2.4.2. Instrumentos de gabinete**

Computadora: Servirá para el procesamiento de los datos tomados en campo.

Impresora: para imprimir el informe y planos necesarios.

Softwares. ArcGIS 10.3 , SASPlanet, Global Mapper 18, Word 2016 , Excel 2016: para procesar datos, elaborar informe y planos.



Foto 2. Instrumentos utilizados para la recolección de datos en campo.

### **3.3. CONTEXTO GEOLÓGICO**

#### **3.3.1. GEOMORFOLOGÍA**

La zona de investigación presenta entre los 3300msnm hasta los 3560 msnm. Áreas de poca erosión, con pendientes que van entre 0°- 8°; Y entre los 2650 – 2300 msnm se muestra erosión propia de un valle joven debido a su poca escorrentía de agua superficial, presentando pendientes que van de los 8° a más. Para la descripción a continuación se utiliza la clasificación de Rodríguez (2016).

##### **3.3.1.1. Planicies**

Están presentes en la zona y se encuentran en altitudes aproximadas que van desde 3300 m s.n.m. hasta 3560 m s.n.m. Corresponde a zonas cuya superficie presentan ligeras ondulaciones, la pendiente dominante fluctúa entre el rango de 0° a 8°. Litológicamente está constituida por rocas sedimentarias de la Formación Cajamarca. La topografía poco accidentada restringe la ocurrencia de acciones erosivas actuales por lo que no ocurren mayores cambios.



Foto 3. Planicie de 5° de pendiente, la topografía del terreno está representada por el buzamiento de los estratos de la Fm. Cajamarca, en la zona del bosque de piedras de Machaypungo – La unión. Longitud: 764868 / Latitud: 9263626. Con vista al Noroeste.

### 3.3.1.2. Lomadas

Son elevaciones del terreno cuyas pendientes están entre 8° y 20°, litológicamente se encuentran en las Formaciones Cajamarca y Celendín, presentándose principalmente en la margen derecha de quebrada Machaypungo.



Foto 4. Lomada de 18° de pendiente, la topografía está representada por los planos de estratificación de la Fm. Cajamarca a la margen derecha de la quebrada Machaypungo. Longitud: 768635 / Latitud: 9263757. Con vista al Suroeste.

### 3.3.1.3. Laderas

Están presentes en la parte media y baja de la zona y se encuentran en altitudes aproximadas que van desde 2650 m s.n.m. hasta 3300 m s.n.m. La pendiente dominante fluctúa entre el rango de 20° a 50°. Litológicamente están constituidas



por rocas sedimentarias, correspondiente principalmente a las Formaciones Quilquiñán-Mujarrum y Celendín.

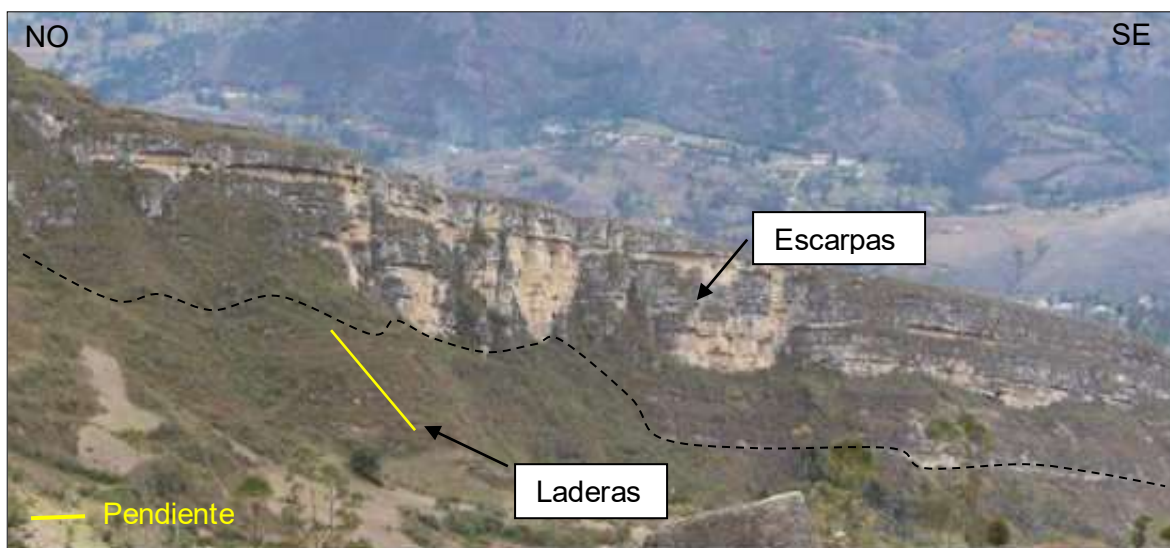


Foto 5. Ladera con 45° de pendiente. Topografía generada por Falla normal, sobre la Fm. Mujarrum Grp. Quilquiñán, Ubicado a la margen Izquierda de la Quebrada Machaypungo. Longitud: 769779 / Latitud: 9263158. Con vista al Noreste.

#### 3.3.1.4. Escarpas

Es el sector topográfico más accidentado del área, que ha sido influenciada por una falla presente en la parte media y baja de la zona, La pendiente supera los 50°; Por su fuerte pendiente existe caída de rocas; se encuentra entre la Formación Mujarrum Grupo Quilquiñán y la Formación Cajamarca.



Foto 6. Escarpa con pendiente de 85 °. Sobre la Fm. Cajamarca, en dichas escarpas se presenta caída de rocas, ubicada a la margen izquierda de la quebrada Machaypungo. Longitud: 770973 / Latitud: 9262813. Con vista al Noreste.

### **3.3.2. GEOLOGÍA LOCAL**

En el área de investigación, se encuentran aflorando la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán, Formación Cajamarca Y Formación Celendín, Formaciones carbonatadas pertenecientes al Cretácico superior, con dirección predominante Noroeste – Sureste, e inclinación entre 5° a 30°. Además, el 10 al 12 % de la zona está cubierto por depósitos Cuaternarios de muy bajo espesor, en sus zonas más profundas tiene entre 1.5 a 2 metros de profundidad.

#### **3.3.2.1. Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán**

Corresponde a la secuencia calcárea del Cretácico Superior; Infrayace concordantemente a la Formación Cajamarca; Ocupa el 15% del área, tiene una dirección de NO – SE, en la parte superior está compuesta por calizas packstone (Textura grano-soportada y con matriz micrítica. El espacio intergranular está ocupado por micrita) nodulares claras y en parte inferior presenta intercalaciones de margas amarillentas, lutitas con abundantes elementos del género *Exogyra* y calizas nodulares. Se presenta aflorando aproximadamente 150 m.

Algo característico de esta unidad es que en la parte intermedia contiene abundante *Exogyra* que marcan una edad Cenomaniano Medio. Estas unidades son muy fosilíferas y los especímenes más comunes son los cefalópodos, Lamelibranquios y Gasterópodos tales como *Acanthoceras*, *Coilopocerasjenksi*. (Benavides 1956).



Foto 7. Contacto entre la Fm. Cajamarca y La parte superior de la Fm. Mujarrun y Grp. Quilquiñán de calizas nodulares amarillentas; con Azimut: N 320° Y Buzamiento: 20°. Longitud: 768989 / Latitud: 9263750. Con vista al Noreste.



Foto 8. Parte inferior de la Fm. Mujarrun y Grp. Quilquiñán el cual presenta intercalaciones de margas amarillentas, lutitas y calizas con abundantes fósiles. Se presenta un fósil de la clase Bivalvia o Lamelibranquio. Longitud: 771635 / Latitud: 9262491. Con vista al Suroeste. presenta un fósil de la clase Bivalvia o Lamelibranquio. Longitud: 771635 / Latitud: 9262491. Con vista al Suroeste.

### 3.3.2.2. Formación Cajamarca

Corresponde a la secuencia calcárea del Cretácico superior, es la formación que más destaca topográficamente por presentar escarpas de paredes inaccesibles. Esta unidad yace concordantemente sobre el Grupo Quilquiñan y con la misma relación subyace a la Formación Celendín, su afloramiento ocupa aproximadamente el 50% del área, con dirección NO-SE. Está compuesta por calizas mudstone (Textura matriz-soportada con menos del 10% de granos) de color gris oscuras o azuladas de bancos gruesos y duros, y alcanzan espesores de hasta los 300 m.

Benavides asigna a la Formación Cajamarca al Turoniano superior, dicha Formación, casi sin aporte terrígeno considerable, se ha depositado en ambiente marino profundo. (Lagos *et al.* 2006).

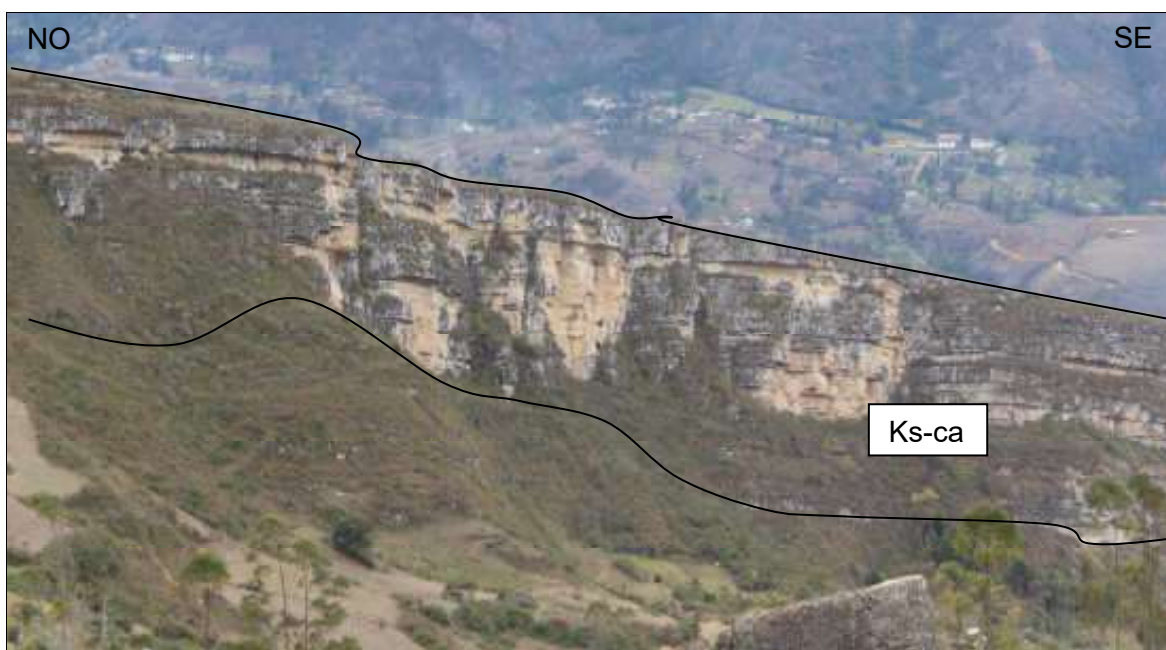


Foto 9. Fm. Cajamarca, presenta estratos gruesos de calizas, con pendiente mayor a 80°, ubicado en la margen izquierda de la quebrada Machaypungo. Longitud: 771234 / Latitud: 9262913. Con vista hacia el Noreste.

### 3.3.2.3. Formación Celendín

Constituye la última secuencia calcárea del Cretácico superior, el contacto de la Formación Celendín con la Formación Cajamarca que Infrayace es concordante, su afloramiento se encuentra en la parte central de la zona con una dirección de NO-SE, ocupando el 35 % del área, es una formación fosilífera, abundan los cefalópodos, lamelibranquios y gasterópodos. Consta de una intercalación de lutita y margas pardo amarillentas y calizas wackestone (Textura matriz-soportada con más del 10% de granos) amarillentas de espesores delgados; en el área alcanza espesores de hasta 200 metros.

Benavides (1956), asigna a la Formación Celendín el Coniaciano y Santoniano inferior.



Foto 10. Fm. Celendín, intercalación de caliza y lutita con Azimut: N 310° y Buzamiento: 72°. Ubicado en corte de carretera Machaypungo Bajo – Machaypungo Alto. Longitud: 769702 / Latitud: 9263253. Con vista hacia el Suroeste.

### 3.3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología estructural regional se caracteriza por la presencia de fallas estructurales con tendencia NO-SE. Los acuíferos ubicados en la zona investigada están alineados en dirección NO-SE, siguiendo el alineamiento de una falla normal ver ANEXO III: Mapa N° 06 Estructuras kársticas. Tres son las estructuras que predominan localmente en el área, Una falla normal con dirección NO-SE con buzamiento hacia el Suroeste, planos de estratificación con dirección NO-SE con buzamiento hacia el Noreste y una familia de diaclasas con dirección SO-NE con buzamiento hacia el Sureste.

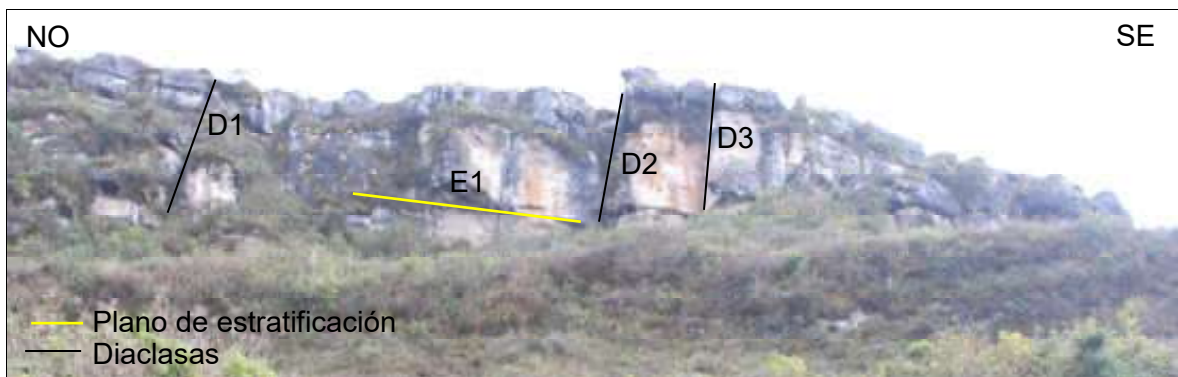


Foto 11. Diaclasas y planos de estratificación sobre la Fm. Cajamarca. Ubicado en la margen Izquierda carretera Machaypungo Bajo – Machaypungo Alto. Longitud: 769835 / Latitud: 9263518. Con vista al Noreste.

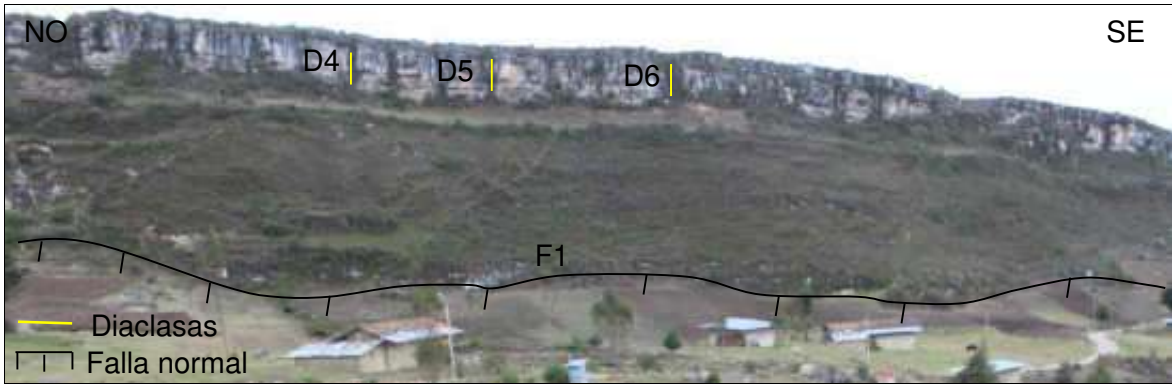


Foto 12. Falla normal local F1 con dirección NO-SE y diaclasas con dirección SO-NE. Longitud: 770127 / Latitud: 9263372. Con vista al Noreste.

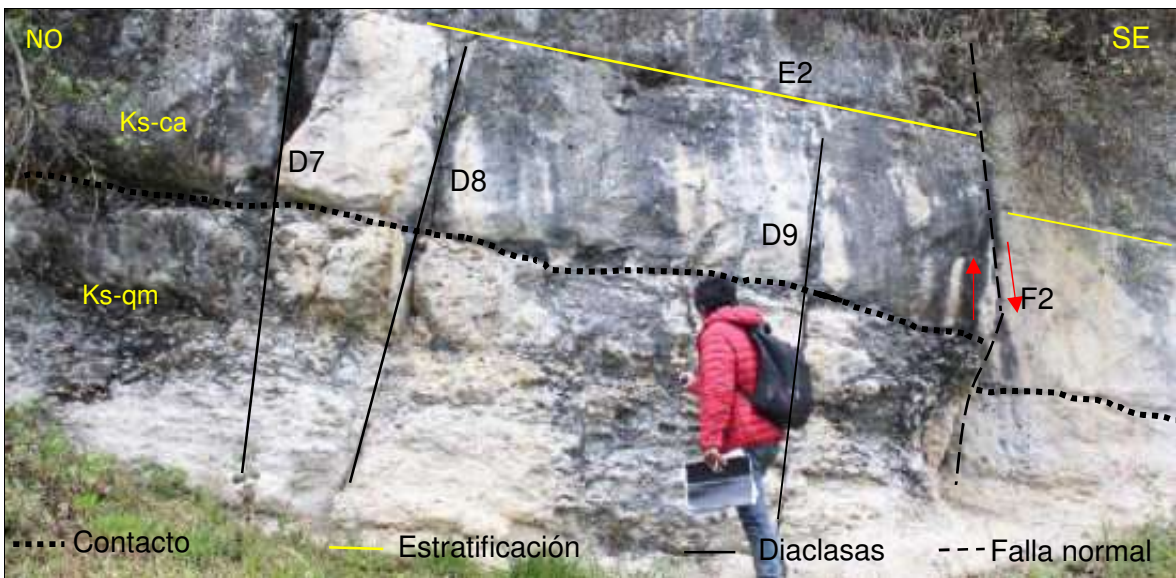


Foto 13. Estructuras del macizo roco, planos de estratificación con dirección NO-SE, diaclasas y falla con dirección SO-NE. Longitud: 768989 / Latitud: 9263750.

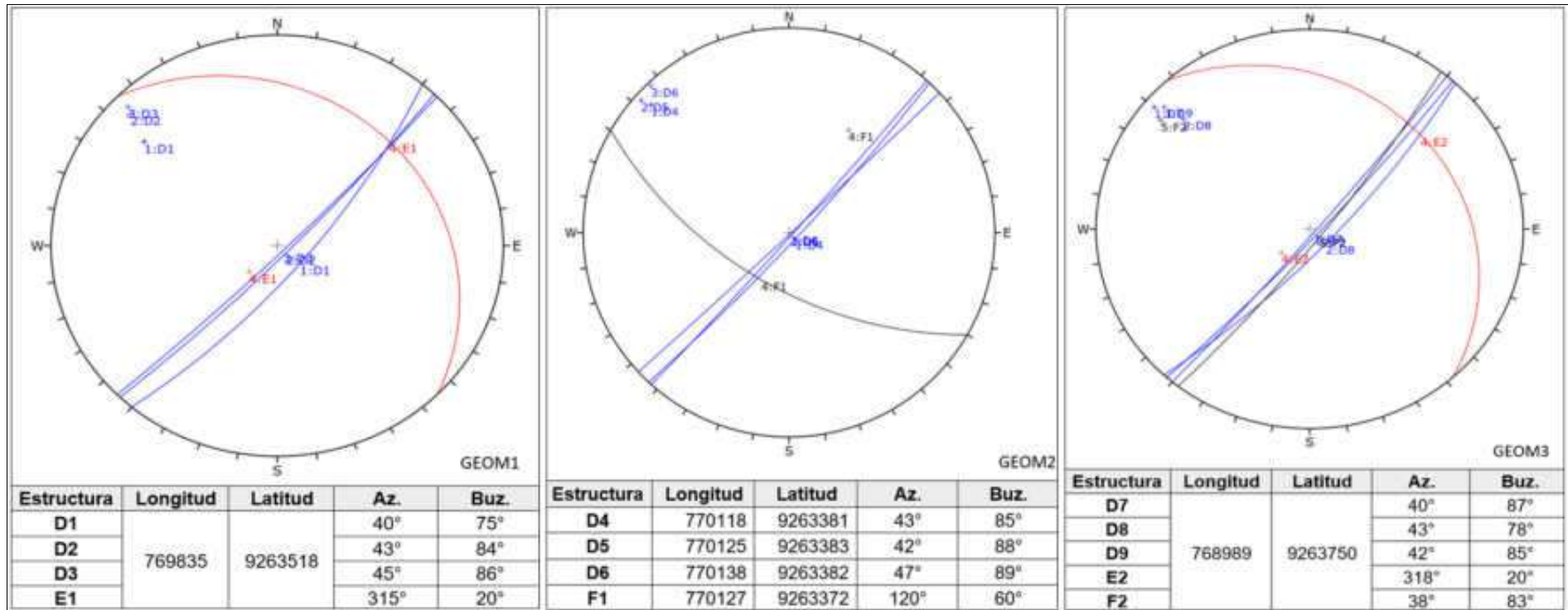


Figura 13. Datos de las familias de estructuras predominantes en el área de investigación.



### **3.4 TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Dentro del área de investigación se cartografió manifestaciones exokársticas; de las formas cerradas tenemos: 15 puntos de lapiaz y 25 dolinas; y de las formas abiertas tenemos: 6 simas, 3 sumideros, 6 cavernas, 24 surgencias y una Exurgencias.

#### **3.4.1 MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS CERRADAS**

##### **3.4.1.1 Lapiaz**

Son manifestaciones exokársticas de forma cerrada también llamadas Karren o Lenar, siendo estos la forma inicial más sencilla de los rasgos kársticos. Formadas por la disolución de rocas carbonatadas del Cretácico superior, encontrándose en el área paisajes de Lapiaz principalmente sobre la Fm. Cajamarca y Fm. Celendín.

Son las más abundantes en el área de investigación; como se muestra en la tabla 4 se han cartografiado 15 puntos de Lapiaz, de los cuales 12 de ellos se encuentran sobre la Formación Cajamarca, siendo en esta formación los que más abundan y más se han desarrollado debido a la pureza en carbonato de calcio de su litología. El ancho de surcos varía entre los 2cm hasta los 10cm; encontrándose las formas más desarrollada en el área denominada el bosque de piedras de Machaypungo, el cual tiene pendientes entre planicies y lomadas, con muy poca vegetación y afloramientos de la Formación Cajamarca, creando un ambiente propicio para la formación y desarrollo de lapiaz.

Para mejor detalle se presenta el anexo II: Registro fotográfico y la tabla 4, donde se especifican la ubicación y descripción de sus características realizadas en el campo.



Foto 14. Paisaje kárstico con lapiaz muy desarrollados, con surcos de hasta 5 cm de ancho, ubicado sobre la Formación Cajamarca en el bosque de piedras de Machaypungo. Longitud:766548 / Latitud: 9262940. Con vista al Noreste.



Foto 15. Paisaje con pendiente menor a 8° mostrando lapiaz con surcos que van desde 1 cm a 5 cm de espesor; sobre la Formación Cajamarca en el bosque de piedras de Machaypungo. Longitud: 765618 / Latitud: 9263198. Con vista al Noreste.

Tabla 3. Inventario de Lapiaz cartografiados en el área de investigación.

Unidad morfokarstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Lapiaz 1</b>	765372	9263197	Ks-Ca	Surcos de hasta 10 cm y crestas afiladas. En el dominado bosque de piedras.
<b>Lapiaz 2</b>	765780	9262812	Ks-Ca	Surcos de 2 cm. Ubicado en el bosque de piedras de Machaypungo.
<b>Lapiaz 3</b>	770012	9263186	Ks-Ce	Surcos 2 cm de espesor. En la margen izquierda de la carretera a Machaypungo.
<b>Lapiaz 4</b>	769972	9263002	Ks-Ca	Forma inicial de lapiaz. Ubicada a la margen derecha de la quebrada Machaypungo.
<b>Lapiaz 5</b>	766548	9262940	Ks-Ca	Lapiaz desarrollados, con surcos de hasta 5 cm, en el bosque de piedras de Machaypungo.
<b>Lapiaz 6</b>	765618	9263198	Ks-Ca	Surcos que van desde 1 cm a 5 cm de espesor; en el bosque de piedras de Machaypungo.
<b>Lapiaz 7</b>	769806	9263047	Ks-Ca	Crestas semi afiladas, con surcos de 3cm. En la margen derecha de la quebrada Machaypungo.
<b>Lapiaz 8</b>	770128	9262994	Ks-Ca	Surcos de 2 cm a 3 cm de ancho.
<b>Lapiaz 9</b>	770263	9262981	Ks-Ca	Surcos de aproximadamente 2 cm, en Machaypungo Bajo.
<b>Lapiaz 10</b>	770362	9262965	Ks-Ca	Surcos de 2 cm, en Machaypungo Bajo.
<b>Lapiaz 11</b>	770295	9263328	Ks-Ca	Surcos de 2 cm con cresta no muy afiladas. Ubicado entre Machaypungo bajo – Machaypungo alto
<b>Lapiaz 12</b>	770455	9263338	Ks-Ca	Surcos de 2 a 3 cm en inicio de su formación. a la margen derecha de la carretera a Machaypungo.
<b>Lapiaz 13</b>	769666	9263251	Ks-Ce	Disolución de la roca, formando oquedades y lapiaz con surcos de 3 cm.
<b>Lapiaz 14</b>	768732	9263408	Ks-Ce	Lapiaz con karstificado leve, por ser una caliza con menos pureza.
<b>Lapiaz 15</b>	770820	9262759	Ks-Ca	Surcos de 2 cm de espesor, ubicado a un costado de la carretera Machaypungo Bajo – Machaypungo Alto.

### 3.4.1.2 Dolinas

Depresiones aproximadamente circulares u ovaladas producto de la disolución de rocas carbonatadas del Cretácico superior en las Formaciones Quilquiñan Mujarrum, Cajamarca y Celendín; formándose a partir de las intersecciones de diaclasas con dirección predominante SO-NE, con la dirección NO-SE de la estratificación y de la falla normal que atraviesa el área; en el cual predomina la dirección de la estratificación dando así un alineamiento NO-SE de las dolinas cartografiadas, ver figura 13 y anexo III: Mapa N° 6. En el cual se muestra la dirección preferente en la que se alinean las dolinas.

Para mejor detalle se presenta el Anexo II: Registro fotográfico, Anexo III: Mapa N° 6 Estructuras kársticas y la tabla 5, donde se especifican la ubicación y descripción de sus características realizadas en el campo.

Se han cartografiado un total de 25 dolinas, de las cuales 20 están sobre la Formación Celendín, en las dolinas formadas se observa en su mayoría vegetación y terra rosa producto de la disolución de carbonatos. Sus dimensiones varían entre 1.5m x 2m la más pequeña y la más grande de 40m x 15m.

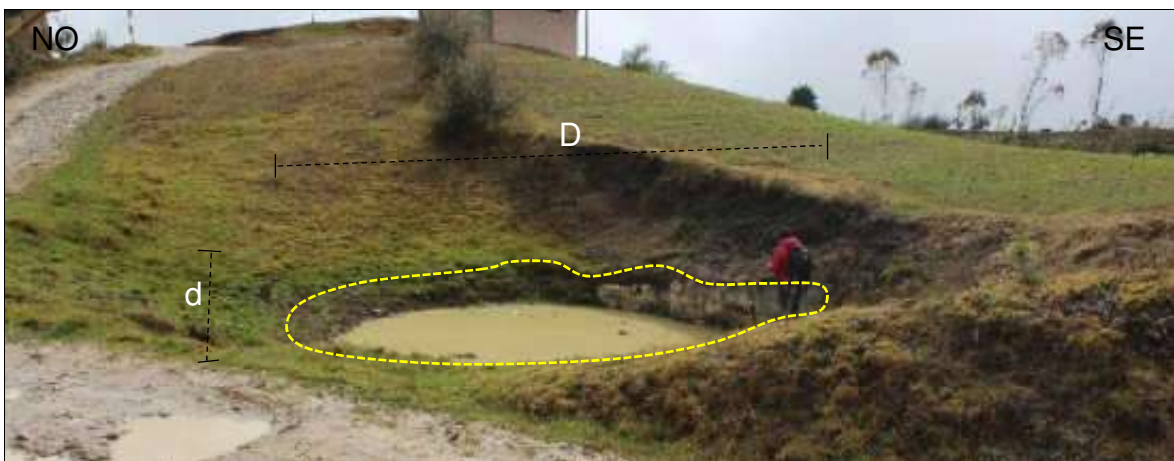


Foto 16. Depresión ovalada de terreno con dimensiones: D: 7m. / d: 4m. Sobre la Fm. Celendín a un costado de la carretera Machaypungo – La Unión. Longitud: 766432 / Latitud: 9263499. Con vista al Noreste.

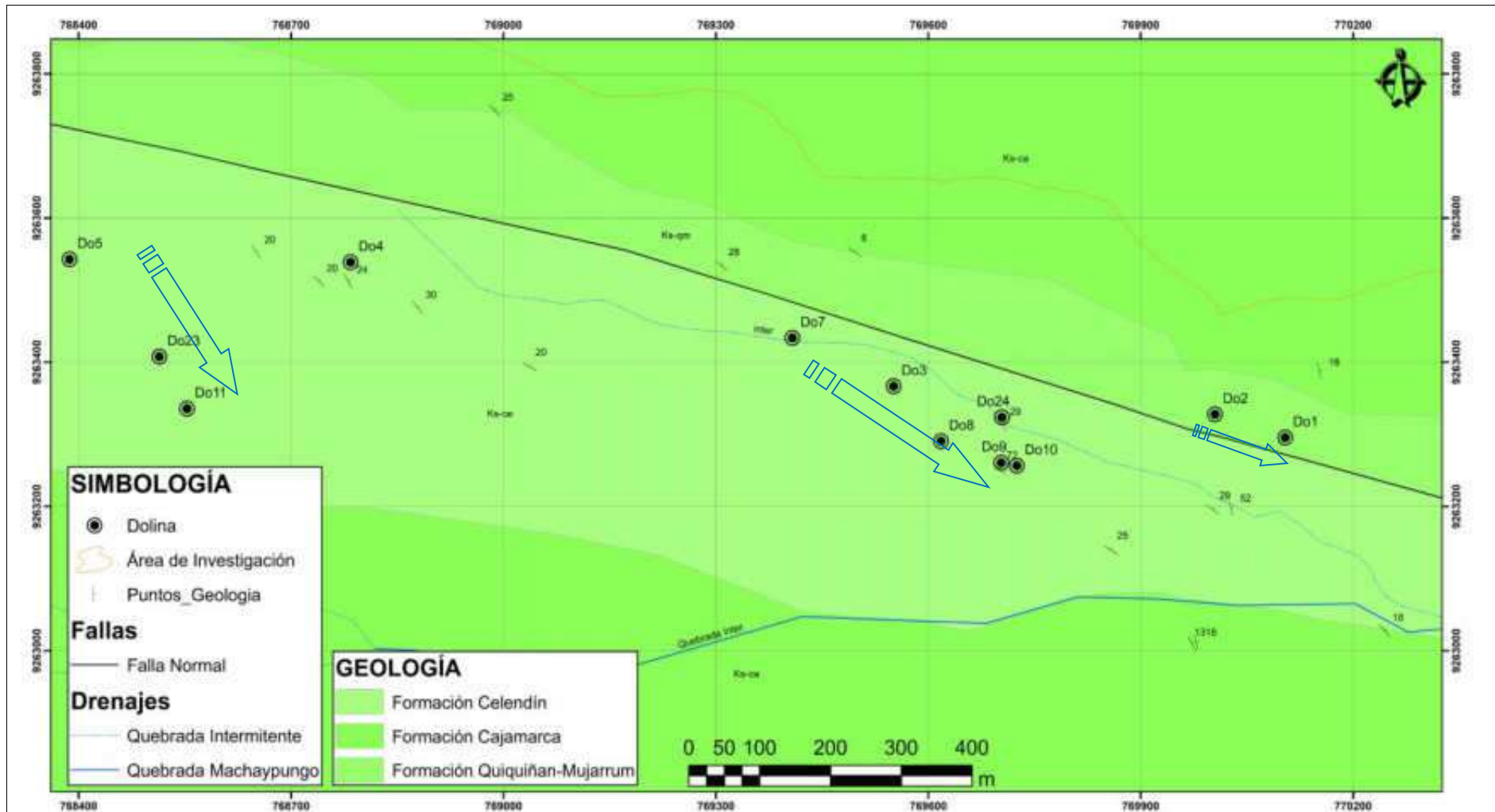


Figura 14. Dolinas (Do) alineadas en dirección NO-SE (Dirección de flechas), siguiendo la dirección de la estratificación.

Tabla 4. Inventario de Dolinas cartografiadas en el área de investigación. Describiendo sus dimensiones de la siguiente manera: Diámetro mayor D, diámetro menor d.

Unidad morfokarstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Dolina 1</b>	770104	9263296	Ks-qm	Dimensiones D: 2.5 m. x d: 1 m. Al costado de la carretera a Machaypungo Alto – Machaypungo Bajo; presencia Vegetación.
<b>Dolina 2</b>	770005	9263328	Ks-qm	Dimensiones D: 3.5 m. x d: 1.5 m. Con abundante vegetación en el centro de la dolina.
<b>Dolina 3</b>	769551	9263367	Ks-Ce	Dimensiones D: 3 m. x d: 1.5 m. Presencia de Vegetación.
<b>Dolina 4</b>	768784	9263539	Ks-Ce	Dimensiones D: 1.5 m. x d: 2 m. Presencia de Vegetación.
<b>Dolina 5</b>	768387	9263543	Ks-Ce	Dimensiones D: 2.5 m. x d: 1m. Presencia de Vegetación.
<b>Dolina 6</b>	768290	9263532	Ks-Ce	Dimensiones D: 25 m. x d: 10 m. Con abundante vegetación
<b>Dolina 7</b>	769408	9263434	Ks-Ce	Dimensiones D: 5 m x d: 2 m. Costado de la carretera Machaypungo Alto – Machaypungo Bajo; presencia de Vegetación.
<b>Dolina 8</b>	769618	9263291	Ks-Ce	Dimensiones D: 4 m. x d: 2.5m. Con abundante vegetación.
<b>Dolina 9</b>	769703	9263261	Ks-Ce	Dimensiones D: 10 m x d: 5 m. Con sembríos de maíz a un costado de la carretera.
<b>Dolina 10</b>	769725	9263257	Ks-Ce	Dimensiones D: 7 m x d: 2 m. Con vegetación.
<b>Dolina 11</b>	768553	9263336	Ks-Ce	Dimensiones D: 10m. x d: 3.5 m. Sobre terreno de uso para pastoreo de ganado.
<b>Dolina 12</b>	768347	9263339	Ks-Ce	Dimensiones D: 2.5 m. x d: 3 m. Con vegetación.
<b>Dolina 13</b>	766432	9263499	Ks-Ce	Dimensiones D: 7m. x d: 4m. Con presencia de agua acumulada, en Machaypungo Alto.
<b>Dolina 14</b>	766515	9263809	Ks-Ce	Dimensiones D: 4m. x d: 3m. Ubicada en Machaypungo Alto.
<b>Dolina 15</b>	766525	9263824	Ks-Ce	Dimensiones D: 15m. x d: 8m. Con vegetación, ubicada en Machaypungo Alto.
<b>Dolina 16</b>	766494	9263902	Ks-Ce	Dimensiones D: 12m. x d: 6m. Ubicado en Machaypungo Alto.
<b>Dolina 17</b>	766535	9263380	Ks-Ca	Dimensiones D: 25m. x d: 20m. Con vegetación y presencia de terra rosa.
<b>Dolina 18</b>	766910	9263344	Ks-Ca	Dimensiones D: 10m. x d: 4m. Con presencia de terra rosa.

Unidad morfokárstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Dolina 19</b>	767089	9263377	Ks-Ca	Dimensiones D: 8m. x d: 4m. Con presencia de terra rosa y agua acumulada.
<b>Dolina 20</b>	767518	9263427	Ks-Ce	Dimensiones D: 10m. x d: 4m. Con poca vegetación.
<b>Dolina 21</b>	767520	9263290	Ks-Ce	Dimensiones D: 15m. x d: 7m. Con abundante vegetación.
<b>Dolina 22</b>	767905	9263615	Ks-Ce	Dimensiones D: 18m. x d: 10m. Con abundante vegetación
<b>Dolina 23</b>	768514	9263408	Ks-Ce	Dimensiones D: 2.5m. x d: 1.5m. Con terra rosa y vegetación. A un costado de la carretera.
<b>Dolina 24</b>	769704	9263324	Ks-Ce	Dimensiones D: 40m. x d: 15m. Aflora la Formación Celendín y además tiene presencia de terra rosa y vegetación.
<b>Dolina 25</b>	768120	9263454	Ks-Ce	Dimensiones D: 15m. x d: 12m. Con vegetación, ubicado en Machaypungo Alto.

### 3.4.2. MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS ABIERTAS

#### 3.4.2.1. Sumideros

Manifestaciones exokársticas que absorbe agua de manera masiva en las crecidas de las quebradas, principalmente en las épocas de lluvia. En el área se logró identificar 3 sumidero, 1 en la Formación Celendín y 2 en la Formación Cajamarca. El de mayor tamaño tiene 4m x 3m.

El sumidero 2 está ubicado en el cauce de la quebrada Machaypungo, el cual en sus épocas de lluvia absorbe todo su caudal que llega hasta el punto en que está ubicado. Para mayor detalle se presenta el Anexo II: Registro fotográfico, Anexo III: Mapa N° 6 Estructuras kársticas y la tabla 6.



Foto 17. Sumidero con dimensiones de 25 cm x 30 cm. absorbe el total de escorrentías que se da en tiempo de lluvias. Ubicado entre Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto. Longitud: 768711 / Latitud: 9263498.

Tabla 5. Inventario de sumideros cartografiadas en el área de investigación.

Unidad morfokarstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Sumidero 1</b>	768324	9263191	Ks-Ca	Absorción total de caudal de escorrentías en tiempo de lluvias. La abertura es de 4m x 3m. Presenta abundante vegetación a su alrededor.
<b>Sumidero 2</b>	769920	9263072	Ks-Ca	Absorción total de caudal de escorrentías en tiempo de lluvias. Con dimensiones de 50cmx40cm. Usado por los aldeaños como basurero
<b>Sumidero 3</b>	768711	9263498	Ks-Ce	Absorción total de caudal de escorrentías en tiempo de lluvias. Dimensiones de 25 cm x 30 cm.



### 3.4.2.2. Simas

Formas kársticas abiertas, las cuales se han formado sobre intersecciones de diaclasas o fallas con la estratificación de las rocas sedimentarias de la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán, Formación Cajamarca y Formación Celendín. En el área se cartografió 6 simas; 3 en la Formación Celendín, 2 en la Formación Cajamarca y 1 en la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán. 2 de las simas se ubican en el cauce de la quebrada Machaypungo, pero no absorben el total de la escorrentía. Con una abertura promedio de 0.5 m x 0.5 m y una absorción lenta del agua.

Para mayor detalle se presenta el Anexo II: Registro fotográfico, Anexo III: Mapa N° 6 Estructuras kársticas y la tabla 7.



Foto 18. Sima en el cual existe infiltración lenta del agua de escorrentías en la quebrada Machaypungo en las épocas de lluvia. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 770537. Latitud: 9263013. Con vista al Este.

Tabla 6. Inventario de simas cartografiadas en el área de investigación.

Unidad morfo-kárstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Sima 1</b>	766486	9263780	Ks-Ce	Evolución de una dolina a sima, en el cual existe infiltración lenta. Con una abertura de (0.5m x 0.5m)
<b>Sima 2</b>	769681	9263038	Ks-Ce	Ubicada en el Cauce de la quebrada Machaypungo con abertura de (0.5mx0.5m)
<b>Sima 3</b>	769974	9263011	Ks-Ca	Infiltración lenta del agua de escorrentías en los tiempos de lluvia. Con abertura de (1.5mx1m)
<b>Sima 4</b>	770037	9263009	Ks-Ca	Sima con abertura de (1mx1m). infiltración lenta del agua acumulada por lluvias.
<b>Sima 5</b>	770537	9263013	Ks-Ce	Ubicada en el Cauce de la quebrada Machaypungo. Con abertura de (0.75mx1m)
<b>Sima 6</b>	770833	9263127	Ks-qm	Ubicada en Machaypungo Bajo, absorbe el agua en tiempos de lluvia. Con abertura de (1mx1m)

### 3.4.2.3. Cavernas

Conductos de circulación de agua subterránea; se ha cartografiado 5 conductos subterráneos antiguo, Según pobladores actual mente también circula una mínima cantidad de agua, pero solo en los periodos de lluvia, todos se encuentra sobre la Formación Cajamarca, en la parte alta del área de investigación, sobre los 3500 msnm. y con ingreso al interior que no superan los 15 metros accesibles; por deterioro y/o disminución del área en el interior.

Las cavernas tienen un desarrollo principal siguiendo la estratificación de las rocas sedimentarias de la Formación Cajamarca. Para mayor detalle se presenta el Anexo II: Registro fotográfico, Anexo III: Mapa N° 6 Estructuras kársticas y la tabla 8.



Foto 19. Formación de Caverna siguiendo el buzamiento de la estratificación de la Fm. Cajamarca. Con 1.20 m de alto y 1.5 m de ancho. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 765345 / Latitud: 9263080. Con vista al Noreste.



Foto 20. Interior de la caverna 3 con alto de hasta 2m y profundidad máxima accesible de 15 m.

Tabla 7. Inventario de simas cartografiadas en el área de investigación.

Unidad morfokárstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Caverna 1</b>	765345	9263080	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.2mx1.5m) siguiendo la estratificación y 10 metros de interior accesible.
<b>Caverna 2</b>	765521	9262995	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.5mx1.5m), Con abundante vegetación en la entrada y 8 metros accesibles al interior.
<b>Caverna 3</b>	765937	9262801	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.1 mx2.5m), siguiendo la estratificación y 15m accesibles al interior.
<b>Caverna 4</b>	765187	9263207	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.65mx1.1m), Siguiendo diaclasa y 10m accesibles al interior.
<b>Caverna 5</b>	765758	9262964	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1mx1.5m), con abundante vegetación y 8 metros accesibles al interior.

#### 3.4.2.4. Surgencias

Manantiales de pequeños caudales, formados en la intersección de diaclasas o fallas con la estratificación. Las surgencias pueden ser permanentes o intermitentes, a tenor de que funcione continuamente o sólo lo hagan en determinados periodos. Ello depende no sólo del caudal alimentador, sino también de las características de la topografía de los conductos por donde circula el agua. En el área de investigación se han cartografiado 24 surgencias entre permanentes e intermitentes; 11 sobre la Formación Celendín, 4 en la Formación Cajamarca y 9 en la Formación Mujarrum y Grupo Quilquiñán. Estas surgencia tienen un alineamiento preferencial de NO-SE, la misma dirección de la estratificación. Para mayor detalle se presenta el Anexo II: Registro fotográfico, Anexo III: Mapa N° 6 Estructuras kársticas y la tabla 9.



Foto 21. Surgencia permanente, pero con variación de caudal según época del año, el cual ha sido captada en posa artificial. Usada por los pobladores para consumo humano en naciente y consumo de ganado en el área captada. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 768963 / Latitud: 9263552



Foto 22. Surgencia Captada para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771600 / Latitud: 9262449

Tabla 8. Inventario de Surgencias cartografiadas en el área de investigación.

Unidad morfo-kárstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Surgencia 1</b>	768523	9262960	Ks-Ca	Surgencia intermitente, con agua principalmente en los meses de lluvia; aporta caudal a la quebrada Machaypungo.
<b>Surgencia 2</b>	768288	9263094	Ks-Ca	Permanente, pero con variación de caudal según época del año, aporta caudal a la quebrada Machaypungo.
<b>Surgencia 3</b>	767731	9263187	Ks-Ca	Surgencia intermitente captada para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Alto.
<b>Surgencia 4</b>	768963	9263552	Ks-Ce	Permanente, el cual ha sido captada en posa artificial.
<b>Surgencia 5</b>	768822	9263640	Ks-qm	Permanente, pero con pequeñas variaciones durante el año, el cual aporta caudal a la quebrada Machaypungo.
<b>Surgencia 6</b>	768824	9263646	Ks-qm	Permanente, pero con variación de caudal según época del año, aporta caudal a la quebrada Machaypungo.
<b>Surgencia 7</b>	769430	9263508	Ks-qm	Permanente, captada por los pobladores para el consumo de ganado.
<b>Surgencia 8</b>	769436	9263531	Ks-qm	Permanente captada. Usada para consumo humano. En Machaypungo Bajo.
<b>Surgencia 9</b>	769463	9263479	Ks-qm	Permanente con pequeñas variaciones durante el año; usada para consumo humano.
<b>Surgencia 10</b>	769862	9263344	Ks-Ce	Captada y almacenada en reservorio para consumo humano.
<b>Surgencia 11</b>	769979	9263235	Ks-Ce	Permanente que aporta su caudal a la quebrada Machaypungo. Ubicada en Machaypungo Bajo.
<b>Surgencia 12</b>	770545	9263184	Ks-qm	Manantial intermitente. Captado para consumo humano.
<b>Surgencia 13</b>	770746	9263125	Ks-qm	Manantial captado para consumo humano.
<b>Surgencia 14</b>	770915	9263070	Ks-qm	Permanente y usado por los pobladores para consumo de su ganado.
<b>Surgencia 15</b>	771066	9263012	Ks-qm	Permanente con pequeñas variaciones durante el año, usada para consumo humano
<b>Surgencia 16</b>	771243	9262821	Ks-Ce	Permanente con pequeñas variaciones, usada para consumo humano
<b>Surgencia 17</b>	771600	9262449	Ks-Ce	Captada para consumo humano.

Unidad morfo-kárstica	Coordenadas		Formación	Descripción
	Longitud	Latitud		
<b>Surgencia 18</b>	766435	9263657	Ks-Ce	Permanente con pequeñas variaciones durante el año, usada para ganadería.
<b>Surgencia 19</b>	766549	9263779	Ks-Ce	Permanente, usada para consumo humano.
<b>Surgencia 20</b>	767168	9263519	Ks-Ce	Intermitente, usada como fuente de agua para ganadería
<b>Surgencia 21</b>	770225	9263013	Ks-Ca	Manantial intermitente captado.
<b>Surgencia 22</b>	770885	9262945	Ks-Ce	Intermitente, aporta su caudal a la quebrada Machaypungo.
<b>Surgencia 23</b>	771184	9262804	Ks-Ce	Permanente, aporta su caudal a la quebrada Machaypungo.
<b>Surgencia 24</b>	771235	9262732	Ks-Ce	Permanente, aporta caudal a la quebrada Machaypungo.

### 3.4.2.5. Exurgencias

Fue encontrada una exurgencia en la parte más baja del área de investigación, denominada los tres chorros, la cual está en el mismo alineamiento de los manantiales y la falla normal que atraviesa el área de investigación. Actualmente es captada, procesada y distribuida como agua potable. Teniendo las siguientes coordenadas Longitud: 771850 Latitud: 9262089, Ubicada sobre la formación Cajamarca.



Foto 23. Exurgencia denominada los 3 chorros de agua proveniente de aparato kárstico de Machaypungo, con caudal permanente y pequeñas variaciones durante el año, captada por SEDABAM para abastecer de agua potable a la ciudad de Bambamarca.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS DE LAS MANIFESTACIONES EXOKÁRSTICAS

Como resultado de la investigación se obtuvo un inventario de las unidades morfokársticas con sus respectivas descripciones, la cual se presenta en el Anexo I. y un mapa donde se ha plasmado sus ubicaciones, Anexo III: Mapa N°6 Estructuras kársticas. Siendo un total de 15 Puntos de zonas de Lapiaz, 25 dolina con alineamiento preferencial, 3 sumideros, 6 simas, 5 cavernas, 24 surgencias y 1 exurgencias; las dolina, simas, sumideros y manantiales tienen un alineamiento preferencial de NO-SE, siendo esta la dirección de la estratificación.

A continuación, se presenta en la tabla 10 y tabla 11, la cantidad y el porcentaje de las unidades morfokársticas distribuidas en cada formación geológica presente en el área.

Tabla 9. Cantidad numérica de las unidades morfokársticas presentes en cada Formación Geológica.

Resultados del Cartografiado Kárstico		Formación Geológica			TOTAL	
		Fm. Mujarrun y Grp. Quilquiñán	Formación Cajamarca	Formación Celendín		
Unidades Morfokárstica	Formas Cerradas	Lapiaz	0	12	3	15
		Dolinas	2	3	20	25
	Formas Abiertas	Sumideros	0	2	1	3
		Simas	1	2	3	6
		Cavernas	0	5	0	5
		Surgencias	9	4	11	24
		Exurgencias	0	1	0	1



Tabla 10. Cantidad porcentual de las unidades morfokársticas presentes en cada Formación Geológica.

Resultados del Cartografiado Kárstico		Formación Geológica			TOTAL	
		Fm. Mujarrun y Grp. Quilquiñán	Formación Cajamarca	Formación Celendín		
Unidades Morfokárstica	Formas Cerradas	Lapiaz	0%	80%	20%	100%
		Dolinas	8%	12%	80%	100%
	Formas Abiertas	Sumideros	0%	66.70%	33.30%	100%
		Simas	16.70%	33.30%	50%	100%
		Cavernas	0%	100%	0%	100%
		Surgencias	37.50%	16.70%	45.80%	100%
		Exurgencias	0%	100%	0%	100%

#### 4.2. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

A continuación, se muestra un tratamiento estadístico mediante gráficos para cada unidad morfokárstica presente en el área de investigación; donde muestra el porcentaje distribuido en las Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán, Formación Cajamarca y Formación Celendín Celendín. Ver Figura 14 – 21.

## Lapiaz

El lapiaz es la unidad morfokarística que más abunda en el área investigada; y según distribución del cartografiado tenemos que la mayor cantidad de Lapiaz se encuentran en la Formación Cajamarca, teniendo esta el 80% de los lapiaz y la Formación Celendín el 20 %. Ver figura 14.

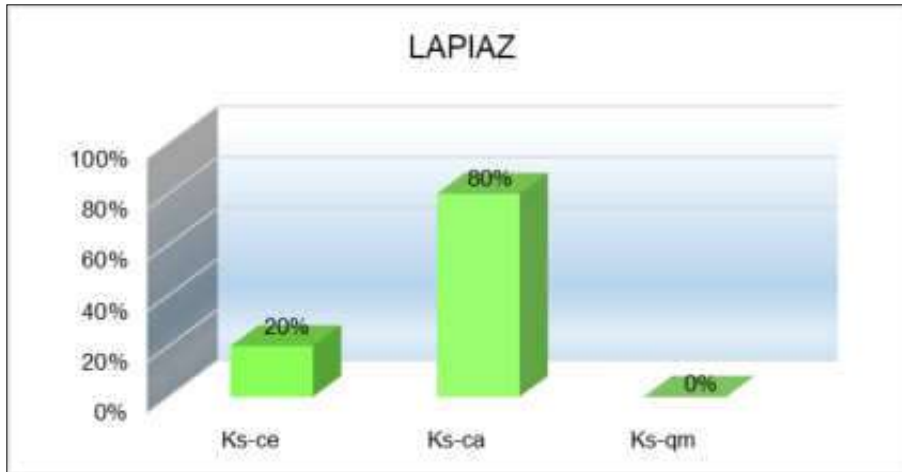


Figura 15. Porcentajes de lapiaz encontrados en cada formación geológica.

## Dolinas

Las dolinas son abundantes en esta zona, y según el cartografiado se encontraron dolinas en las tres Formaciones geológicas que afloran dentro del área investigada, presentándose la mayor cantidad en la Formación Celendín el cual tiene el 80% de las dolinas, en la Formación Cajamarca esta el 12% y en la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán el 8%. Ver figura 15.



Figura 16. Porcentaje de dolinas encontradas en cada formación geológica.

## Sumideros

Se encontraron 3 sumideros dentro del área, que según distribución del cartografiado tenemos que dos de ellos están en la Formación Cajamarca el cual representa el 66.70% y uno sobre la Formación Celendín el cual representa el 33.30%. Ver figura 16.

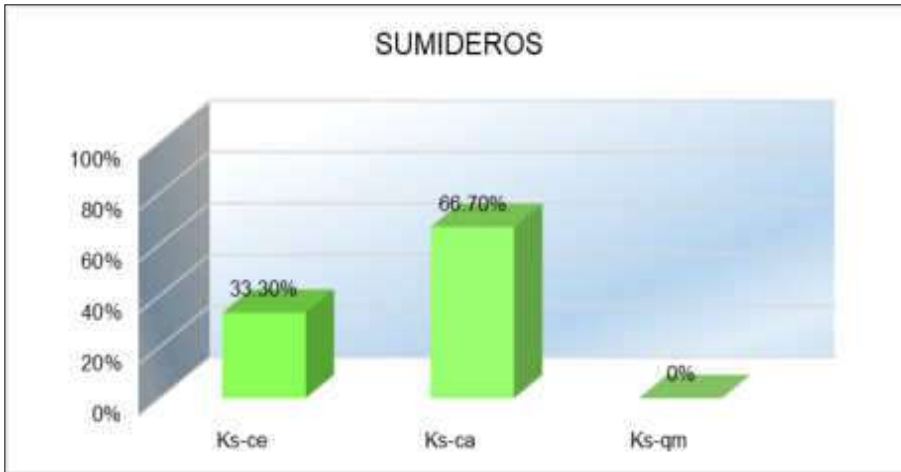


Figura 17. Porcentajes de sumideros encontrados en cada formación geológica.

## Simas

Las simas encontradas según cartografiado en el mapa de estructuras kársticas, tenemos que el 50% se encuentran en la Formación Celendín, el 33.30% están en la Formación Cajamarca y el 16.70% restante se encuentra en la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán. Ver figura 17.

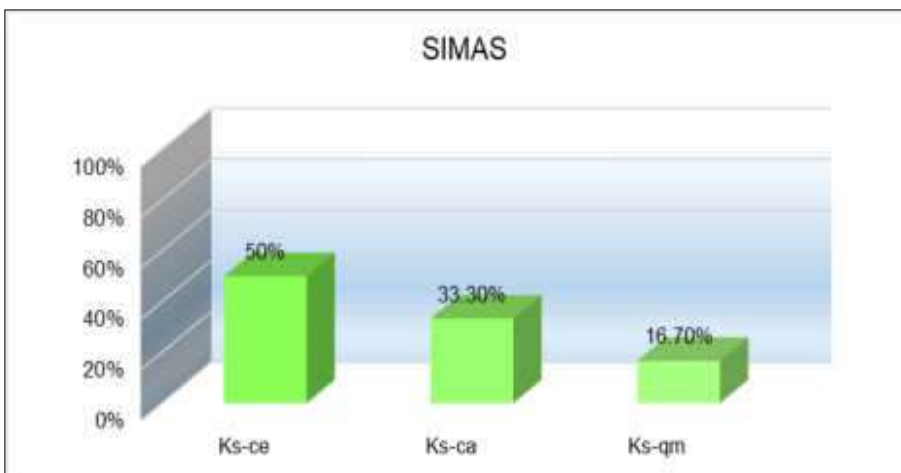


Figura 18. Porcentajes de las simas encontradas en cada formación geológica.

## Cavernas

Se cartografió cinco cavernas en el área de investigación, las cuales están sobre los 3500 m s.n.m. El resultado de la cartografía da que todas las cavernas se encuentran en la Formación Cajamarca, representada así en esta formación geológica el 100 %. Ver figura 18.

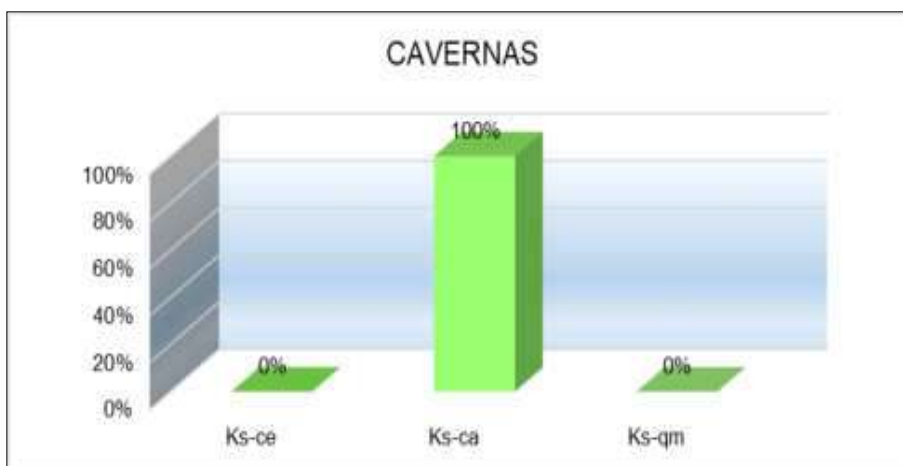


Figura 19. Porcentaje de las cavernas encontradas en cada formación geológica.

## Surgencias

Las surgencias o manantiales de poco caudal son una de las unidades más abundantes en el área de investigación, están presentes en las tres formaciones geológicas. La Formación Celendín tiene la mayoría de surgencias, siendo estas el 45.80%, en la Formación Cajamarca se encuentra el 16.70% y el 37.50% restante está sobre la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán. Ver figura 19.



Figura 20. Porcentaje de los manantiales encontrados en cada formación geológica.

## Exurgencias

En el área de investigación fue encontrada una sola exurgencia, por la cual emana el agua del aparato kárstico de Machaypungo, esta exurgencia según cartografiado se encuentra en la Formación Cajamarca, representando aquí el 100%. Ver figura 20

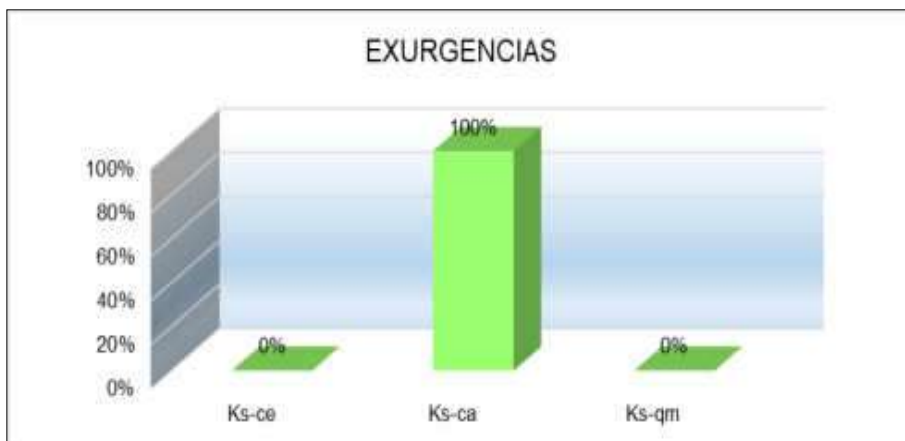


Figura 21. Porcentaje de la exurgencia en cada formación geológica.

En el área de investigación se encontraron formas kársticas en las tres formaciones geológicas aflorantes, en la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán se encontraron simas, dolinas y las que más abundan fueron las surgencias representando el 75%. en la Formación Cajamarca se encontraron todas las unidades morfokársticas, pero la que más abundan son los lapiaz con un 41.37% y en la Formación Celendín se encontraron simas, surgencias las más abundantes son las dolinas con un 52.63%. Ver figura 21.

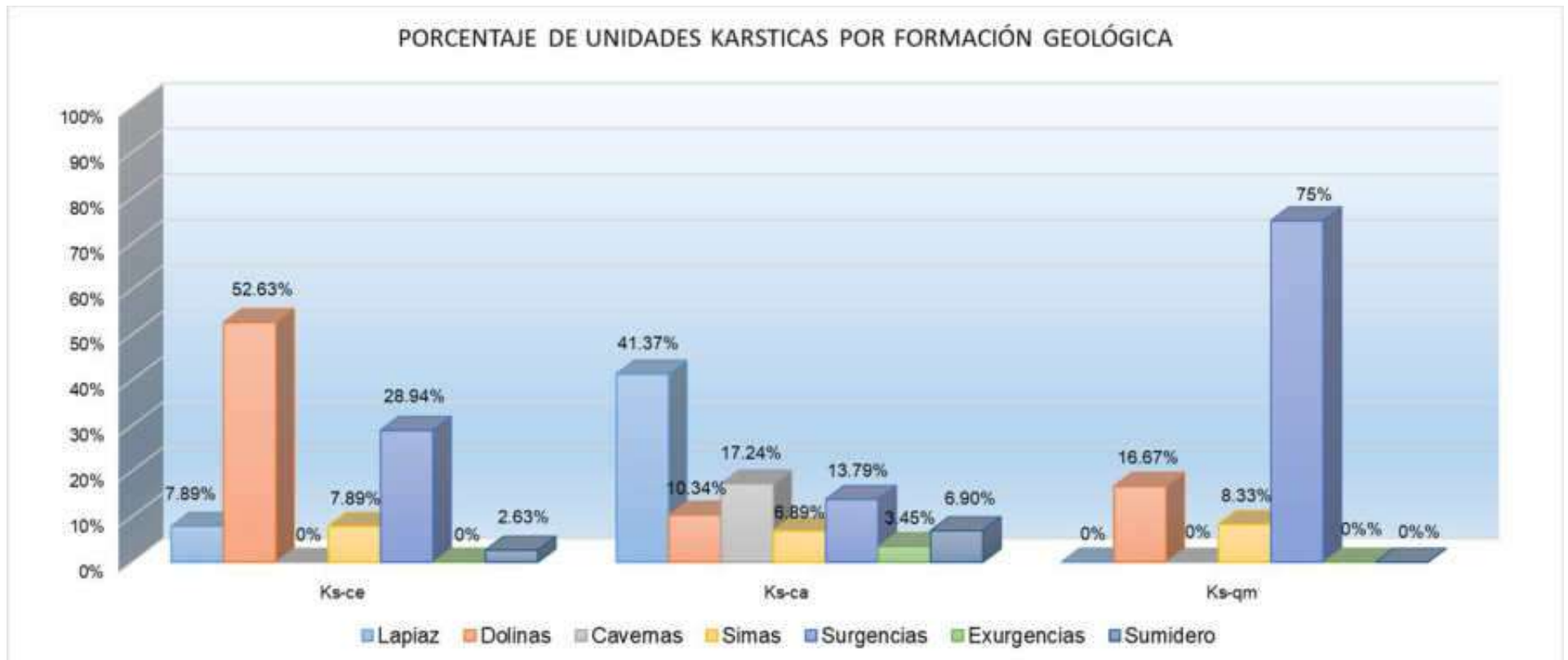


Figura 22. Representación porcentual de las unidades morfokársticas dentro de cada formación geológica.

### **4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

De acuerdo a las variables dependientes en el caserío de Machaypungo se tienen un clima lluvioso, semifrío y húmedo; Controles estructurales como la estratificación que tiene una dirección de NO-SE, las que son intersectadas por una familia de diaclasas que tienen dirección SO-NE; con litología principalmente de rocas carbonatadas que son las calizas y el tiempo suficiente de exposición de las rocas en la superficie para desarrollar la karstificación. Teniendo así todas las condiciones favorables para el proceso de karstificación.

El proceso de karstificación en el área de investigación ha dado como resultado manifestaciones exokársticas, dentro de ellas tenemos formas cerradas: como lapiaz y dolinas. Formas abiertas como: cavernas, simas, sumideros, surgencias y una exurgencia. Estas unidades morfokársticas se han desarrollado sobre rocas carbonatadas de la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán, Formación Cajamarca y Formación Celendín. Las evidencias tomadas se describieron en el inventario y se plasmaron en el mapa de estructuras kársticas, así la hipótesis inicialmente planteada se contrastó.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Las rocas carbonatadas presentes en el área de investigación han sufrido karstificación debido a sus condiciones favorables como el tipo de roca (entre ellas calizas mudstone, wackestone y packstone) carbonatadas de la Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán, Formación Cajamarca y Formación Celendín, las estructuras geológicas adecuadas (Estratificación, Fallas y diaclasas, intersectándose entre ellas), el clima adecuado (Lluvioso, frío y húmedo) y el tiempo suficiente de exposición en la superficie para desarrollar la karstificación.

En el inventario de estructuras kársticas, se identificó 79 manifestaciones kársticas, entre ellas formas cerradas: de las cuales 15 son puntos en zonas de lapiazes, 25 dolinas, Formas abiertas: 3 sumideros, 6 simas, 5 cavernas, 24 surgencias y 1 exurgencia.

En el mapa de estructuras kársticas, mediante tratamiento estadístico se pudo determinar: Que la mayor cantidad de lapiaz (80%) están en la Formación Cajamarca. La mayor cantidad de dolinas (80%) fueron identificadas en la formación Celendín. La mayor cantidad de sumideros (66.70%) se encuentran en la Formación Cajamarca. La mayor cantidad de simas (50%) están en la Formación Celendín. El 100% de las cavernas fueron identificadas en la Formación Cajamarca. La mayor cantidad de surgencias (45.8%) fueron identificadas en la Formación Celendín y la única exurgencia hallada está en la Formación Cajamarca.



Las manifestaciones kársticas, principalmente dolinas, simas, sumideros y surgencias están alineados con una dirección de NO-SE, dirección de la estratificación y falla normal.

Al Sureste se ubica la exurgencia denominada los tres chorros, del cual emana el agua del aparato kárstico.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Las autoridades deben realizar un estudio ampliando el área de investigación (abarcar caserío el Auque), para poder definir mejor la geología e hidrogeología y poder inventariar la presencia de manantiales y el estudio de sus aguas para su aprovechamiento hídrico.

El estado debe realizar un estudio de espeleología a detalle de las cavernas 1, 2 y 3 para identificar cuáles pueden ser promovidas para turismo.

Los paisajes (Bosque de piedras) ubicados en Machaypungo alto, podrían ser promovidos por sus autoridades como atractivos turísticos, para un desarrollo sostenible como medio de vida para la comunidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABY, P. ET AL. (2018). Control tectónico de los sistemas kársticos de Chachapoyas y Alto Mayo (Nor Perú). II Simposio internacional del karst 2018. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- BAKALOWICZ, M. (1975). Géochimie des eaux karstiques et karstification. Symp.Internat.Karst, Grenade. En: Ann.Spéléol, p. 581-589.
- BAKALOWICZ, M. (1979). Contribution de la géochimie des eaux á la connaissance de l'acuífere karstique et de la karstification. Thése Doct.Sci.Nat., Lab.Sut.CNRS: 269 p.
- BAKALOWICZ, M. (1982). La genése de l'acuífere karstique vue par un geochimiste. Karst Larra 82; Publ.Serv.Geol.Dip.Navarra: p. 159-174.
- BAKALOWICZ, M. (1986). De l'hydrogeologie en karstologie. Jorn.Karst. Euskadi, Comunicaciones (2): p. 105-129.
- BENAVIDES, V. (1956). Cretaceous System in Northern Peru. Bull. Amer. Nat. Hist. New York, Vol. 108
- BOGLI, A. (1964). Corrosion par mélange des eaux. Int.Jour.Spéléol., p. 61-70.
- CAVILLE, A. (1970). L'evolution des grottes au Quaternaire dans la France méridionale. Bull.Soc.Hist.Nat.Toulousse, 106(1): p. 41-53.
- GALAN, C. (1991). Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado.
- DÁVILA, B. (2011). Diccionario geológico. Arth Grouting SAC. Callao. P. 155,505,669,791.
- FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE ESPELEOLOGÍA, (1995). Introducción a la geología kárstica. 1995. Imprimeix, Badalona 43-78 111-119.

- GASCOYNE. M. & D. FORD. (1984). Uranium series dating of speleothems, part II: results of Yorkshire Dales and implications for cave development and quaternary climates. *Cave Science*, p. 65 -85.
- GEZE, B. (1965). Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires. *Chron.Hydrogeol, BRGM*, 7: 9-39.
- GEZE, B.(1974). Le "trou" et son "environnement". *Spelunca Mémoires*, 8: 43-47.
- GONZÁLES H. (1997) Obtenida de Agrupación espeleologica Ramaliega. Recuperado de: <http://www.ramales.com/cuaderno/geomor.htm>
- GRACIA, P & GUTIERREZ (1999) Geomorfología karstica de las cuevas de Gallocanta y Jiloca (provincia de Teruel). *Teruel*, 29-68.
- HOWARD, A. (1964). Process of limestone cave development. *Int. Jour. Speleol.* p. 47-60.
- LAGOS, A. ET AL (2006). Aportes al análisis de cuencas sedimentarias en los alrededores de las localidades de Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca. *Boletín del XIII Congreso Peruano de Geología. Publicación especial n° 7. Lima-Perú.*
- LLOPIS, LN. (1952). "Sobre algunos principios fundamentales de hidrología cárstica". *Speleon. T. III, núms. 1-2*, p. 33-69.
- MANGIN, B. (1975). Contribution á l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Thèse Doct. Sci. Nat. En: Ann. Spéléol.*, p. 283-332.
- MANGIN, B. 1982. L'approche systemique du karst, consequences concep tuelles et methodologiques. *Karst Larra 82, Publ. Serv. Geol. Dip. Navarra*, 141-157.
- MARIN, K. (2014). caracterización de karstificación en rocas carbonatadas en las localidades de Cruzpampa y el Tingo Cajamarca- 2013. *Cajamarca 2014.*
- MAYTA, R. (2011). "Caracterización Geológica de los Karst en Rocas Carbonatadas Cajamarca- Encañada". *Cajamarca 2011.*

- MISEREZ, J. (1973). Géochimie des eaux du karst jurassien. Contribution physico-chimie á l'étude des alterations. Thése Doct.Sci.Nat. Neuchatel. P 313.
- PINO, E. ET AL. (2019). Prediction of flow in a karstic aquifer, case Yumagual, Cajamarca, Peru. Congreso Mundial de la AIDH2019, Ciudad de Panamá. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú,
- Uasapud N. & Dory C. (2021) Evaluación del sistema kárstico y el Potencial de patrimonio geológico de los Sectores las confusas y agualinda, san luis – Antioquia. Tesis Doctorado. Universidad EIA.
- RODRÍGUEZ, R. (2016) Metodo de investigación geológico – geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamiento zona Ronquillo – Corisorgona. Tesis de Mag. UNMSM. Lima-Perú.
- WIGLEY, T ; PLUMMER, L. (1976). Mixing of carbonate waters. Geochim. Cosmochim. P. 989-995.

## **ANEXOS**

ANEXO I: Inventario de estructuras kársticas cartografiadas

ANEXO II: Álbum de fotos

ANEXO III: Mapas

- Mapa N°01 - Mapa de Ubicación y Accesibilidad
- Mapa N°02 - Mapa Topográfico y Drenaje
- Mapa N°03 - Mapa Geomorfológico Altitudinal
- Mapa N°04 - Mapa Geomorfológico de pendientes
- Mapa N°05 - Mapa Geológico estructural
- Mapa N°06 - Mapa Estructuras Kársticas

ANEXO I

Tabla 12 .Inventario de las unidades morfokársticas cartografiadas en el área de investigación

Unidad MorfoKárstica	Código	Coordenadas		Formación	Descripción	Foto
		Longitud	Latitud			
Lapiaz 1	La1	765372	9263197	Ks-Ca	Surcos de hasta 10 cm y crestas afiladas. En el dominado bosque de piedras.	Foto 24
Lapiaz 2	La2	765780	9262812	Ks-Ca	Surcos de 2 cm. Ubicado en el bosque de piedras de Machaypungo.	Foto 25
Lapiaz 3	La3	770012	9263186	Ks-Ce	Surcos 2 cm de espesor. En la margen izquierda de la carretera a Machaypungo.	Foto 26
Lapiaz 4	La4	769972	9263002	Ks-Ca	Forma inicial de lapiaz. Ubicada a la margen derecha de la quebrada Machaypungo.	Foto 27
Lapiaz 5	La5	766548	9262940	Ks-Ca	Lapiaz desarrollados, con surcos de hasta 5 cm, en el bosque de piedras de Machaypungo.	Foto 28
Lapiaz 6	La6	765618	9263198	Ks-Ca	Surcos que van desde 1 cm a 5 cm de espesor; en el bosque de piedras de Machaypungo.	Foto 29
Lapiaz 7	La7	769806	9263047	Ks-Ca	Crestas semi afiladas, con surcos de 3cm. En la margen derecha de la quebrada Machaypungo.	Foto 30
Lapiaz 8	La8	770128	9262994	Ks-Ca	Surcos de 2 cm a 3 cm de ancho.	Foto 31
Lapiaz 9	La9	770263	9262981	Ks-Ca	Surcos de aproximadamente 2 cm, en Machaypungo Bajo.	Foto 32
Lapiaz 10	La10	770362	9262965	Ks-Ca	Surcos de 2 cm, en Machaypungo Bajo.	Foto 33
Lapiaz 11	La11	770295	9263328	Ks-Ca	Surcos de 2 cm con cresta no muy afiladas.	Foto 34
Lapiaz 12	La12	770455	9263338	Ks-Ca	Surcos de 2 a 3 cm en inicio de su formación. a la margen derecha de la carretera a Machaypungo.	Foto 35
Lapiaz 13	La13	769666	9263251	Ks-Ce	Disolución de la roca, formando oquedades y lapiaz con surcos de 3 cm.	Foto 36
Lapiaz 14	La14	768732	9263408	Ks-Ce	Lapiaz con karstificado leve, por ser una caliza con menos pureza.	Foto 37
Lapiaz 15	La15	770820	9262759	Ks-Ca	Surcos de 2 cm de espesor, ubicado a un costado de la carretera a Machaypungo	Foto 38
Dolina 1	Do1	770104	9263296	Ks-qm	Dimensiones D: 2.5 m. x d: 1 m. Al costado de la carretera a Machaypungo ; presencia Vegetación.	Foto 39
Dolina 2	Do2	770005	9263328	Ks-qm	Dimensiones D: 3.5 m. x d: 1.5 m. Con abundante vegetación en el centro de la dolina.	Foto40
Dolina 3	Do3	769551	9263367	Ks-Ce	Dimensiones D: 3 m. x d: 1.5 m. Presencia de Vegetación.	-
Dolina 4	Do4	768784	9263539	Ks-Ce	Dimensiones D: 1.5 m. x d: 2 m. Presencia de Vegetación.	-
Dolina 5	Do5	768387	9263543	Ks-Ce	Dimensiones D: 2.5 m. x d: 1m. Presencia de Vegetación.	-
Dolina 6	Do6	768290	9263532	Ks-Ce	Dimensiones D: 25 m. x d: 10 m. Con abundante vegetación	Foto 41
Dolina 7	Do7	769408	9263434	Ks-Ce	Dimensiones D: 5 m x d: 2 m. Costado de la carretera a Machaypungo ; presencia de Vegetación.	Foto 42
Dolina 8	Do8	769618	9263291	Ks-Ce	Dimensiones D: 4 m. x d: 2.5m. Con abundante vegetación.	-
Dolina 9	Do9	769703	9263261	Ks-Ce	Dimensiones D: 10 m x d: 5 m. Con sembríos de maíz a un costado de la carretera.	Foto 43
Dolina 10	Do10	769725	9263257	Ks-Ce	Dimensiones D: 7 m x d: 2 m. Con vegetación.	Foto 44
Dolina 11	Do11	768553	9263336	Ks-Ce	Dimensiones D: 10m. x d: 3.5 m. Sobre terreno de uso para pastoreo de ganado.	Foto45
Dolina 12	Do12	768347	9263339	Ks-Ce	Dimensiones D: 2.5 m. x d: 3 m. Con vegetación.	-
Dolina 13	Do13	766432	9263499	Ks-Ce	Dimensiones D: 7m. x d: 4m. Con presencia de agua acumulada, en Machaypungo Alto.	Foto 46
Dolina 14	Do14	766515	9263809	Ks-Ce	Dimensiones D: 4m. x d: 3m. Ubicada en Machaypungo Alto.	Foto 47
Dolina 15	Do15	766525	9263824	Ks-Ce	Dimensiones D: 15m. x d: 8m. Con vegetación, ubicada en Machaypungo Alto.	Foto 47
Dolina 16	Do16	766494	9263902	Ks-Ce	Dimensiones D: 12m. x d: 6m. Ubicado en Machaypungo Alto.	Foto 48
Dolina 17	Do17	766535	9263380	Ks-Ca	Dimensiones D: 25m. x d: 20m. Con vegetación y presencia de terra rosa.	Foto 49
Dolina 18	Do18	766910	9263344	Ks-Ca	Dimensiones D: 10m. x d: 4m. Con presencia de terra rosa.	Foto 50

Unidad MorfoKárstica	Código	Coordenadas		Formación	Descripción	Foto
		Longitud	Latitud			
Dolina 19	Do19	767089	9263377	Ks-Ca	Dimensiones D: 8m. x d: 4m. Con presencia de terra rosa y agua acumulada.	Foto 51
Dolina 20	Do20	767518	9263427	Ks-Ce	Dimensiones D: 10m. x d: 4m. Con poca vegetación.	Foto 52
Dolina 21	Do21	767520	9263290	Ks-Ce	Dimensiones D: 15m. x d: 7m. Con abundante vegetación.	Foto 53
Dolina 22	Do22	767905	9263615	Ks-Ce	Dimensiones D: 18m. x d: 10m. Con abundante vegetación	-
Dolina 23	Do23	768514	9263408	Ks-Ce	Dimensiones D: 2.5m. x d: 1.5m. Con terra rosa y vegetación. A un costado de la carretera.	Foto 54
Dolina 24	Do24	769704	9263324	Ks-Ce	D: 40m. x d: 15m. Aflora la Formación Celendín, con presencia de terra rosa y vegetación.	Foto 55
Dolina 25	Do25	768120	9263454	Ks-Ce	Dimensiones D: 15m. x d: 12m. Con vegetación, ubicado en Machaypungo Alto.	Foto 56
Sumidero 1	Sum1	768324	9263191	Ks-Ca	Absorción total de caudal. La abertura es de 4m x 3m. Presenta abundante vegetación .	Foto 57
Sumidero 2	Sum2	769920	9263072	Ks-Ca	Ubicado en el cauce de la quebrada Machaypungo, usado por los aledaños como basurero. Con dimensiones de 50cmx40cm	Foto 58
Sumidero 3	Sum3	768711	9263498	Ks-Ce	Dimensiones de 25 cm x 30 cm. absorbe el total de escorrentías en tiempos de lluvia.	Foto 59
Sima 1	Si1	766486	9263780	Ks-Ce	Evolución de una dolina a sima, de infiltración lenta. Con una abertura de (0.5m x 0.5m)	Foto 60
Sima 2	Si2	769681	9263038	Ks-Ce	Ubicada en el Cauce de la quebrada Machaypungo con abertura de (0.5mx0.5m)	Foto 61
Sima 3	Si3	769974	9263011	Ks-Ca	Infiltración lenta del agua de escorrentías en los tiempos de lluvia. Con abertura de (1.5mx1m)	Foto 62
Sima 4	Si4	770037	9263009	Ks-Ca	Sima con abertura de (1mx1m). infiltración lenta del agua acumulada por lluvias.	Foto 63
Sima 5	Si5	770537	9263013	Ks-Ce	Ubicada en el Cauce de la quebrada Machaypungo. Con abertura de (0.75mx1m)	Foto 64
Sima 6	Si6	770833	9263127	Ks-qm	Ubicada en Machaypungo Bajo, absorbe el agua en tiempos de lluvia. Con abertura de (1mx1m)	Foto 65
Caverna 1	Ca1	765345	9263080	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.2mx1.5m) siguiendo la estratificación y 10 metros de interior .	Foto 66
Caverna 2	Ca2	765521	9262995	Ks-Ca	Dimensiones de (1.5mx1.5m), Con abundante vegetación en la entrada y 8 metros al interior.	Foto 67
Caverna 3	Ca3	765937	9262801	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.1 mx2.5m), siguiendo la estratificación y 15m accesibles al interior.	Foto 68
Caverna 4	Ca4	765187	9263207	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1.65mx1.1m), Siguiendo diaclasa y 10m accesibles al interior.	Foto 70
Caverna 5	Ca5	765758	9262964	Ks-Ca	Entrada con dimensiones de (1mx1.5m), con abundante vegetación y 8 metros al interior.	-
Surgencia 1	Sur1	768523	9262960	Ks-Ca	Surgencia intermitente; aporta caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 71
Surgencia 2	Sur2	768288	9263094	Ks-Ca	Permanente, pero con variación de caudal , aporta caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 72
Surgencia 3	Sur3	767731	9263187	Ks-Ca	Surgencia intermitente captada para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Alto.	Foto 73
Surgencia 4	Sur4	768963	9263552	Ks-Ce	Permanente, el cual ha sido captada en posa artificial.	Foto 74
Surgencia 5	Sur5	768822	9263640	Ks-qm	Permanente, el cual aporta caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 75
Surgencia 6	Sur6	768824	9263646	Ks-qm	Permanente, aporta caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 76
Surgencia 7	Sur7	769430	9263508	Ks-qm	Permanente, captada por los pobladores para el consumo de ganado.	Foto 77
Surgencia 8	Sur8	769436	9263531	Ks-qm	Permanente captada. Usada para consumo humano. En Machaypungo Bajo.	Foto 78
Surgencia 9	Sur9	769463	9263479	Ks-qm	Permanente con pequeñas variaciones durante el año; usada para consumo humano.	Foto 79
Surgencia 10	Sur10	769862	9263344	Ks-Ce	Captada y almacenada en reservorio para consumo humano.	Foto 80
Surgencia 11	Sur11	769979	9263235	Ks-Ce	Permanente que aporta su caudal a la quebrada Machaypungo. Ubicada en Machaypungo Bajo.	Foto 81
Surgencia 12	Sur12	770545	9263184	Ks-qm	Manantial intermitente. Captado para consumo humano.	-
Surgencia 13	Sur13	770746	9263125	Ks-qm	Manantial captado para consumo humano.	-
Surgencia 14	Sur14	770915	9263070	Ks-qm	Permanente y usado por los pobladores para consumo de su ganado.	Foto 82

Unidad MorfoKárstica	Código	Coordenadas		Formación	Descripción	Foto
		Longitud	Latitud			
<b>Surgencia 15</b>	<b>Sur15</b>	771066	9263012	Ks-qm	Permanente con pequeñas variaciones durante el año, usada para consumo humano	Foto 83
<b>Surgencia 16</b>	<b>Sur16</b>	771243	9262821	Ks-Ce	Permanente con pequeñas variaciones, usada para consumo humano	Foto 84
<b>Surgencia 17</b>	<b>Sur17</b>	771600	9262449	Ks-Ce	Captada para consumo humano.	Foto 85
<b>Surgencia 18</b>	<b>Sur18</b>	766435	9263657	Ks-Ce	Permanente con pequeñas variaciones durante el año, usada para ganadería.	Foto 86
<b>Surgencia 19</b>	<b>Sur19</b>	766549	9263779	Ks-Ce	Permanente, usada para consumo humano.	Foto 87
<b>Surgencia 20</b>	<b>Sur20</b>	767168	9263519	Ks-Ce	Intermitente, usada como fuente de agua para ganadería	Foto 88
<b>Surgencia 21</b>	<b>Sur21</b>	770225	9263013	Ks-Ca	Manantial intermitente captado.	-
<b>Surgencia 22</b>	<b>Sur22</b>	770885	9262945	Ks-Ce	Intermitente, aporta su caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 89
<b>Surgencia 23</b>	<b>Sur23</b>	771184	9262804	Ks-Ce	Permanente, aporta su caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 90
<b>Surgencia 24</b>	<b>Sur24</b>	771235	9262732	Ks-Ce	Permanente, aporta caudal a la quebrada Machaypungo.	Foto 91
<b>Exurgencia 1</b>	<b>Exur1</b>	771850	9262089	Ks-Ca	Denominada los 3 chorros captada por SEDABAM	Foto 92



**ANEXO II**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO**

**A. Registro fotográfico de lapiaz**



Foto 25. Lapiaz 1: Paisaje mostrando lapiaz con surcos de hasta 10 cm y crestas afiladas, sobre la Formación Cajamarca. Ubicado en Machaypungo alto en el dominado bosque de piedras de Machaypungo, a la margen izquierda de la carretera Machaypungo – La Unión. Longitud: 765372 / Latitud: 9263197. Con vista al Noreste.



Foto 26. Lapiaz 2: Variedad de lapiaz en su forma inicial con surcos de 2 cm, sobre formación Cajamarca. Ubicado en el bosque de piedras de Machaypungo. Longitud: 765780 / Latitud: 9262812.



Foto 27. Lapiaz 3: Con surcos estrechos de aproximadamente 2 cm de espesor. Ubicado en la margen izquierda de la carretera Machaypungo bajo – Machaypungo alto. Longitud: 770012 / Latitud: 9263186.



Foto 28. Lapiaz 4: Forma inicial de lapiaz, con surcos poco profundo y crestas no afiladas. Ubicada sobre la Formación Cajamarca a la margen derecha de la quebrada Machaypungo. Longitud: 769972 / Latitud: 9263002.



Foto 29. Lapiaz 5: Paisaje kárstico con lapiaz desarrollados, con surcos de hasta 5 cm de ancho, ubicado en el bosque de piedras de Machaypungo. Longitud:766548 / Latitud: 9262940. Con vista al Noreste.



Foto 30. Lapiaz 6: Paisaje mostrando lapiaz con surcos que van desde 1 cm a 5 cm de espesor; sobre la Formación Cajamarca en el bosque de piedras de Machaypungo. Longitud: 765618 / Latitud: 9263198. Con vista al Noreste.



Foto 31. Lapiaz 7: Presenta crestas semi afiladas, con surcos de 3cm de ancho. Ubicado sobre la Formación Cajamarca a la margen derecha de la quebrada Machaypungo. Longitud: 769806 / Latitud: 9263047.



Foto 32. Lapiaz 8: Con surcos de 2 cm a 3 cm de ancho, presentes sobre la Formación Cajamarca. Longitud: 770128 / Latitud: 9262994.



Foto 33. Lapiaz 9: Surcos de lapiaz de aproximadamente 2 cm, sobre la Formación Cajamarca a la margen derecha de la quebrada Machaypungo en Machaypungo bajo. Longitud: 770263 / Latitud: 9262981.



Foto 34. Lapiaz 10. Surcos de lapiaz de aproximadamente 2 cm, sobre la Formación Cajamarca a la margen derecha de la quebrada Machaypungo en Machaypungo bajo. Longitud: 770362 / Latitud: 9262965.



Foto 35. Lapiaz 11. Surcos de lapiaz de 2 cm con cresta en inicio de formación no muy afiladas. Ubicadas sobre la Formación Cajamarca a la margen derecha de la carretera Machaypungo bajo – Machaypungo alto. Longitud: 770295 / Latitud: 9263328.



Foto 36. Lapiaz 12: Surcos de lapiaz de 2 a 3 cm en inicio de su formación. Ubicadas sobre la Formación Cajamarca a la margen derecha de la carretera Machaypungo bajo – Machaypungo alto. Longitud: 770455 / Latitud: 9263338.



Foto 37. Lapiaz 13: Disolución de roca carbonatada formando oquedades y lapiaz con surcos de 3 cm. Ubicado al costado de la carretera Machaypungo bajo – Machaypungo alto. Longitud: 769666 / Latitud: 9263251.



Foto 38. Lapiaz 14: Presente en la Formación Celendín, esta menos karstificado que los lapiaz de la Formación Cajamarca, por ser una caliza con menos pureza. Longitud: 768732 / Latitud: 9263408.



Foto 39. Lapiaz 15: Presenta surcos de 2 cm de espesor, ubicado sobre la formación Cajamarca a un costado de la carretera Machaypungo bajo – Machaypungo alto. Longitud: 770820 / latitud: 9262759.



## B. Registro fotográfico de dolinas

Para la edición y descripción de fotografías se considera.

D: Diámetro mayor

d: Diámetro Menor

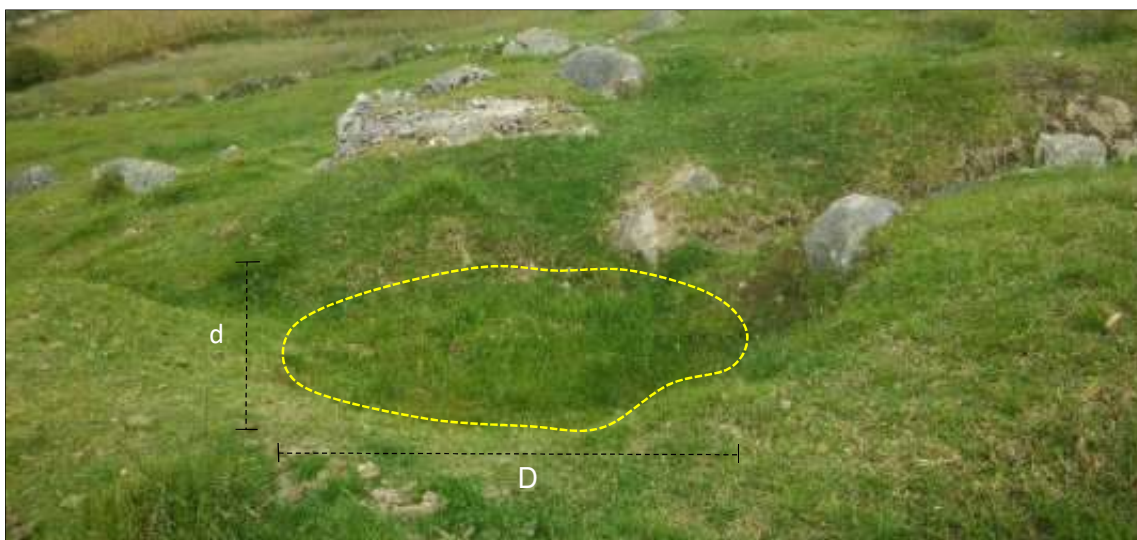


Foto 40. Dolina 1: Formada sobre la Formación Quilquiñan - Mujarrum con dimensiones: D:2.5 m / d:1 m. Ubicada al costado de la carretera Machaypungo bajo - Machaypungo alto. Longitud: 770104 / Latitud: 9263296.

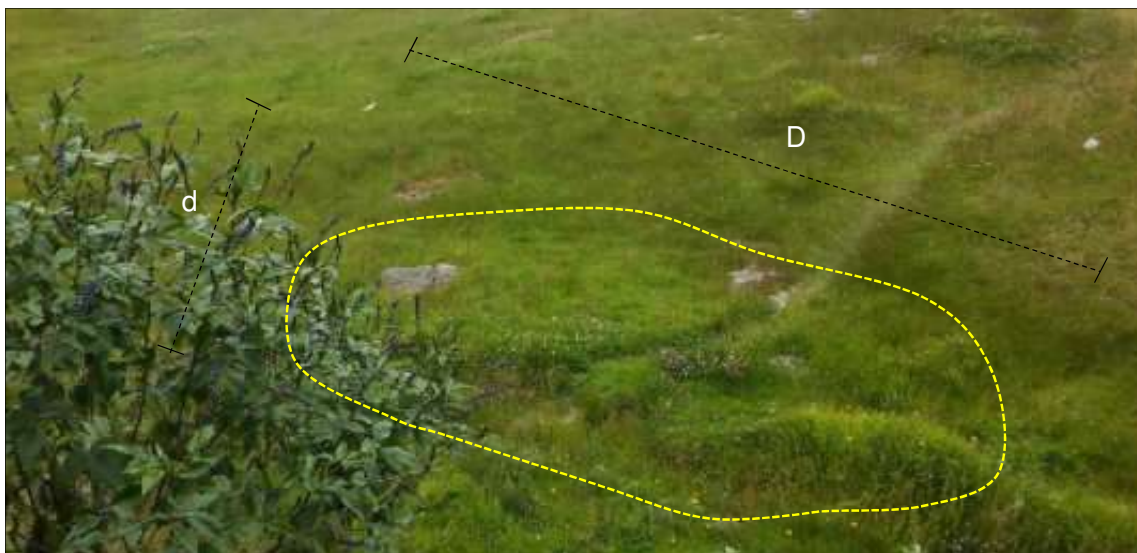


Foto 41. Dolina 2: Formada sobre la Formación Quilquiñan - Mujarrum con dimensiones: D:3.5 m / d: 1.5 m. Ubicada al costado de la carretera Machaypungo bajo, Machaypungo alto. Longitud: 770005 / Latitud: 9263328.



Foto 42. dolina 6: Formada sobre la Formación Celendín, con abundante vegetación alrededor que se ha desarrollado sobre la terra rosa producto de la disolución de los carbonatos y arcillas de la Formación Celendín; con dimensiones: D: 25 m. / d :10 m. Ubicado en Machaypungo alto. Longitud: 768290 / Latitud: 9263532.

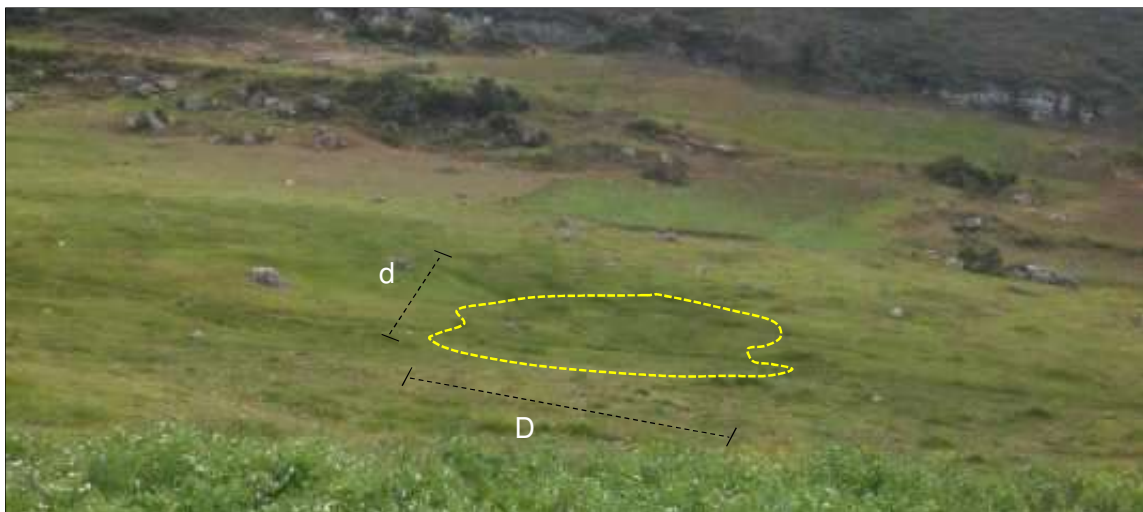


Foto 43. Dolina 7: Presente sobre la Formación Celendín. Con dimensiones: D: 5m / d: 2m. Ubicado a la margen derecha de la carretera Machaypungo bajo – Machaypungo alto. Longitud: 769408 / Latitud: 9263434.

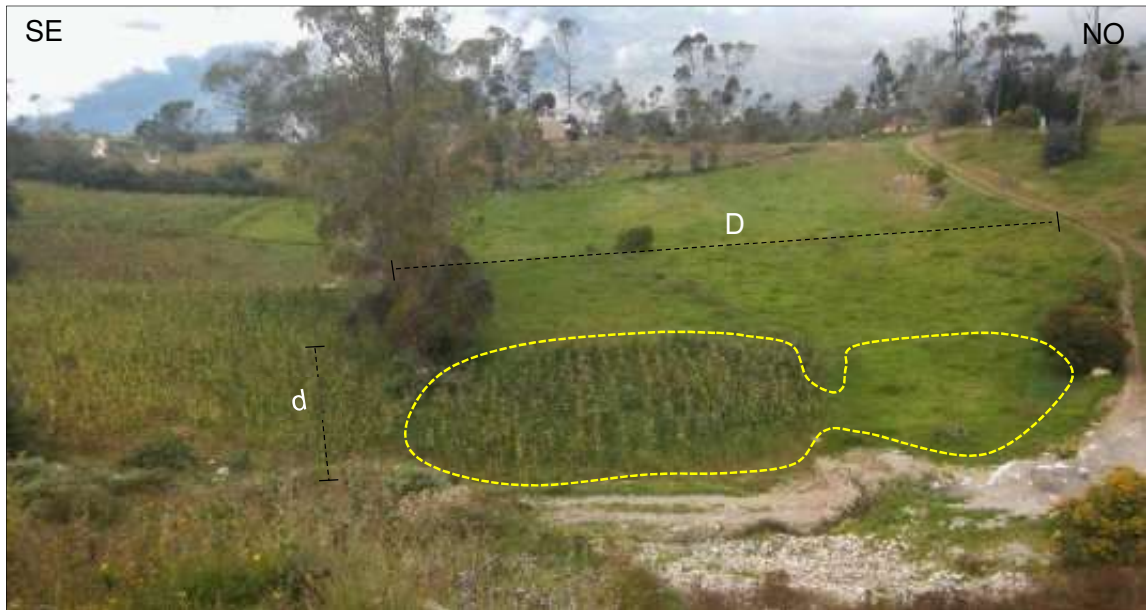


Foto 44. Dolina 9: Desarrollado sobre la formación Celendín. Con dimensiones: D:10 m. d:2.5 m. Ubicada al costado de la carretera Machaypungo bajo - Machaypungo alto. Longitud: 769703 / Latitud: 9263261. Con vista al Suroeste.



Foto 45. Dolina 10: Desarrollada en la formación Celendín con dimensiones: D: 7m / d: 2m. Ubicada entre Machaypungo alto y Machaypungo bajo. Longitud: 769725 / Latitud: 9263257

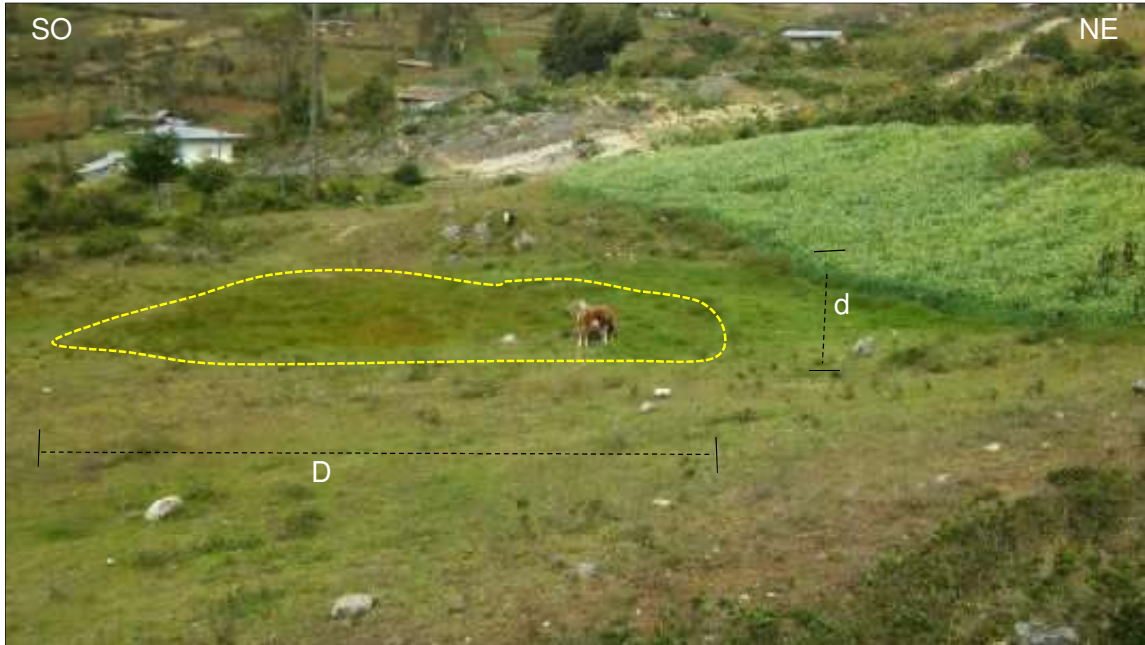


Foto 46. Dolina 11: Dolina ovalada sobre terreno de pastoreo. Con dimensiones: D: 10m. / d: 3.5 m. Ubicada entre Machaypungo bajo y Machaypungo alto. Longitud: 768553 / Latitud: 9263336. Con vista al Sureste.

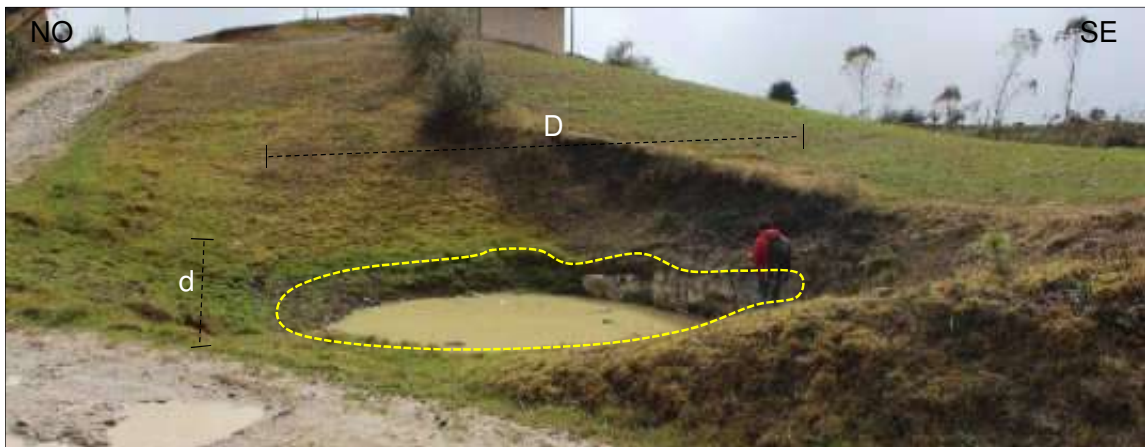


Foto 47. Dolina 13: Depresión ovalada de terreno con dimensiones: D: 7m. / d: 4m. Sobre la Formación Celendín a un costado de la carretera Machaypungo – La Unión. Longitud: 766432 / Latitud: 9263499.

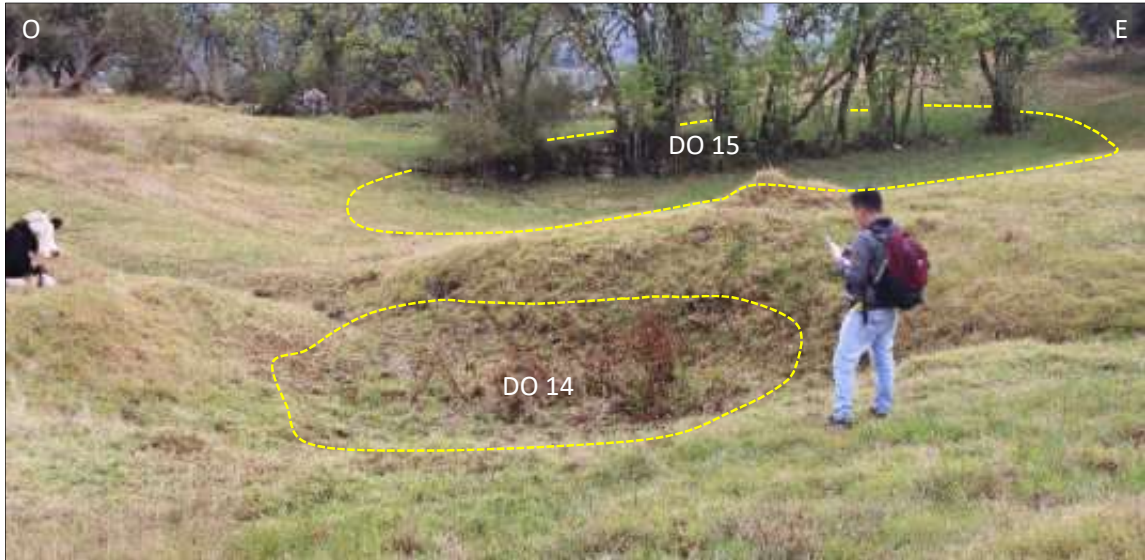


Foto 48. Dolina 14 – Dolina 15: Depresiones sobre la Formación Celendín con dimensiones. Para Do 14: D: 4m / d: 3m. y para Do 15: D: 8m. / d: 4m. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 766515 / Latitud: 9263809. Con vista al Norte.



Foto 49. Dolina 16: Formada sobre la Formación Celendín con dimensiones: D: 12m / d: 6m con vista al Norte.

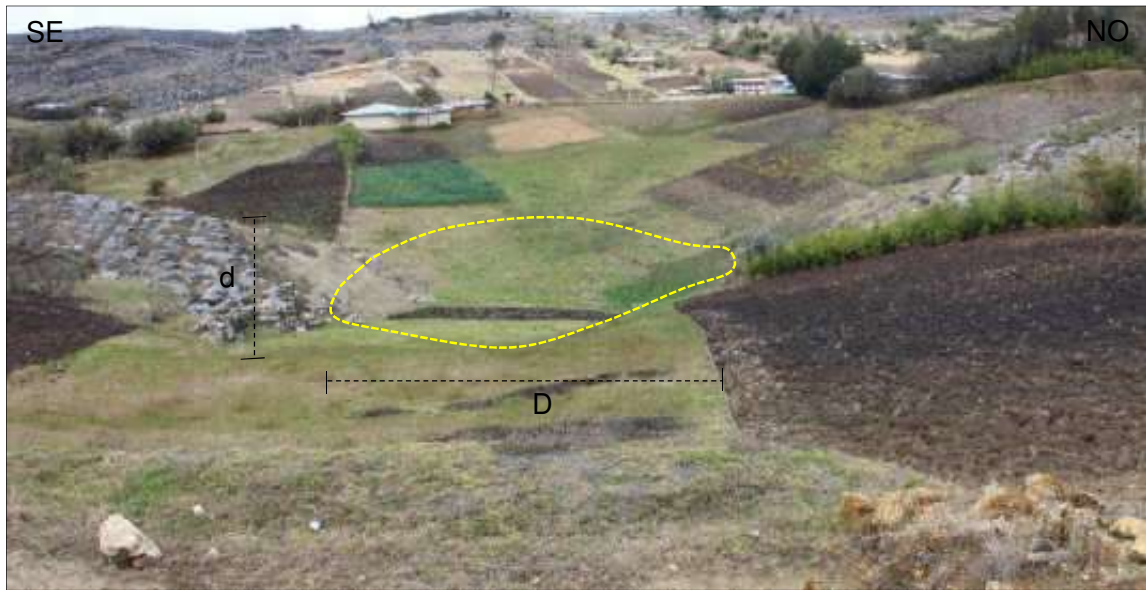


Foto 50. Dolina 17: Depresión sobre la Formación Cajamarca. Con dimensiones: D: 25m / d: 20m. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 766535 / Latitud: 9263380. Con vista al Suroeste.

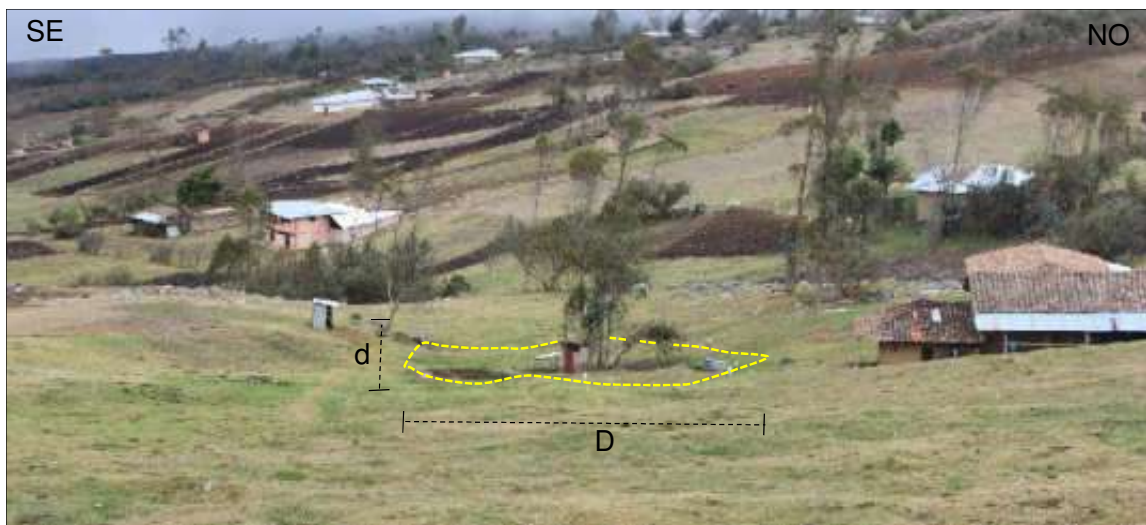


Foto 51. Dolina 18: Dolina formada sobre rocas carbonatadas de la Formación Cajamarca con dimensiones: D: 10m. / d: 4m. Ubicado en Machaypungo Alto. Longitud: 767905 / Latitud: 9263615.



Foto 52. Dolina 19: Depresión del terreno formando una dolina de dimensiones: D: 8m. / d: 4 m. ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 767089 / Latitud: 9263377. Con vista al Noroeste.

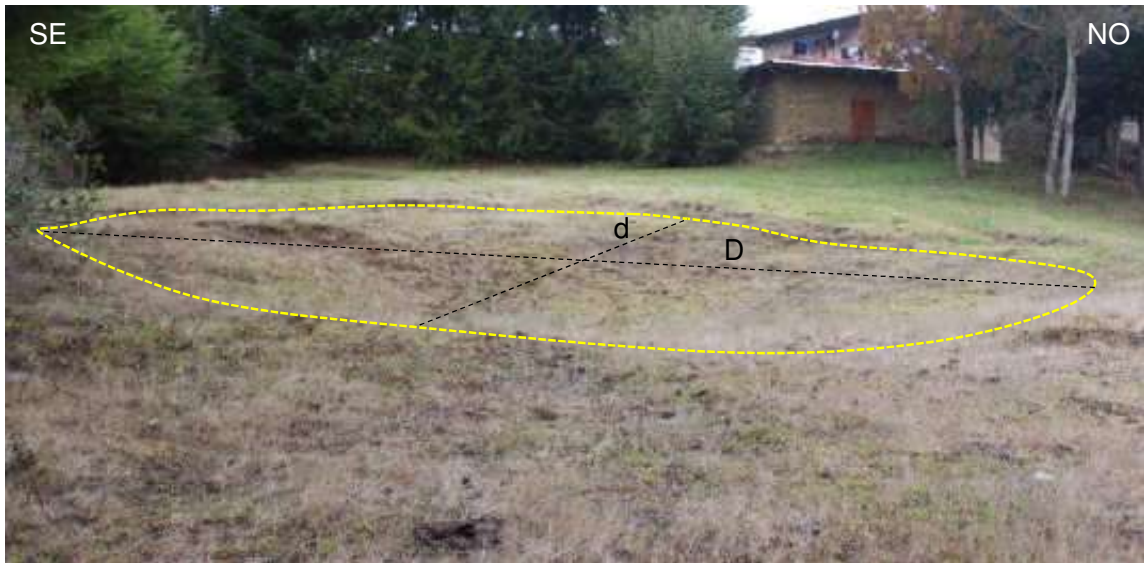


Foto 53. Dolina 20: Depresión del terreno formando una dolina de dimensiones: D: 10m. / d: 4 m. ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 767518 / Latitud: 9263427. Con vista al Noreste.



Foto 54. Dolina 21: Depresión del terreno formando una dolina de dimensiones: D: 15m. / d: 7 m. ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 765220 / Latitud: 9263290. Con vista al Noreste.



Foto 55. Dolina 23: Depresión del terreno formando una dolina de dimensiones: D: 2.5m. / d: 1.5 m. Ubicada al costado de la carretera entre Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto. Longitud: 768514 / Latitud: 9263408. Con vista al Norte.





Foto 56. Dolina 24: Depresión ovalada del terreno sobre la Formación Celendín, formando una dolina de dimensiones: D: 40m. / d: 15 m. Ubicada al costado de la carretera entre Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto. Longitud: 769704 / Latitud: 9263324. Con vista al Noreste.



Foto 57. Dolina 25: Depresión ovalada del terreno, formando una dolina de dimensiones: D: 15m. / d: 12 m. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 769704 / Latitud: 9263324. Con vista al Suroeste.

### C. Registro fotográfico de sumideros.



Foto 58. Sumidero 1: Sumidero con dimensiones de 4m x 5m. absorbe el total de escorrentías que se da en tiempo de lluvias. Ubicado entre Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto. Longitud: 769920 / Latitud: 9263072.



Foto 59. Sumidero 2: Sumidero de absorción total de caudal de escorrentías en tiempo de lluvias; Los pobladores lo usan como echadero de basura. Con dimensiones de 50 cm x 40 cm. Ubicado entre Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto. Longitud: 768324 / Latitud: 9263191.



Foto 60. Sumidero 3: Sumidero con dimensiones de 25 cm x 30 cm. absorbe el total de escorrentías que se da en tiempo de lluvias. Ubicado entre Machaypungo Bajo y Machaypungo Alto. Longitud: 768711 / Latitud: 9263498.

#### D. Registro fotográfico de simas.



Foto 61. Sima 1: Evolución de una dolina a sima, en el cual existe infiltración lenta del agua acumulada y escorrentías en las épocas de lluvia. Con abertura de 0.5 m x 0.5 m. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 766486. Latitud: 9263780. Con vista al Noroeste.



Foto 62. Sima 2: Sima en el cual existe infiltración lenta del agua de escorrentías en la quebrada Machaypungo en las épocas de lluvia. Con abertura de 0.5 m x 0.5 m. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 769681. Latitud: 9263038. Con vista al Suroeste.



Foto 63. Sima 3: Sima en el cual existe infiltración lenta del agua acumulada y de escorrentías en las épocas de lluvia. Con abertura de 1.5 m x 1 m. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 769974. Latitud: 9263011.



Foto 64. Sima 4: Sima en el cual existe infiltración lenta del agua acumulada en las épocas de lluvia. Con abertura de 1m x 1m. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 770037. Latitud: 9263009.



Foto 65. Sima 5: Sima en el cual existe infiltración lenta del agua de escorrentías en la quebrada Machaypungo en las épocas de lluvia. Con abertura de 0.75mx1m. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 770537. Latitud: 9263013. Con vista al Este.



Foto 66. Sima 6: 2 simas en el cual existe infiltración lenta del agua acumulada en las épocas de lluvia. Con abertura de 1mx1m. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 770833. Latitud: 9263127. Con vista al Suroeste.

## E. Registro fotográfico de cavernas.



Foto 67. Caverna 1: Formación de Caverna siguiendo el buzamiento de la estratificación de la Formación Cajamarca Noreste. Con 1.20 m de alto y 1.5 m de ancho. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 765345 / Latitud: 9263080. Con vista al Noreste.



Foto 68. Caverna 2: Desarrollo de caverna sobre la Formación Cajamarca; Con presencia de abundante vegetación en la entrada. Midiendo 1.50 m de alto y 1.5 m de ancho. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 765521 Latitud: 9262995. Con vista al Noreste.



Foto 69. Caverna 3: Caverna Formada siguiendo el buzamiento de la estratificación de la Formación Cajamarca Noreste. Midiendo 1.10 m de alto y 2.5 m de ancho. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 765521 / Latitud: 9262995.



Foto 70. Caverna 3: Interior de la caverna 3 con alto de hasta 2m y profundidad máxima accesible de 15 m.





Foto 71. Caverna 4: Caverna formada siguiendo la dirección N 35° E de una fractura sobre la Formación Cajamarca. Midiendo 1.65 m de alto y 1.10 m de ancho. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 765187 / Latitud: 9263207.

## F. Registro fotográfico de surgencias.



Foto 72. Surgencia 1: Surgencia de agua de manera intermitente, principalmente en los meses de lluvia de noviembre a marzo, en el cual aporta caudal a la quebrada Machaypungo. Usada por los pobladores como consumo para ganadería. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 768523 / Latitud: 9262960.



Foto 73. Surgencia 2: Surgencia de agua de manera permanente, pero con variación de caudal según época del año, el cual aporta caudal a la quebrada Machaypungo. Usada por los pobladores para consumo humano. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 768288 / Latitud: 9263094.



Foto 74. Surgencia 3: Surgencia intermitente captada para consumo humano, Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 767731 / Latitud: 9263187.



Foto 75. Surgencia 4: Surgencia de agua de manera permanente, pero con variación de caudal según época del año, el cual ha sido captada en posa artificial. Usada por los pobladores para consumo humano en naciente y consumo de ganado en el área captada. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 768963 / Latitud: 9263552.



Foto 76. Surgencia 5: Surgencia permanente, pero con variación de caudal según época del año, el cual aporta caudal a la quebrada Machaypungo. Usada por los pobladores para consumo humano. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 768822 / Latitud: 9263640.



Foto 77. Surgencia 6: Surgencia de agua de manera permanente, pero con variación de caudal según época del año, el cual aporta caudal a la quebrada Machaypungo. Usada por los pobladores para consumo humano. Ubicada entre Machaypungo Alto y Machaypungo Bajo. Longitud: 768824 / Latitud: 9263646.



Foto 78. Surgencia 7: Surgencia permanente captada por los pobladores para dividir el consumo para animales y en la naciente el consumo para humanos. Ubicado en Machaypungo Bajo. Longitud: 769430 / Latitud: 9263508. Con vista al Suroeste.



Foto 79. Surgencia 8: Surgencia permanente captada. Usada por los pobladores para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 769436 / Latitud: 9263531. Con vista al Suroeste.



Foto 80. Surgencia 9: Surgencia permanente con pequeñas variaciones de caudal para cada época del año; usada como fuente de agua para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 769463 / Latitud: 9263479.



Foto 81. Surgencia 10: Surgencia captada y almacenada en reservorio para consumo humano, Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 769862 / Latitud: 9263344.



Foto 82. Surgencia 11: Surgencia permanente que aporta su caudal a la quebrada Machaypungo. Ubicado en Machaypungo Bajo. Longitud: 769979 / Latitud: 9263235.



Foto 83. Surgencia 14: De caudal permanente y usado por los pobladores para consumo de su ganado. Ubicado en Machaypungo Bajo. Longitud: 770915 / Latitud: 9263070.



Foto 84. Surgencia 15: Surgencia permanente con pequeñas variaciones de caudal para cada época del año; usada como fuente de agua para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771066 / Latitud: 9263012.



Foto 85. Surgencia 16: Surgencia permanente con pequeñas variaciones de caudal según la época de lluvia o sequia; usada como fuente de agua para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771243 / Latitud: 9262821.





Foto 86. Surgencia 17: Surgencia Captada para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771600 / Latitud: 9262449



Foto 87. Surgencia 18: Surgencia permanente con pequeñas variaciones de caudal según la época de lluvia o sequía; usada como fuente de agua para ganadería. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 766435 / Latitud: 9263657.



Foto 88. Surgencia 19: Surgencia permanente; usada como fuente de agua para consumo humano. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 766549 / Latitud: 9263779.



Foto 89. Surgencia 20: Surgencia intermitente usada como fuente de agua para ganadería. Ubicada en Machaypungo Alto. Longitud: 767168 / Latitud: 9263519.



Foto 90. Surgencia 22: Surgencia estacional según la época de lluvia o sequia; aporta su caudal a la quebrada Machaypungo. Usada como fuente de agua para ganadería. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 770885 / Latitud: 9262945.



Foto 91. Surgencia 23: Surgencia permanente; aporta su caudal a la quebrada Machaypungo. Usada como fuente de agua para ganadería. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771184 / Latitud: 9262804.



Foto 92. Surgencia 24: Surgencia de agua de manera permanente, pero con variación de caudal según época del año, aporta caudal a la quebrada Machaypungo. Usada por los pobladores para su consumo. Ubicada en Machaypungo Bajo. Longitud: 771235 / Latitud: 9262732.

#### **G. Registro fotográfico de exurgencia.**



Foto 93. Exurgencia 1: Exurgencia denominada los 3 chorros de agua proveniente de aparato kárstico de Machaypungo, con caudal permanente y pequeñas variaciones durante el año, captada por SEDABAM para abastecer de agua potable a la ciudad de Bambamarca. Ubicada a la margen izquierda del río Maygasbamba en las coordenadas. Longitud: 771850 / Latitud: 9262732.

## H. Registro fotográfico de paisajes kársticos.



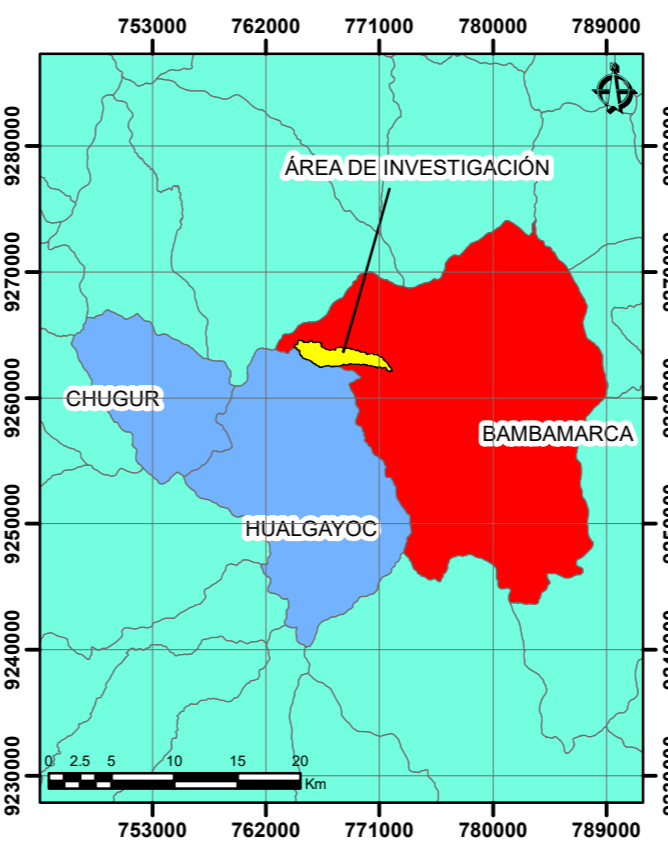
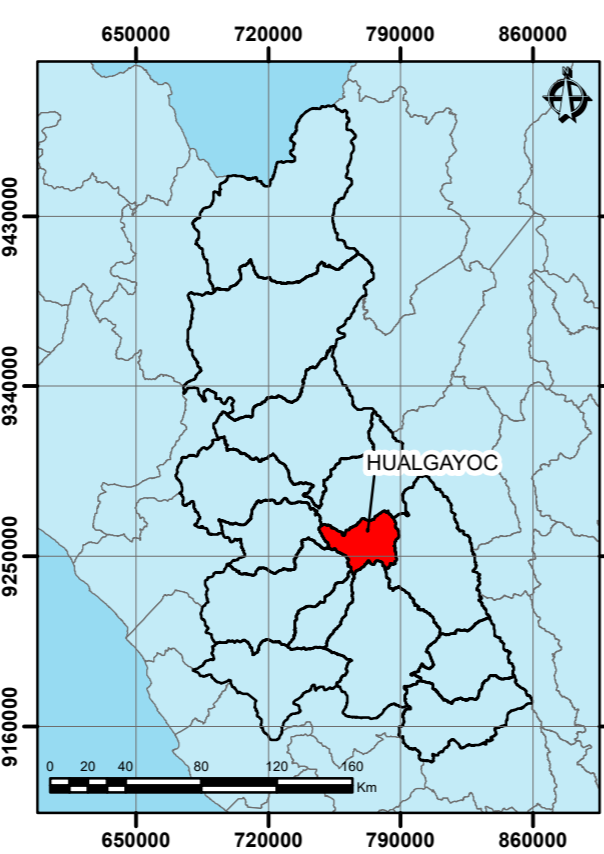
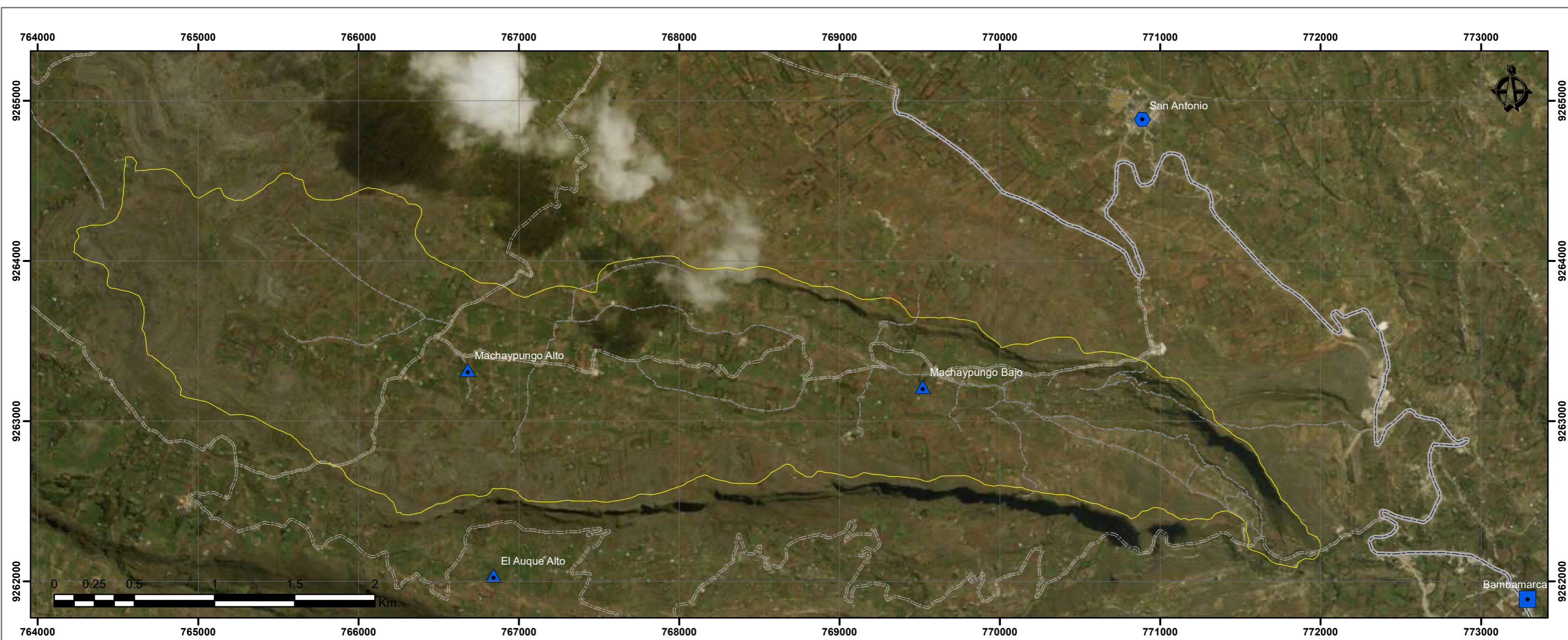
Foto 94. Paisaje Kárstico 3. Paisaje de la zona denominada el bosque de piedras de Machaypungo. En el cual se observa como la karstificación ha ido formando paisajes sobre las rocas carbonatadas de la Formación Cajamarca. Longitud: 764836 / Latitud: 9263633.



Foto 95. Paisaje Kárstico de la zona denominada el bosque de piedras de Machaypungo. Presentando abundancia de lapiaz sobre las rocas carbonatadas de la Formación Cajamarca. Longitud: 765009 / Latitud: 9263820.

### ANEXO III

- Mapa N°01 - Mapa de Ubicación y Accesibilidad
- Mapa N°02 - Mapa Topográfico y Drenaje
- Mapa N°03 - Mapa Geomorfológico Altitudinal
- Mapa N°04 - Mapa Geomorfológico de pendientes
- Mapa N°05 - Mapa Geológico estructural
- Mapa N°06 - Mapa Estructuras Kársticas



Coordinate System : WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection : Transverse Mercator  
 Datum : WGS 1984  
 Units : Meter

**SIMBOLOGÍA**

- Área de Investigación
- Carretera Asfaltada
- Trocha Carrozable
- Camino de Herradura
- Caserío
- Centro Poblado
- Distrito

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

**MAPA DE UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

ELABORADO POR: Bach. Kelvin L. Fernández Cruzado

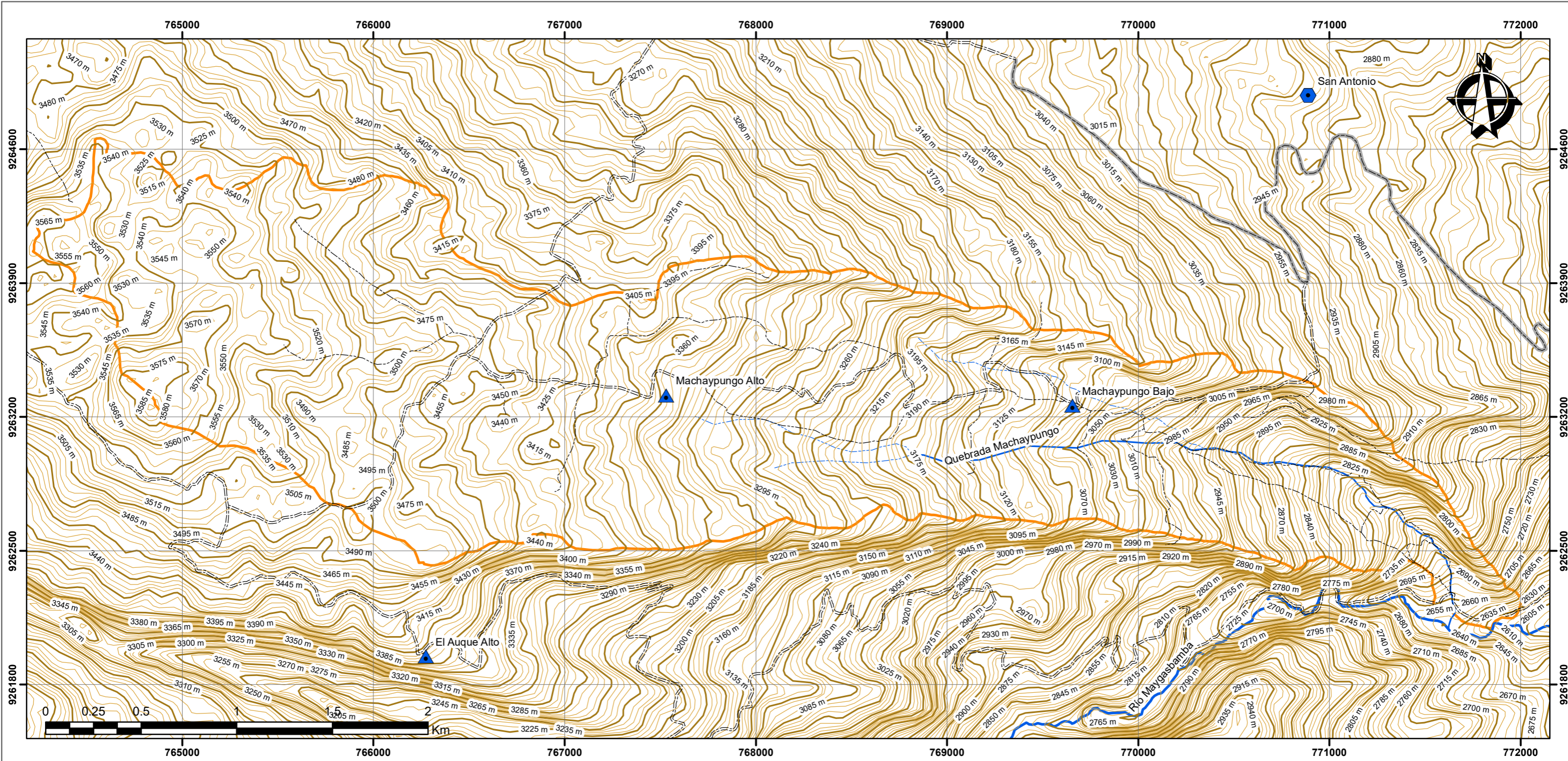
ASESOR: MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani

FECHA: Abril, 2020

ESCALA: Gráfica

DATUM: WGS 84 - 17S

MAPA N°: **01**



**SIMBOLOGÍA**

- Área de investigación
- Caserío
- Centro Poblado

**Curvas de Nivel**

- Curvas Secundarias
- Curvas Primarias

**Accesos**

- Carretera Asfaltada
- Trocha Carrozable
- Camino de Herradura

**Drenajes**

- Río Maygasbamba
- Quebrada Machaypungo
- Drenaje intermitente



Coordinate System : WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum : WGS 1984  
 Units: Meter



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

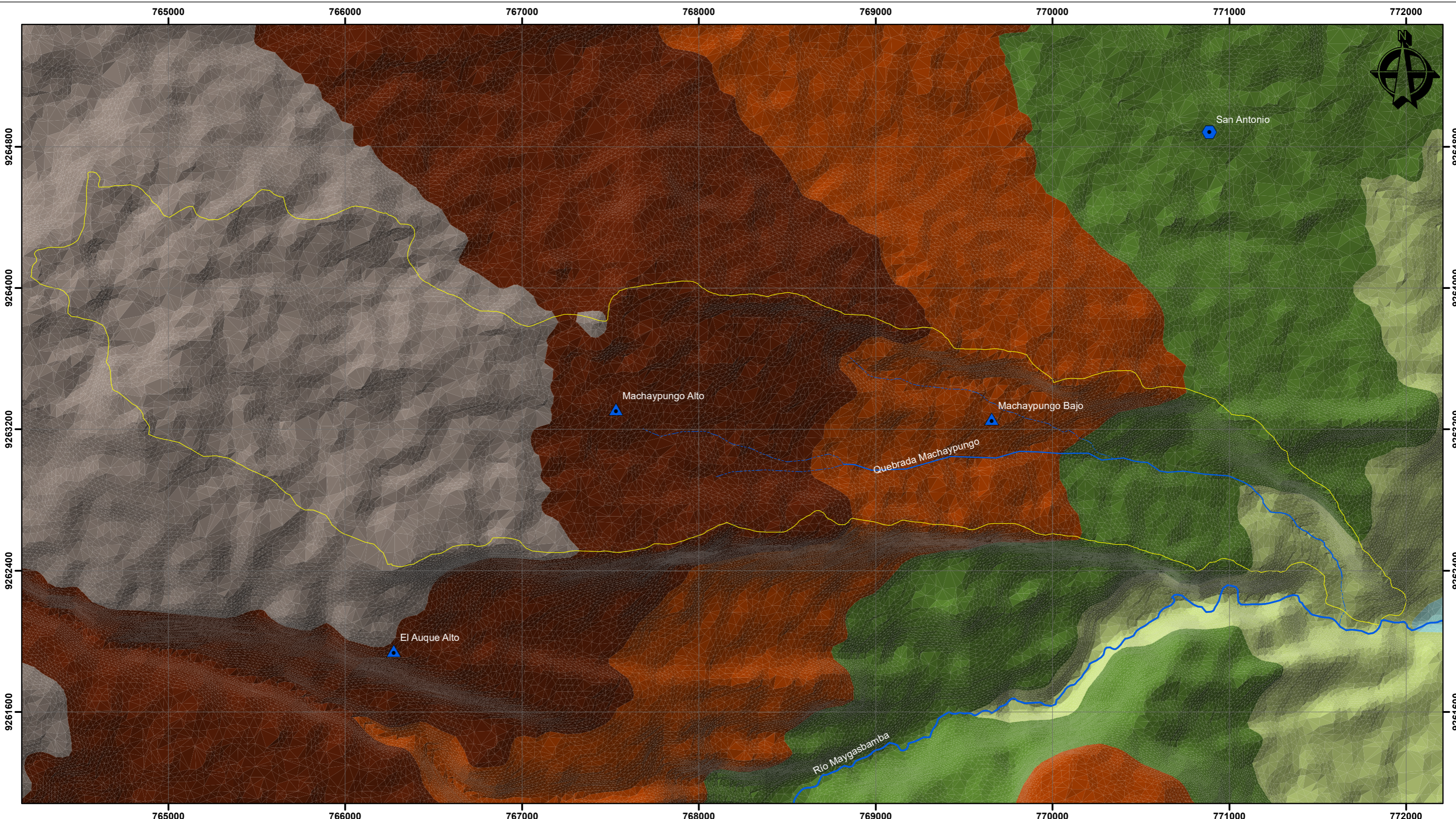


## MAPA TOPOGRÁFICO Y DRENAJE

ELABORADO POR:		Bach. Kelvin L. Fernández Cruzado
ASESOR:		MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani
FECHA:	ESCALA:	DATUM:
Enero, 2021	Gráfica	WGS 84 - 17S

02





9264800  
9264000  
9263200  
9262400  
9261600

9264800  
9264000  
9263200  
9262400  
9261600

765000 766000 767000 768000 769000 770000 771000 772000

765000 766000 767000 768000 769000 770000 771000 772000

**SIMBOLOGÍA**

- Área de Investigación
- Caserío
- Centro Poblado

**Drenajes**

- Quebradas Intermitentes
- Quebrada Machaypungo
- Río Maygasbamba

**ELEVACIÓN**

- 3600 - 3800
- 3400 - 3600
- 3200 - 3400
- 3000 - 3200
- 2800 - 3000
- 2600 - 2800
- 2545 - 2600



Coordinate System : WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum : WGS 1984  
 Units: Meter



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica



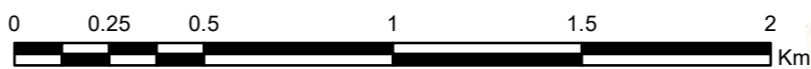
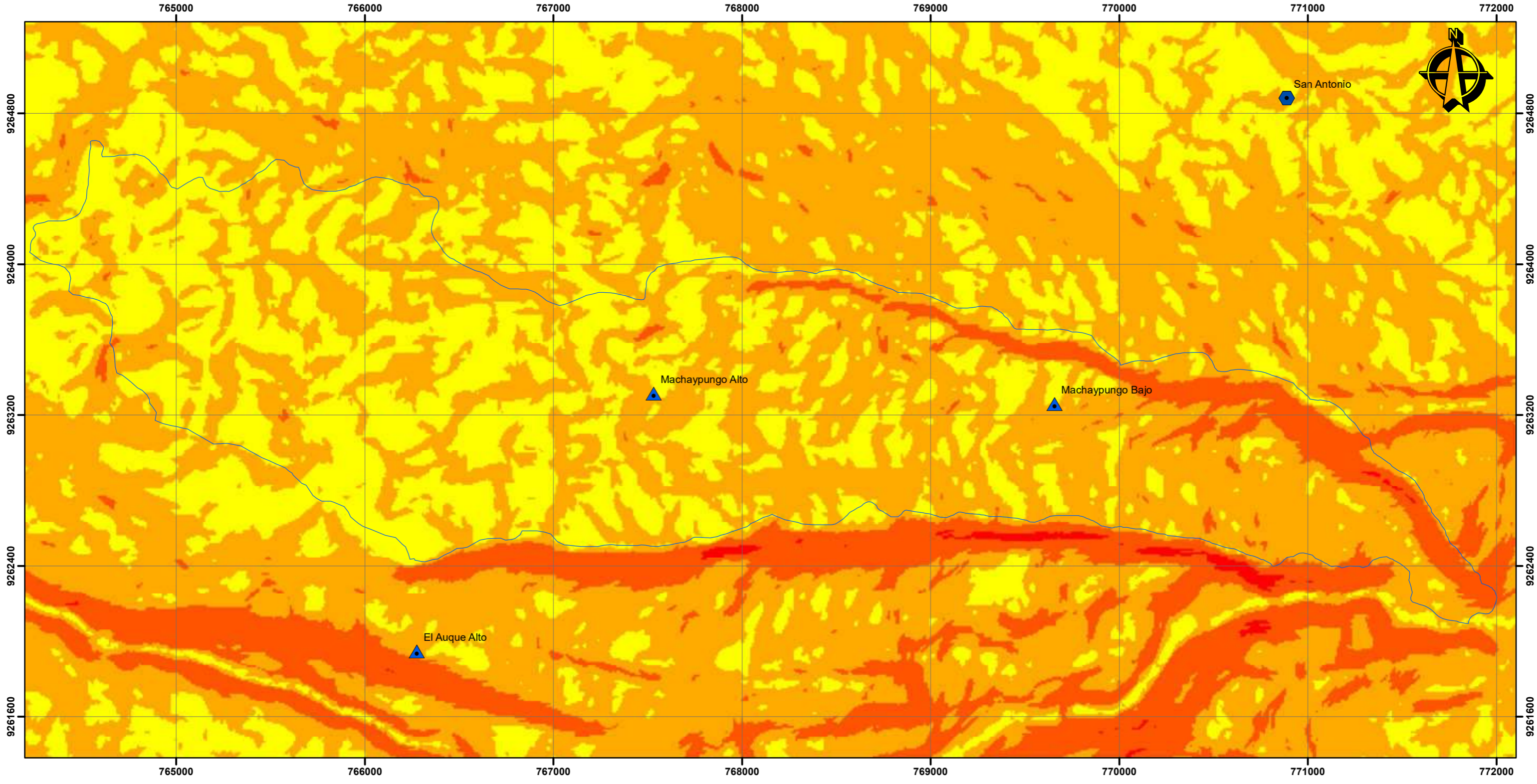
**MAPA GEOMORFOLÓGICO ALTITUDINAL**

ELABORADO POR: Bach. Kelvin L. Fernández Cruzado

ASESOR: MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani




FECHA: Enero, 2021    ESCALA: Gráfica    DATUM: WGS 84 - 17S

MAPA N°  
03









Coordinate System : WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum : WGS 1984  
 Units: Meter

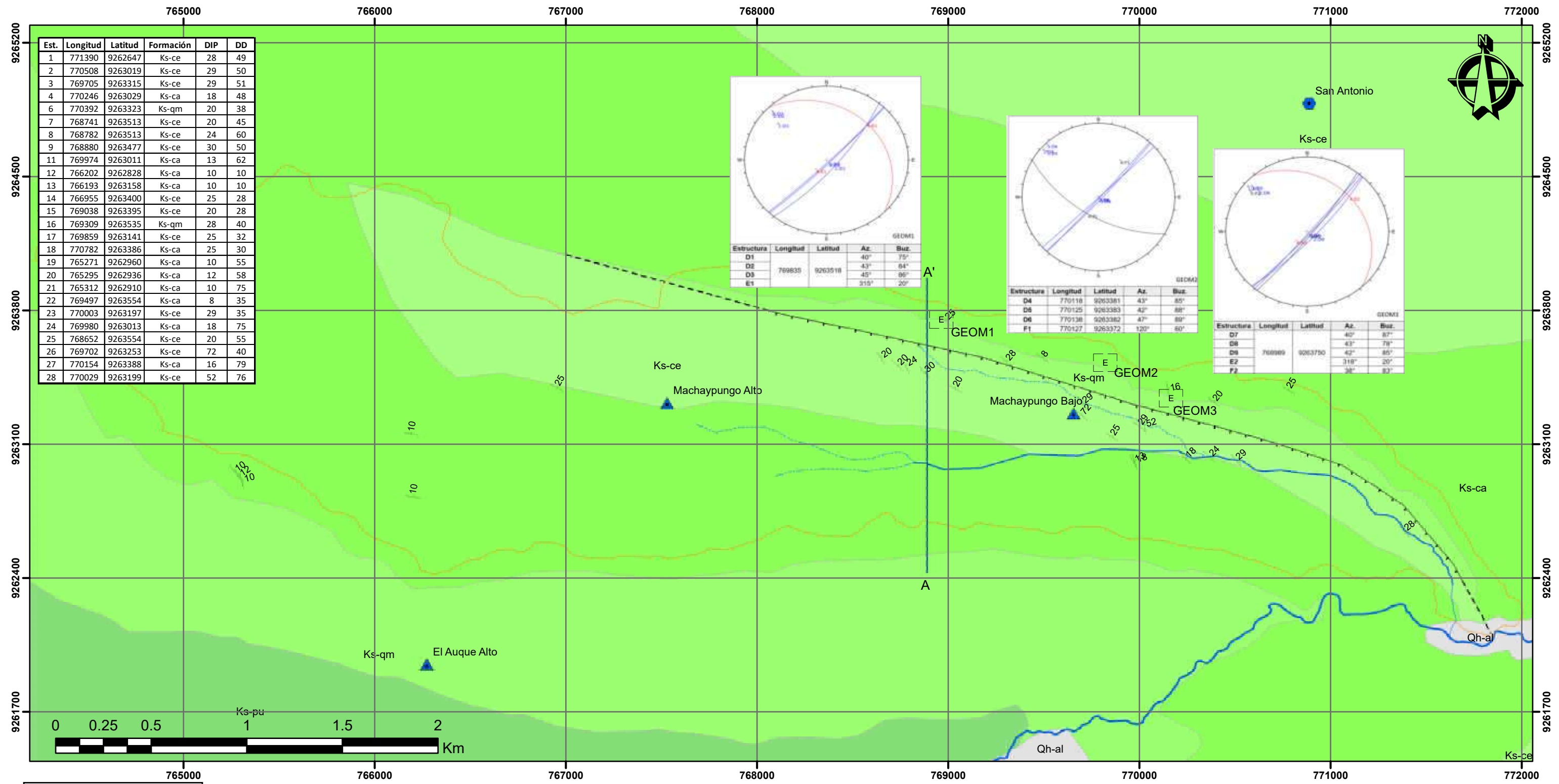
**SIMBOLOGÍA**

-  Área de investigación
-  Caserío
-  Centro Poblado

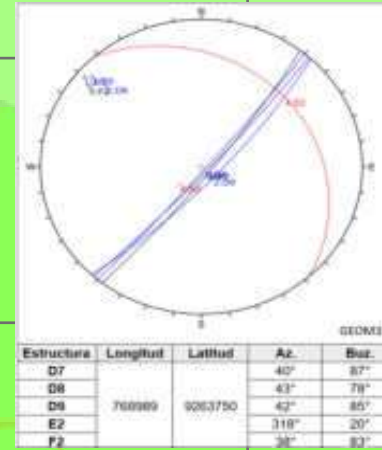
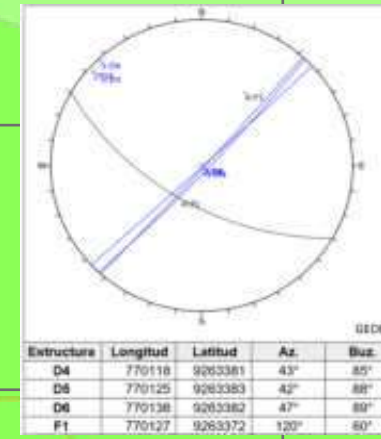
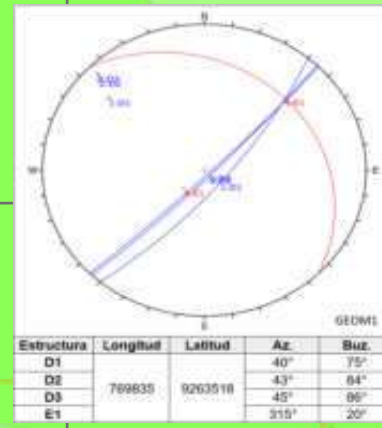
**Pendiente**

-  0° - 8°
-  8° - 20°
-  20° - 50°
-  50° a mas

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
<b>MAPA GEOMORFOLÓGICO DE PENDIENTES</b>		
ELABORADO POR:		Bach. Kelvin L. Fernández Cruzado
ASESOR:		MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani
FECHA:	ESCALA:	DATUM:
Enero, 2021	Gráfica	WGS 84 - 17S
		<b>04</b>



Est.	Longitud	Latitud	Formación	DIP	DD
1	771390	9262647	Ks-ce	28	49
2	770508	9263019	Ks-ce	29	50
3	769705	9263315	Ks-ce	29	51
4	770246	9263029	Ks-ca	18	48
6	770392	9263323	Ks-qm	20	38
7	768741	9263513	Ks-ce	20	45
8	768782	9263513	Ks-ce	24	60
9	768880	9263477	Ks-ce	30	50
11	769974	9263011	Ks-ca	13	62
12	766202	9262828	Ks-ca	10	10
13	766193	9263158	Ks-ca	10	10
14	766955	9263400	Ks-ce	25	28
15	769038	9263395	Ks-ce	20	28
16	769309	9263535	Ks-qm	28	40
17	769859	9263141	Ks-ce	25	32
18	770782	9263386	Ks-ca	25	30
19	765271	9262960	Ks-ca	10	55
20	765295	9262936	Ks-ca	12	58
21	765312	9262910	Ks-ca	10	75
22	769497	9263554	Ks-ca	8	35
23	770003	9263197	Ks-ce	29	35
24	769980	9263013	Ks-ca	18	75
25	768652	9263554	Ks-ce	20	55
26	769702	9263253	Ks-ce	72	40
27	770154	9263388	Ks-ca	16	79
28	770029	9263199	Ks-ce	52	76



**SIMBOLOGÍA**

- Área de Investigación
- Casero
- Centro Poblado
- Buzamientos
- Linea\_Perfil
- Estación Geomecánica

**Fallas**

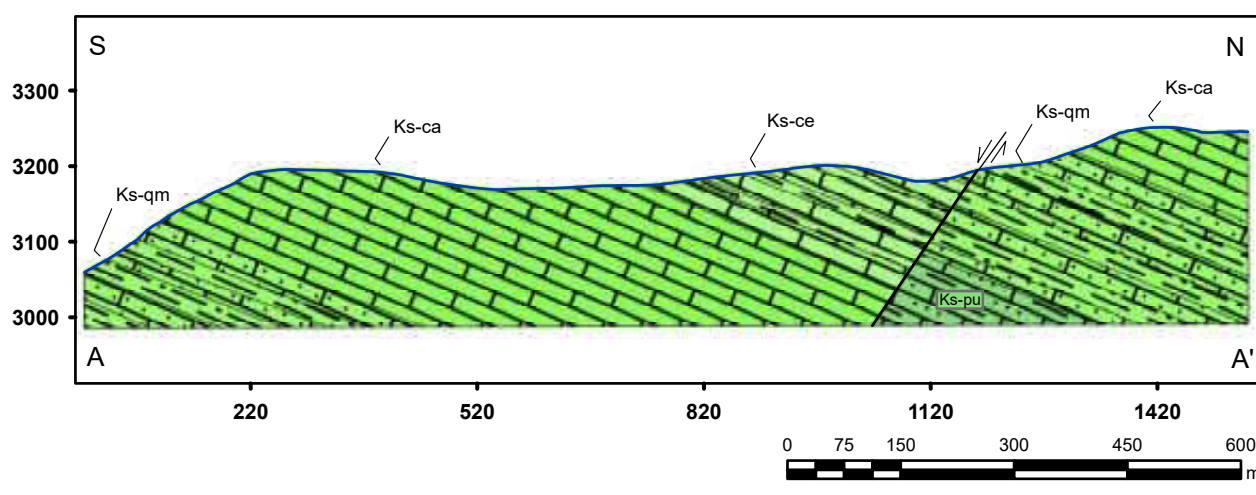
- Falla Inferida
- Falla Normal

**Drenajes**

- Quebrada Intermitente
- Quebrada Machaypungo
- Río Maygasbamba

**GEOLOGÍA**

- Qh-al Depósito Aluvial
- Ks-ce Formación Celendín
- Ks-ca Formación Cajamarca
- Ks-qm Formación Quiquiñan-Mujarrum
- Ks-pu Grupo Pulluicana



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Units: Meter

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

**MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL**

ELABORADO POR: Bach. Kelvin L. Fernández Cruzado

ASESOR: MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani

FECHA: Abril, 2021

ESCALA: Gráfica

DATUM: WGS 84 - 17S

MAPA N°: **05**

765000 766000 767000 768000 769000 770000 771000 772000

9265200  
9264500  
9263800  
9263100  
9262400

9265200  
9264500  
9263800  
9263100  
9262400

Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Caverna 1	Ca1	765345	9263080
Caverna 2	Ca2	765521	9262995
Caverna 3	Ca3	765937	9262801
Caverna 4	Ca4	765187	9263207
Caverna 5	Ca5	765758	9262964

Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Sima 1	Si1	766486	9263780
Sima 2	Si2	769681	9263038
Sima 3	Si3	769974	9263011
Sima 4	Si4	770037	9263009
Sima 5	Si5	770537	9263013
Sima 6	Si6	770833	9263127

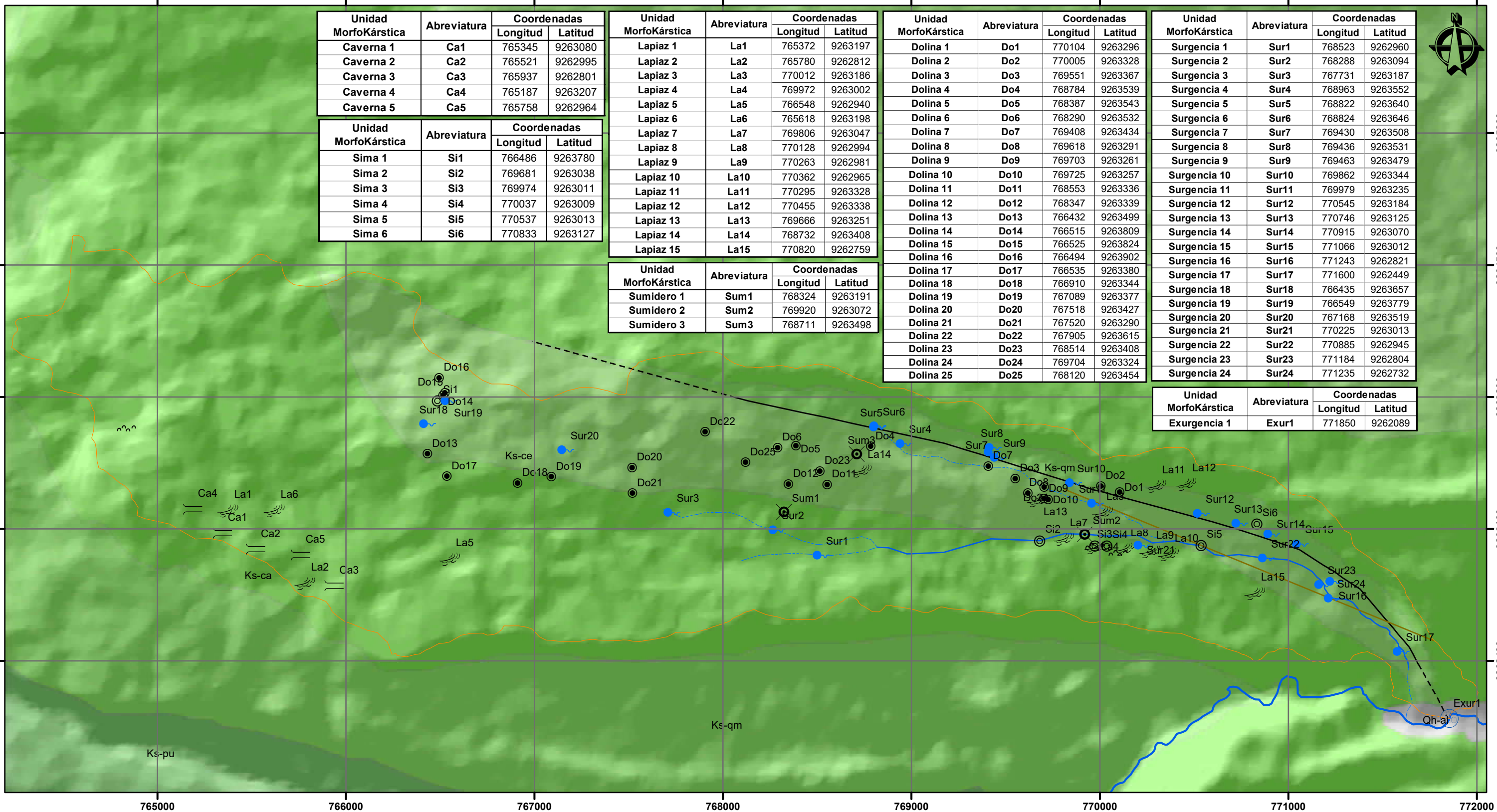
Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Lapiaz 1	La1	765372	9263197
Lapiaz 2	La2	765780	9262812
Lapiaz 3	La3	770012	9263186
Lapiaz 4	La4	769972	9263002
Lapiaz 5	La5	766548	9262940
Lapiaz 6	La6	765618	9263198
Lapiaz 7	La7	769806	9263047
Lapiaz 8	La8	770128	9262994
Lapiaz 9	La9	770263	9262981
Lapiaz 10	La10	770362	9262965
Lapiaz 11	La11	770295	9263328
Lapiaz 12	La12	770455	9263338
Lapiaz 13	La13	769666	9263251
Lapiaz 14	La14	768732	9263408
Lapiaz 15	La15	770820	9262759

Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Sumidero 1	Sum1	768324	9263191
Sumidero 2	Sum2	769920	9263072
Sumidero 3	Sum3	768711	9263498

Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Dolina 1	Do1	770104	9263296
Dolina 2	Do2	770005	9263328
Dolina 3	Do3	769551	9263367
Dolina 4	Do4	768784	9263539
Dolina 5	Do5	768387	9263543
Dolina 6	Do6	768290	9263532
Dolina 7	Do7	769408	9263434
Dolina 8	Do8	769618	9263291
Dolina 9	Do9	769703	9263261
Dolina 10	Do10	769725	9263257
Dolina 11	Do11	768553	9263336
Dolina 12	Do12	768347	9263339
Dolina 13	Do13	766432	9263499
Dolina 14	Do14	766515	9263809
Dolina 15	Do15	766525	9263824
Dolina 16	Do16	766494	9263902
Dolina 17	Do17	766535	9263380
Dolina 18	Do18	766910	9263344
Dolina 19	Do19	767089	9263377
Dolina 20	Do20	767518	9263427
Dolina 21	Do21	767520	9263290
Dolina 22	Do22	767905	9263615
Dolina 23	Do23	768514	9263408
Dolina 24	Do24	769704	9263324
Dolina 25	Do25	768120	9263454

Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Surgencia 1	Sur1	768523	9262960
Surgencia 2	Sur2	768288	9263094
Surgencia 3	Sur3	767731	9263187
Surgencia 4	Sur4	768963	9263552
Surgencia 5	Sur5	768822	9263640
Surgencia 6	Sur6	768824	9263646
Surgencia 7	Sur7	769430	9263508
Surgencia 8	Sur8	769436	9263531
Surgencia 9	Sur9	769463	9263479
Surgencia 10	Sur10	769862	9263344
Surgencia 11	Sur11	769979	9263235
Surgencia 12	Sur12	770545	9263184
Surgencia 13	Sur13	770746	9263125
Surgencia 14	Sur14	770915	9263070
Surgencia 15	Sur15	771066	9263012
Surgencia 16	Sur16	771243	9262821
Surgencia 17	Sur17	771600	9262449
Surgencia 18	Sur18	766435	9263657
Surgencia 19	Sur19	766549	9263779
Surgencia 20	Sur20	767168	9263519
Surgencia 21	Sur21	770225	9263013
Surgencia 22	Sur22	770885	9262945
Surgencia 23	Sur23	771184	9262804
Surgencia 24	Sur24	771235	9262732

Unidad MorfoKárstica	Abreviatura	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
Exurgencia 1	Exur1	771850	9262089



**SIMBOLOGÍA**

- Área de Investigación
- Línea Perfil b-b'

**Fallas**

- Falla Inferida
- Falla Normal

**Drenajes**

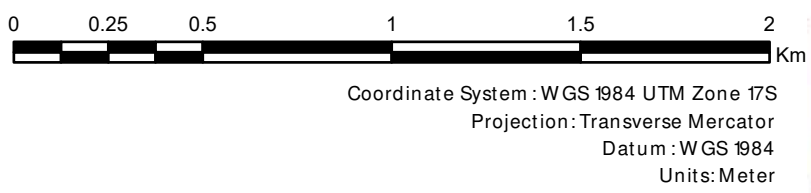
- Quebrada Intermitente
- Quebrada Machaypungo
- Río Maygasbamba

**GEOLOGÍA**

- Qh-al Depósito Aluvial
- Ks-ce Formación Celendín
- Ks-ca Formación Cajamarca
- Ks-qm Formación Quiquiñan-Mujarrum
- Ks-pu Formación Pulluicana

**ESTRUCTURAS KÁRSTICAS**

- Caverna
- Exurgencia
- Surgencia
- Sima
- Sumidero
- Dolina
- Lapiaz
- Paisaje Kárstico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

**MAPA ESTRUCTURAS KÁRSTICAS**

ELABORADO POR: Bach. Kelvin L. Fernández Cruzado

ASESOR: MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani

FECHA: Abril, 2021 | ESCALA: Gráfica | DATUM: WGS 84 - 17S

MAPA N°: 06