



XVIII Congreso Peruano de Geología

CLASIFICACIÓN INGENIERIL DE LOS TERRENOS KÁRSTICOS EN ROCAS CARBONATADAS DEL CRETÁCEO SUPERIOR (CELENDÍN, CAJAMARCA)

Julio César Tuesta Rabanal¹

¹ Bachiller en Ingeniería Geológica, Jr. Mateo Pumacahua 251 L-5 Br. La Colmena, Cajamarca, Perú (julioctr2@hotmail.com)

Resumen

A escala regional, las rocas carbonatadas pertenecientes al Cretáceo Superior en interacción con el agua generan procesos kársticos y en consecuencia riesgos en la cimentación de infraestructura civil. Este trabajo de investigación tiene como propósito aplicar el método de clasificación ingenieril de terrenos kársticos según Waltham y Fookes a las rocas carbonatadas en los alrededores de Celendín, con la finalidad de determinar la madurez del karst. Para ello se ha realizado un cartografiado geomorfológico de las dolinas, cuevas, pináculos kársticos y el sistema de fracturamiento de las rocas.

Los resultados de la investigación muestran un karst maduro (KIII). En función a la complejidad del karst se recomiendan estudios de geofísica de microgravedad y resistividad para comprender con mayor detalle la configuración actual del karst, y así realizar una adecuada cimentación, y por consiguiente reducir la vulnerabilidad frente a de peligros geológicos.

Palabras clave

Karst, dolinas, pináculos kársticos, cuevas, clasificación ingenieril, calizas.

1. Introducción

Los terrenos kársticos representan un reto para la cimentación de infraestructura civil, debido a lo impredecible de su naturaleza y al poco estudio que se tiene sobre el mismo. La clasificación del karst planteada por Waltham y Fookes cuantifica 3 parámetros fundamentales para determinar su madurez y complejidad, objetivo fundamental de esta investigación. Estos parámetros son: la densidad de dolinas, las dimensiones de las cuevas y el tamaño de los pináculos kársticos (Waltham y Fookes, 2005).

Este tipo de clasificación de terrenos kársticos aún no han sido realizadas en nuestro país, y su implementación y adaptación a nuestra realidad podría servir como una herramienta para los estudios previos a la cimentación de construcciones civiles.

2. Metodología

2.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio abarca los cerros Huashaj y La Muralla, ubicados en la provincia de Celendín, 100 km. al noreste de la ciudad de Cajamarca, en el departamento Cajamarca.

El área de estudio se encuentra enmarcado dentro de los siguientes vértices, con coordenadas UTM WGS-84:

COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO		
VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	817549	9238526
V2	821495	9238526
V3	821495	9232011
V4	817549	9232011

Tabla N° 1 Vértices del área de estudio.



Figura N° 1 Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth.

2.2 Estratigrafía

Las unidades lito-estratigráficas que se encuentran en el área de estudio corresponden serie carbonatada del Cretáceo Superior, abarcando desde la Formación Yumagual hasta la Formación Celendín. Además de estas formaciones también afloran en el área de estudio la Formación Chota.

En las formaciones Cajamarca y Yumagual se identificaron estratos superiores a 1 metro de espesor de calizas tipo wackstone y packstone; con escasos niveles de lutitas.

Mientras que en la Formación Celendín y en el Grupo Qulquiñan-Mujarrun se identificó calizas tipo wackstone intercaladas con estratos de lutitas y ciertos niveles de margas.

	Área (Km ²)	Porcentaje (%)	
Cuaternario Lagunar	0.559986	14.5	Serie no carbonatada
Fm Chota	1.741877		
Fm Celendín	1.193702	85.5	Serie carbonatada
Fm Cajamarca	3.983344		
Gpo Qulquiñan-Mujarrun	3.52289		
Fm Yumagual	4.896278		
TOTAL	15.898077	100	

Tabla N° 2 Área y porcentaje de la serie carbonatada y no carbonatada correspondiente a la superficie de los Cerros Huashaj y La Muralla.

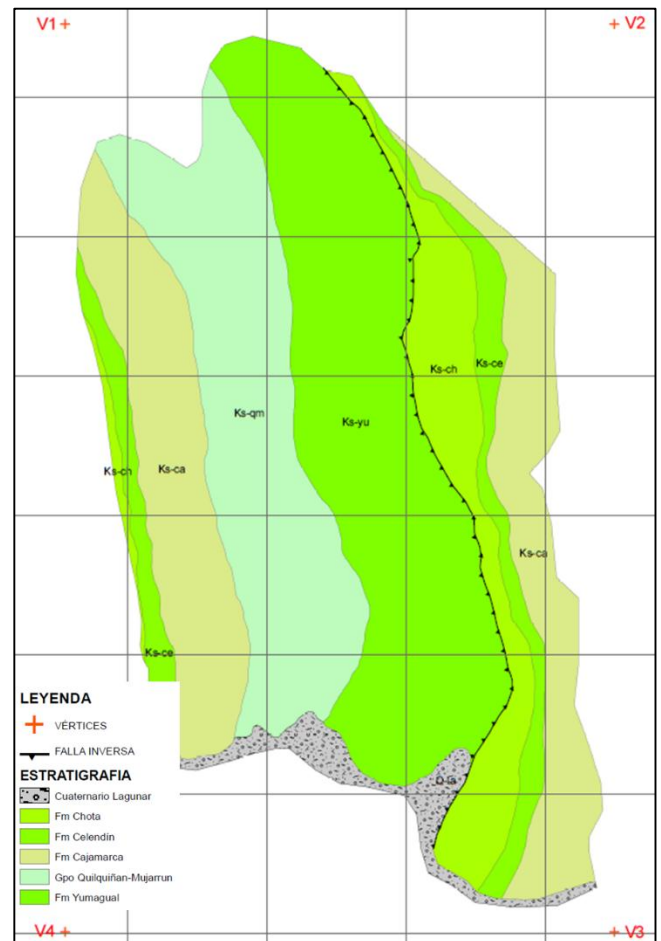


Figura N°2 Plano geológico de la zona de estudio.

2.3 Clasificación ingenieril de terrenos kársticos según Waltham y Fookes

La clasificación de las condiciones de un terreno kárstico elaborada por A.C. Waltham y P.G. Fookes identifica el grado en el que está presente algún parámetro o grupo de parámetros. Se debe cuantificar en términos generales los siguientes parámetros: las dimensiones de los pináculos kársticos, la frecuencia espacial de dolinas y los tamaños de cavidades subterráneas o cuevas. Otras características kársticas son generalmente menos significativas. Además se analiza la ubicación geográfica de área en estudio y el sistema de fracturamiento del macizo rocoso (Waltham y Fookes, 2005).

2.3.1 Densidad de dolinas

Es el número de dolinas por unidad de área, y se puede obtener del análisis de imágenes satelitales, fotos aéreas y/o registros locales. También se debe clasificar de acuerdo al origen de cada dolina. Otro aspecto a considerar es la ocurrencia o generación de nuevas dolinas por año.

2.3.2 Tamaño típico de las Cuevas

Se toman los datos de las cámaras de mayor tamaño en cada cueva (ancho y altura máxima).

2.3.3 Pináculos kársticos

Es una medida del tamaño de los pináculos kársticos y un análisis de los bloques sueltos.

2.3.4 Otros parámetros

Se tiene en cuenta la ubicación geográfica del área de estudio ya que este parámetro influye directamente sobre el clima y paleoclima.

Otro parámetro a tener en cuenta es el sistema de fracturamiento, generando superficies preferentes sobre las cuales se producen los procesos de disolución.

TIPO DE KARST	UBICACIÓN	DOLINAS	PINÁCULOS	FRACTURAMIENTO	CUEVAS	ESTUDIOS DEL SUELO	FUNDACIONES
KI INICIAL	Sólo en los desiertos y zonas periglaciares, o en carbonatos impuros	Poco común NSH <0,001	Casi uniforme; fisuras menores	mínimo; baja permeabilidad secundaria	Raro y pequeñas; algunos rasgos de relictos aislados	Convencional	Convencional
KII JUVENIL	Es mínimo en regiones templadas	Pequeñas dolinas de su fusión o dolinas aisladas; dolinas con corrientes de agua abiertas. NSH=0,001-0,05	Muchas pequeñas fisuras	Generalizada en los pocos metros de la superficie más cercana	Muchas cuevas pequeñas; <3m	Principalmente convencional, sondear roca a 3 m, comprobar fisuras en pináculos	Aplicación de mortero en las fisuras abiertas; control de drenaje
KIII MADURO	Común en las regiones templadas; mínimo en los trópicos húmedos	Muchas dolinas de su fusión y aisladas; grandes dolinas de disolución; pequeñas dolinas de colapso y enterradas. NSH=0,05-1,0	Fisuras extensas; profundidad de <5 m; bloques sueltos en la cubierta de suelo	Abertura secundaria extensa de la mayoría de las fisuras	Muchas <5m de ancho en múltiples niveles	Sonda a pináculos, sonda a roca a 4m, estudio de microgravedad	Vigas de cimentación, considerar geomallas, pilotes hincados a pináculos; control de drenaje
KIV COMPLEJO	Localizada en las regiones templadas; normal en las regiones tropicales	Muchas dolinas de disolución grandes; numerosas dolinas de hundimiento; dolinas de colapso enterradas y dispersas. NSH=0,5 - 2,0	pináculos kársticos; profundidad de <5-20m; pilares sueltos	Grandes aberturas de disolución, dentro y fuera de las grandes fisuras	Muchas > 5m de ancho en múltiples niveles	Sonda a pináculos, sonda a roca a 5m con sondas extendidas, estudio de microgravedad	Pilotes perforados a pináculos, o mortero en pináculos; control de drenaje y la extracción de agua
KV EXTREMO	Sólo en las zonas tropicales húmedas	Dolinas muy grandes de todos los tipos; arcos remanentes; compactación del suelo en dolinas enterradas. NSH >> 1	Pináculos altos; profundidad de > 20m; pilares sueltos socavan entre fisuras profundas del suelo	Abundantes cavidades de disolución y muy complejas	Numerosos sistemas de cuevas complejas, galerías y cámaras > 15m	Hacer estudios del suelo individual para cada lugar	Mantener suelos con geomalla, carga sobre pináculos comprobados, o sobre pilotes profundos; controlar todo el drenaje y controlar su extracción

Tabla N° 3 Clasificación ingenieril del karst. Fuente: Waltham y Fookes, 2005.

3. Resultados

3.1 Densidad de dolinas

Los terrenos kársticos presentan 17 dolinas de disolución, 5 dolinas de colapso y 2 dolinas enterradas. Además en conjunto, tanto las dolinas de disolución y las dolinas enterradas se consideran dolinas de subsidencia, así que también corresponden a un karst complejo. El parámetro correspondiente a la creación de nuevas dolinas por Km² por año (NSH) no se pudo calcular debido al corto tiempo de la investigación. A esto debemos agregar que existe un polje que viene a ser la evolución de dolinas preexistentes. Todas estas características determinan una clasificación tipo K IV.

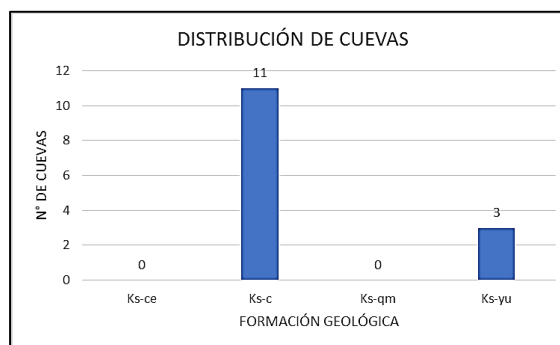


Figura N° 4 Distribución de cuevas por formación geológica. Formación Celendín (Ks-ce), Formación Cajamarca (Ks-c), Grupo Quilquiñan-Mujarrun (Ks-qm) y Formación Yumagal (Ks-yu).



Figura N° 3 Dolinas de disolución en el contacto de la Formación Cajamarca y Grupo Quilquiñan Mujarrun.

3.2 Tamaño de cuevas

Se identificaron 4 cuevas de las 14 en total con dimensiones de 3 m. o más de altura máxima y ancho máximo, es decir, la clasificación en función a las cavernas correspondería un karst tipo K III (karst maduro).

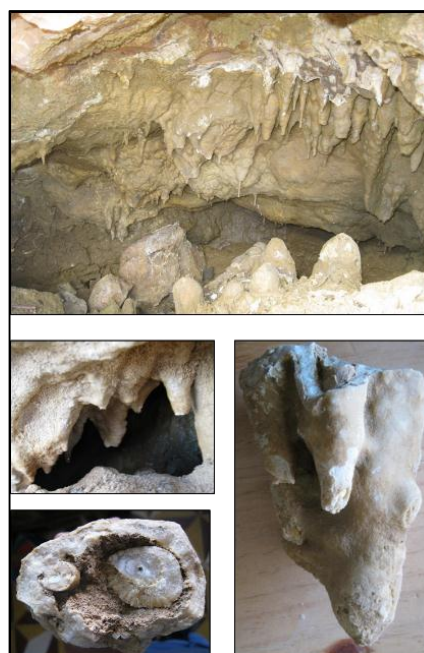


Figura N° 5 cueva n° 5 con estalactitas y estalagmitas. E: 821278 y N: 9232688.

3.3 Pináculos kársticos

Los terrenos kársticos del área de estudio corresponden a un tipo kIII (karst maduro), ya que los pináculos kársticos alcanzan tamaños inferiores a los 5m, en promedio 2m. Las superficies que abarcan son extensas en las formaciones Cajamarca y Yumagual.



Figura N° 6 Pináculos kársticos con tamaños de 2 m. aproximadamente.

A continuación se muestra un perfil esquemático de los pináculos kársticos con datos obtenidos en campo. En este esquema se aprecia que el plano principal de disolución de las rocas calcáreas viene a ser el plano de estratificación.

Además se puede observar la presencia de bloques sueltos que han sufrido un desprendimiento del macizo rocoso y se encuentran contenidas por el material cuaternario.

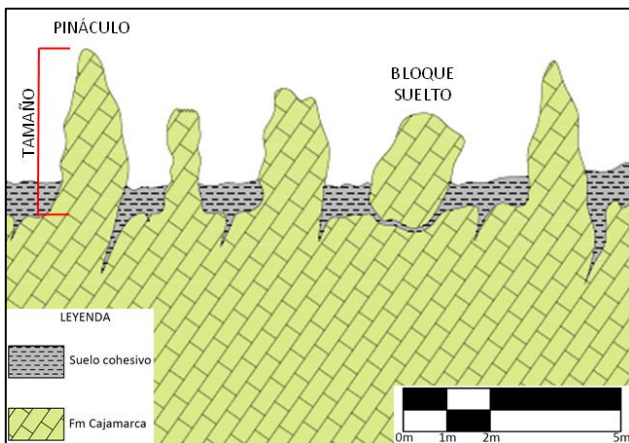


Figura N° 7 Esquema de pináculos kársticos con datos tomados en campo. Vista al NW, E:818571, N:9234382.

3.4 Fracturamiento del macizo rocoso

De acuerdo al trabajo realizado, los terrenos kársticos presentan un karst maduro del tipo KIII, en lo concerniente al fracturamiento en el área de estudio.

Según los estudios realizados, los contactos litológicos, los planos de estratificación y en menor medida las

diaclasas y fallas, han propiciado la infiltración del agua y por consiguiente los procesos de disolución en las rocas carbonatadas.

Los tres sistemas principales de discontinuidades que presenta el macizo rocoso se muestran a continuación:

- Familia 01: Rumbo N 145° y buzamiento 55° SW.
- Familia 02: Rumbo N 31° y buzamiento 61° SE.
- Familia 03: Rumbo N 201° y buzamiento 81° NW.

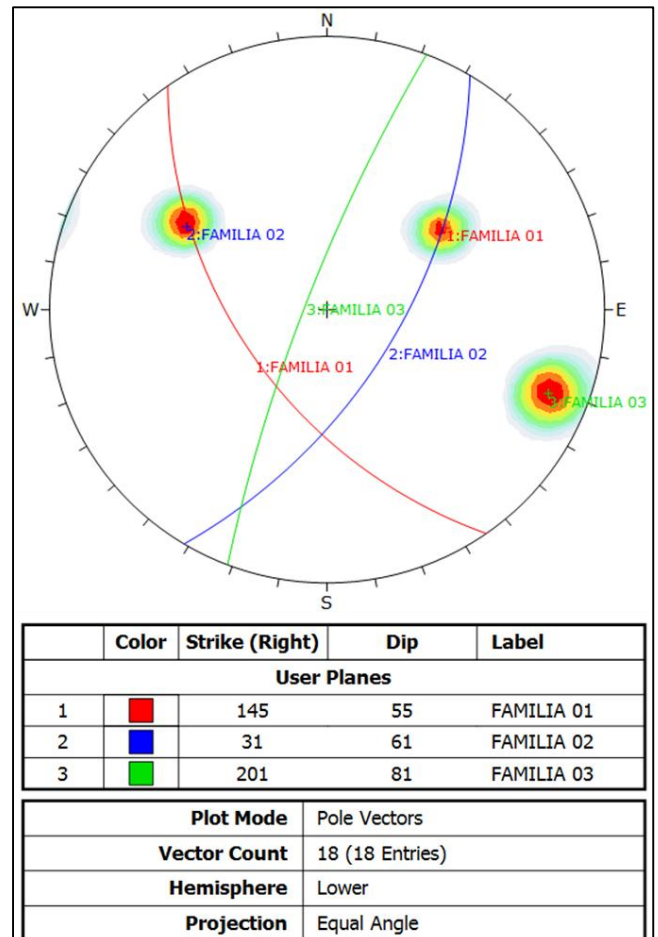


Figura N° 8 Representación de las principales discontinuidades identificadas en el área de estudio con el software Dips.

La familia 01 corresponde a los planos de estratificación y contactos litológicos, siendo plano principal que aprovecha el agua para infiltrarse y generar procesos de disolución.

3.5 Ubicación geográfica

El área de estudio presenta un karst maduro del tipo KIII, en función a su ubicación geográfica, ya que se ubica en una región de clima templado. Además y en función a los estudios realizados por Wilson, el paleoclima de la región presenta registros que durante el Plioceno, durante la glaciación de esta época la provincia de Celendín y Chota se ubicaban en la zona periglaciaria y como producto del deshielo pudo desencadenar una importante etapa de disolución y formación de diversas geoformas kársticas en la región (Wilson, 1984).

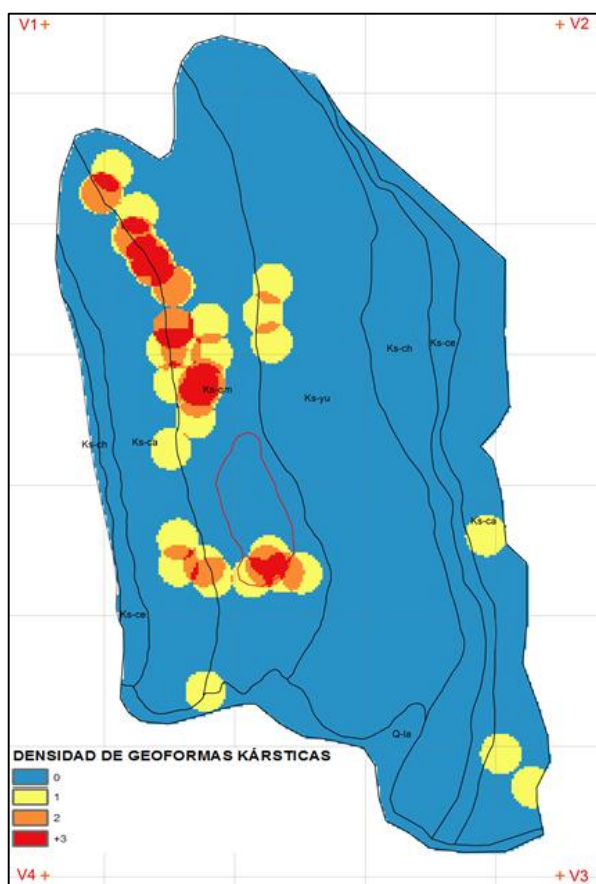


Figura N° 9 Densidad de puntos de geoformas kársticas. En rojo se muestran concentraciones iguales o superiores a 3 geoformas, en naranja 2 geoformas y en amarillo 1 geoforma kárstica.

4. Conclusiones

En función a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Las rocas carbonatadas cubren un 85% del área de estudio, pertenecientes al Cretáceo Superior.

Mediante el cartografiado geológico se pudo clasificar a los terrenos kársticos de acuerdo a los parámetros considerados:

- Según la ubicación geográfica y los estudios de paleoclima, el área de estudio corresponde a un karst maduro (KIII), debido a que se encuentra en una región templada, y los estudios de Wilson muestran una importante etapa de disolución y formación de geoformas kársticas durante el Plioceno.
- El área de estudio presenta una densidad de 2 dolinas por km², y el Grupo Quilquiñan Mujarrun una densidad de 7 dolinas por km². Esto corresponde a un karst complejo (KIV).
- Las dimensiones de las cámaras de mayor tamaño en 4 cuevas superan los 3 metros, lo cual indica un karst maduro (KIII).
- Los pináculos kársticos presentan una distribución amplia en las formaciones Cajamarca y Yumagual, con tamaños en promedio de 2 metros y bloques sueltos

contenidos en el material cuaternario. Esto corresponde a un karst maduro (KIII).

- El fracturamiento del área de estudio presenta una desarrollada permeabilidad secundaria manifestada principalmente en las superficies de estratificación y los contactos litológicos. Esto corresponde con un karst maduro (KIII).

La clasificación global de los terrenos kársticos del área de estudio corresponde a un karst maduro (KIII).

5. Recomendaciones

De acuerdo a estos resultados se tiene algunas recomendaciones para futuros trabajos de investigación:

Realizar estudios de geofísica (microgravedad y resistividad) para comprender mejor el grado de madurez del karst, especialmente en el Grupo Quilquiñan Mujarrun ya que presenta un karst mucho más evolucionado y complejo que las demás formaciones geológicas. Los estudios de microgravedad sirven para identificar cuevas, ya que estas geoformas se muestran como anomalías negativas en este tipo de estudios. Mientras que los estudios de resistividad sirven para determinar la composición de sedimentos y estratos, y para determinar acuíferos.

Tener en cuenta estudios de clasificación ingenieril para la construcción de obras civiles en rocas carbonatadas.

6. Agradecimientos

El presente trabajo de investigación ha sido posible realizarlo gracias al apoyo de docentes, compañeros y amigos.

Un agradecimiento especial a Msc. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, por guiarme durante este trabajo, por brindarme sus conocimientos, experiencias y consejos.

De igual manera agradecer a mis amigos Mary, Francisco, Albert y Francescoli por su constante apoyo en las salidas a campo.

Agradezco a mi familia, amigos y compañeros, ya que gracias a ellos pude realizar este trabajo.

7. Referencias bibliográficas

- Waltham, A.C. Fookes, P.G. (2005). Engineering Classification of Karst Ground Conditions. The Virtual Scientific Journal. (20 p.).
- Waltham, A.C. (2000) The Engineering Classification of Karst with Respect to the Role and Influence of Caves. Journal of Speleology (p. 19-35).
- WILSON, J. (1984) Boletín N°38. Serie "A" Carta Geológica Nacional. INGEMMET. (120 p.).