

Análisis Petrográfico de las areniscas de la Formación Cushabatay. Cuenca Marañón. Pozo Tangarana1. Loreto

Petrographic analysis of the sandstones of the Cushabatay Formation. Marañón Basin. Tangarana1 well, Loreto

Lourdes Janet Quiñones Lavado^{1,a}, Enrique Guadalupe Gómez^{1,b}

Recibido: 13/02/2022- Aprobado: 08/08/2022 – Publicado: 31/12/2022

RESUMEN

Este trabajo presenta el análisis petrográfico de las areniscas pertenecientes a la Formación Cushabatay (Cretácico inferior) en el pozo Tangarana1 en la Cuenca Marañón (Loreto, Perú), el cual se llevó a cabo utilizando técnicas de microscopía óptica y microsonda electrónica para la medición de las características petrográficas y texturales detalladas para determinar sus condiciones de roca reservorio. Los resultados petrográficos corresponden a areniscas de tipo cuarzoareniscas, con alto porcentaje de cuarzo (>95%) y bajo porcentaje de feldespatos y fragmentos de rocas, con tamaño de grano de medio a grueso, con grado de redondez de subredondeados a subangulosos y moderada selección, matriz arcillosa y cementos de arcilla, calcita, siderita, anhidrita y óxidos de hierro. Los valores de porosidad en las areniscas Cushabatay varían de 7% a 14%, observándose una buena correspondencia entre los valores medidos en el análisis petrográfico y los obtenidos en el laboratorio de mecánica de rocas (de 6.5% a 13.5%), en algunas zonas la porosidad está influenciada por la presencia de matriz y cemento arcilloso y otros cementos, por lo expresado las areniscas cushabatay tienen condiciones moderadas para ser consideradas roca reservorio.

Palabras claves: areniscas; Cuenca Marañón; Cushabatay; roca reservorio; rocas sedimentarias.

ABSTRACT

This work presents the petrographic analysis of the sandstones belonging to the Cushabatay Formation (Lower Cretaceous) in the Tangarana1 well, in the Marañón Basin (Loreto, Peru), which was carried out using optical microscopy and electron microprobe techniques for the measurement of detailed petrographic and textural characteristics to determine its reservoir rock conditions. The petrographic results correspond to quartz-sandstone type sandstones, with a high percentage of quartz (> 95%) and a low percentage of feldspars and rock fragments, with a grain size from medium to coarse, with a degree of roundness from sub-rounded to sub-angular and moderate selection, clay matrix and clay cements, calcite, siderite, anhydrite, and iron oxides. The porosity values in the Cushabatay sandstones vary from 7% to 14%, observing a good correspondence between the values measured in the petrographic analysis and those obtained in the rock mechanics laboratory (from 6.5% to 13.5%), in some area's porosity is influenced by the presence of matrix and clay cement and other cements, therefore the cushabatay sandstones have moderate conditions to be considered reservoir rock.

Keywords: sandstones; Marañón Basin; Cushabatay; reservoir rock; sedimentary rocks.

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado. Lima, Perú.

a Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica. Autor para correspondencia: lquinonesl@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4691-5209>

b Docente de la Unidad de Postgrado. E-mail: equadalupeg@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9583-8807>

I. INTRODUCCIÓN

Las rocas sedimentarias actúan en un yacimiento petrolífero tanto como roca reservorio, roca sello o roca madre, esta problemática a resolver es clave tanto en la exploración o explotación de yacimientos de hidrocarburos, por ello se realizó un estudio detallado sobre las areniscas de la Formación Cushabatay, en el pozo Tangarana 1 en la Cuenca Marañón, región Loreto para determinar si constituye una roca reservorio

En la actualidad las empresas petroleras del Perú obtienen los valores de porosidad y permeabilidad mediante el uso de registros eléctricos, pero no utilizan la microscopía óptica para la determinación de dichas propiedades que son muy importantes para determinar rocas reservorio.

Las características petrográficas y texturales de las areniscas se pueden observar con ayuda de un microscopio petrográfico de polarización determinando la granulometría, la composición mineralógica, la textura, la porosidad y la permeabilidad que son los factores que definen la calidad de una arenisca como roca reservorio, información que es sumamente importante tanto para el geólogo explorador como para el Ingeniero petrolero.

Para conocer la composición de los minerales, especialmente de granulometría muy fina como lutitas y arcillitas parte de la problemática se resuelve con el estudio de microsonda electrónica (EPMA), cuando las limitaciones propias de los estudios con microscopio óptico no permitieron obtener resultados esperados.

En este sentido la presente investigación pretende utilizar los núcleos obtenidos durante la perforación de un pozo petrolífero para obtener una información detallada sobre los procesos, condiciones de depósito y diagénesis que ocurrieron en las rocas sedimentarias esperando conocer las condiciones de roca reservorio de la Formación Cushabatay en el pozo Tangarana1 de la Cuenca Marañón.

Las características texturales de las areniscas podrían ser factores adicionales para la planificación de la explotación petrolera y la exploración, ya que se tiene información adicional sobre las rocas sedimentarias.

II. MÉTODOS

El diseño del estudio de investigación es no experimental, descriptivo y aplicativo. Se desarrollo en diferentes etapas. Se inició con la visita a los archivos de Perupetro, donde se tomaron muestras de núcleos convencionales del pozo Tangarana 1.

Para los estudios de Petrografía se prepararon secciones delgadas a partir de los núcleos convencionales del pozo Tangarana1, de la Formación Cushabatay de edad Cretáceo Inferior de la Cuenca Marañón. Las secciones delgadas fueron impregnadas con resina epoxy azul para resaltar los espacios porosos para facilitar la estimación de las porosidades.

El estudio de las secciones delgadas se realizó con un microscopio petrográfico marca Leica bajo luz polarizada

plana y cruzada. Para la toma de fotografías se usó una cámara digital Leica del mismo microscopio de la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Se caracterizó la mineralogía, porosidad, textura y la diagénesis de las areniscas y se encontró que las areniscas presentan granos gruesos y finos y diferentes volúmenes de matriz, cemento y espacio poroso. Los parámetros de textura de las rocas, especialmente el tamaño del grano, la forma del grano, la clasificación y los contactos del grano, se estudiaron usando comparadores visuales, también se hizo un examen de los procesos diagenéticos, el crecimiento de minerales, sus tipos y las relaciones texturales mutuas, y otros.

Se aplicó la técnica de Microsonda Electrónica seleccionándose cuatro muestras de areniscas, para ser estudiadas con la microsonda electrónica de barrido (EPMA) marca Jeol con dos espectrómetros WDS y sistema EDS en el Instituto de Geofísica de la UNAM, México. Las secciones delgadas de las muestras se recubrieron con una película de grafito para mejorar su resolución y poder estudiarlos por medio de la microsonda (EPMA), y el análisis de elementos fue realizado por un sistema de dispersión de energía de rayos X (EDX). Este estudio se enfocó principalmente en materiales finos tipo arcillas, de los cuales se observó la textura y la relación de las areniscas con la matriz y cemento. Las imágenes se tomaron digitalmente en modo de electrón secundario (SE) y como espectros de elementos químicos.

En el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la UNMSM se realizó los ensayos de propiedades físicas de las rocas. Finalmente se realizó el procesamiento de la información para obtener los respectivos resultados.

III. RESULTADOS

3.1. Petrografía de las Areniscas

El análisis modal se realizó en 11 muestras provenientes de núcleos convencionales de areniscas de la Formación Cushabatay del pozo Tangarana1 en la Cuenca Marañón. El tamaño de grano varía de muy grueso a muy fino, el mayor porcentaje corresponde al grano medio. Las texturas de las areniscas son clásticas y consisten en granos subredondeados a subangulares con contactos cóncavo-convexos, suturados, tangenciales y largos y con una clasificación moderada. Presenta una matriz de arcilla en bajo porcentaje (promedio 5%) derivado de la deformación mecánica y alteración de los fragmentos de rocas. La matriz llena el espacio intergranular y también se observa diferentes tipos de cemento, de carbonatos (calcita y dolomita), arcillas (caolinita), anhidrita, óxidos de hierro y granos de cuarzos con sobrecrecimientos secundarios.

El cuarzo monocristalino es abundante, mientras que el cuarzo policristalino está en menor porcentaje. El feldespato es la plagioclasa y está en bajo porcentaje. Los minerales pesados identificados en las secciones delgadas son turmalina, inclusiones de circón en granos de cuarzo., biotita y muscovita (trazas). Los fragmentos de roca son de tipo volcánico, metamórfico y sedimentario. (ver Figura 1).

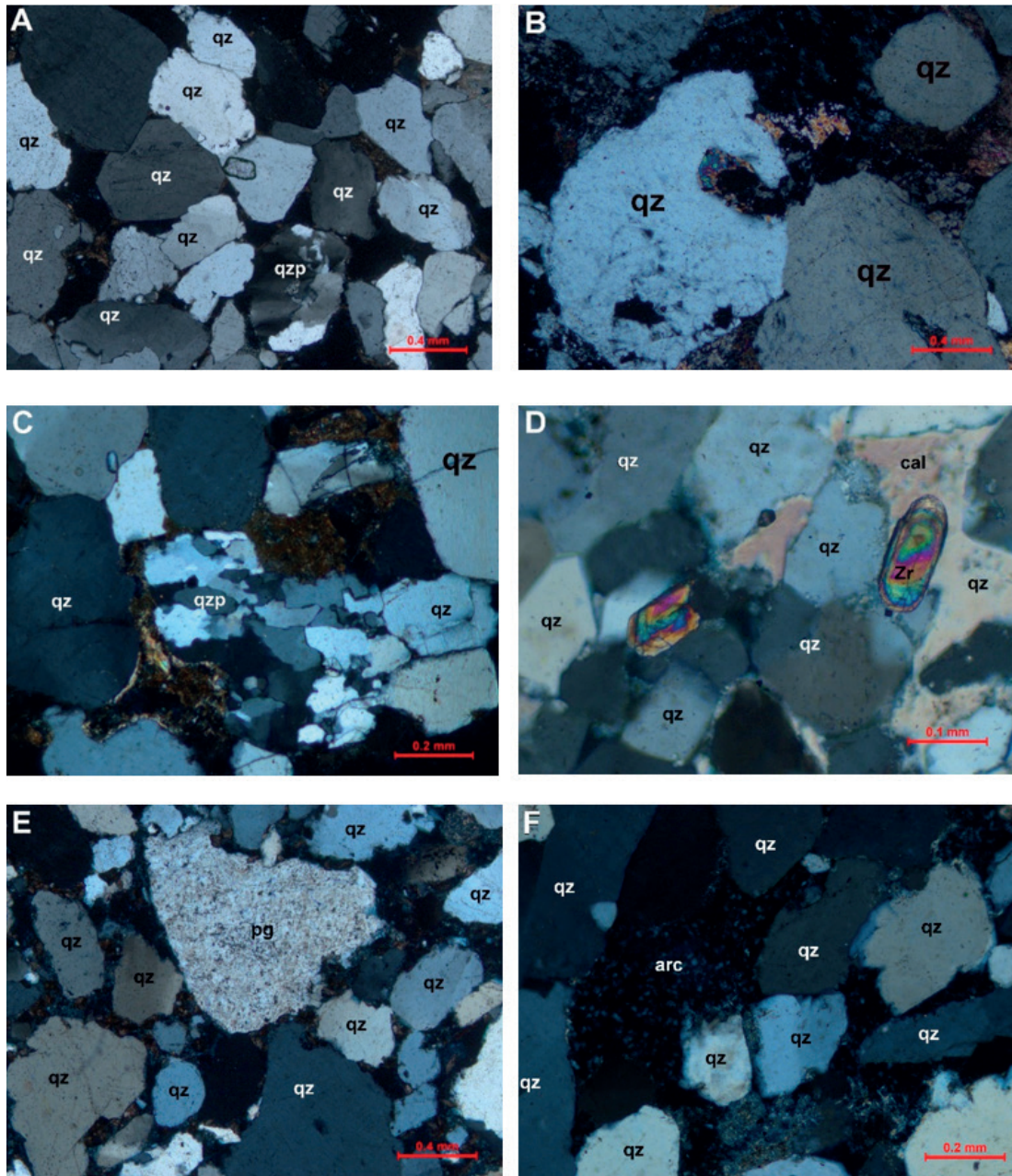


Figura 1. Tipos de cuarzos en las areniscas

Nota. A) grano de cuarzo monocristalino(qz). B) grano monocristalino volcánico. C) grano de cuarzo policristalino(qzp). D) inclusión de circon (Zr) en grano de cuarzo. E) grano de plagioclasa(pg) alterada. F) granos de cuarzo con matriz de arcillas(arc).

Las muestras de areniscas de la formación Cushabatay están constituidas por areniscas ricas en cuarzo y deficiente en granos líticos, y en feldespatos. La composición modal promedio para todas las muestras analizadas es (promedio % QFL =99.4, 0.3, 0.3). La mayoría de las muestras de las areniscas contienen más del 99% de granos de cuarzo, siendo todas clasificadas como arenita de cuarzo o cuarzoareniscas (Folk, 1980). Las muestras estudiadas tienen menos del 15% del material intergranular debido a los procesos diagenéticos. Las areniscas son mineralógicamente maduras, con muy alto contenido de cuarzo monocristalino y cantidades menores de plagioclasa y feldespato potásico.

3.2. Composición mineralógica

Las areniscas analizadas contienen un conjunto de granos minerales, los cuales se describen brevemente:

3.2.1. Cuarzo

Los granos de cuarzo monocristalino constituyen del 67% al 77% de los puntos contados en el análisis modal de las muestras. La mayoría de estos granos son subredondeados a subangulosos, con una leve extinción ondulante. Se observa cuarzos engolfados. Algunos tienen sobrecrecimientos redondeados de cuarzo (Figura 2F). Se observan en algunos cristales de cuarzo inclusiones de circones y rutilo en

formas de agujas, los contactos entre los granos de cuarzo son concavo-convexos.

El cuarzo policristalino que consta de tres o más subgranos (Figura 1C) varía de 0.3% a 3% de las muestras contadas. Estos granos incluyen granos con límites alargados y contactos suturados y granos con dos o más cristales unidos a lo largo de sus caras.

3.2.2 Feldespatos

El contenido de feldespatos en las muestras es en porcentaje muy bajos, con valores promedio de 0.3%. Estos cristales se observan en individuos subhedrales y se encuentran alterados a arcillas o sericita. (Figura 1F).

3.2.3 Fragmentos de roca

Los fragmentos líticos o de roca constituyen de 0.3 a 0.7% y se encuentra solo en algunas de las areniscas. Los granos líticos volcánicos se presentan en pequeñas cantidades y son de grano fino, están presentes en algunas de las muestras contadas. Estos granos consisten en varios tipos, incluidos microcristalinos, feldespáticos, chert; agregados de matriz y minerales máficos.

Los granos líticos sedimentarios incluyen fragmentos de arenisca de grano muy fino y representan menos del 1% de las muestras contadas. El Chert son granos roca silícea microcristalina están presentes en pequeñas cantidades (0.3%) en las muestras de arenisca.

3.2.4. Minerales accesorios

Los minerales pesados y micas se encuentran entre 0.3 a 1% del volumen total de la roca, aunque también está presente en el orden de trazas en algunas muestras. Estos minerales incluyen biotita, moscovita, clorita, turmalina, hornblenda y opacos. Los opacos son los accesorios que están presentes en prácticamente la totalidad de las muestras en cantidades que varían de 1 % a trazas.

3.2.5 Matriz de las areniscas

En las areniscas estudiadas la matriz está presente en un promedio del 5% del volumen total de la roca y se encuentra en algunas muestras, y está constituida principalmente por arcillas (Figura 1D). En algunas zonas está compuesta por fragmentos de cuarzo. Los minerales de arcilla tipo caolinita se observan entre los granos de cuarzo como agregados intergranulares microcristalinos de tamaño variable. Estos agregados están compuestos de cristales o libritos pseudo hexagonales de caolinita, estrechamente empaquetados, y en algunas zonas de la muestra rellenan los espacios entre los granos (Figura 1D) y/o cubriendo los bordes de los granos.

3.2.6 Cemento de las areniscas

Los materiales cementantes observados en las muestras son: dolomita $MgCa(CO_3)_2$, calcita ($CaCO_3$), anhidrita ($CaSO_4$), sílice (SiO_2), óxidos de hierro (Fe_2O_3), siderita ($FeCO_3$) y arcillas. El volumen de cemento está en un promedio del 15% del total. El cemento de tipo carbonato y arcilla son los de mayor volumen en la mayoría de las areniscas.

3.2.7. Texturas de las areniscas

Las areniscas de la formación Cushabatay presentan valores de porosidad que varían de 7% a 14%. Las permeabilidades

van desde menos de 0.8 - 680 md (Madariaga Cubides, 2017), que puede variar dependiendo del tipo de cemento presente en las areniscas.

Los granos de cuarzo detrítico constituyen el mayor porcentaje de los constituyentes terrígenos. La mayoría de estos granos de cuarzo son monocristalinos y muestran una extinción uniforme u ondulosa cuando se ven bajo luz polarizada cruzada. (Figura 1A). Predominan las partículas de cuarzo que tienen extinción uniforme. Los contactos suturados y cóncavo-convexos son los que se presentan en la mayoría de las rocas. Estos contactos reflejan el mecanismo de reducción de la porosidad por compactación, el aumento de presión favorece la disolución en dicho contacto y así se generan los contactos cóncavo-convexos y suturados y la precipitación de sílice secundaria (Alonso Zarza, 2010).

El cemento de cuarzo se observa como sobrecrecimientos de cuarzo autigénico, estos crecimientos excesivos se han desarrollado en continuidad óptica con el núcleo detrítico original, pueden mostrar caras euhédricas bien desarrolladas cuando han crecido en un espacio poroso libre. Estos crecimientos excesivos son el tipo más común de cemento donde la arenisca es una cuarzoarenisca limpia (Worden & Morad, 2000). El desarrollo de sobrecrecimientos de cuarzo autigénico se ha inhibido cuando los granos de cuarzo detrítico han sido recubiertos por material arcilloso, observándose la presencia de un anillo de polvo que consiste en arcilla detrítica adherente que permite delinear la configuración del cuarzo original (Figura 2F). Estos recubrimientos probablemente se formaron durante la deposición del sedimento original o durante la diagénesis muy temprana, ya que no han permitido el desarrollo de cementaciones extensivas por cementos de cuarzo posteriores. La litofacies primaria ejerce un fuerte control sobre la cementación de cuarzo, porque el cuarzo necesita sustratos limpios para formarse, es más probable que la cementación de cuarzo sea inhibida por la presencia de recubrimiento de arcillas (Worden & Morad, 2009).

En las areniscas cementadas con calcita, se encontró que los granos de cuarzo tenían contactos puntuales o largos con los granos de cuarzo detríticos adyacentes. También se observaron granos de cuarzo flotante en una matriz de calcita. (Figura 2A). En algunas muestras, los carbonatos han sido reemplazados por cuarzo y arcilla autigénica. La calcita y la dolomita son los cementos no silíceos menos abundantes. En la Figura 2 se observa el cuarzo con diferentes minerales como cementantes.

3.2.8. Porosidad

La porosidad en las areniscas es primaria de tipo intergranular con un valor promedio de 10.5%, estimado a partir de estudios con microscopía óptica y por análisis en el laboratorio de mecánica de rocas, según Net & Limarino (2000), se considera porosidad moderada y se encuentra entre el contenido de cuarzo detrítico. En las imágenes de microsonda se observa la porosidad de color oscuro (Figura 3).

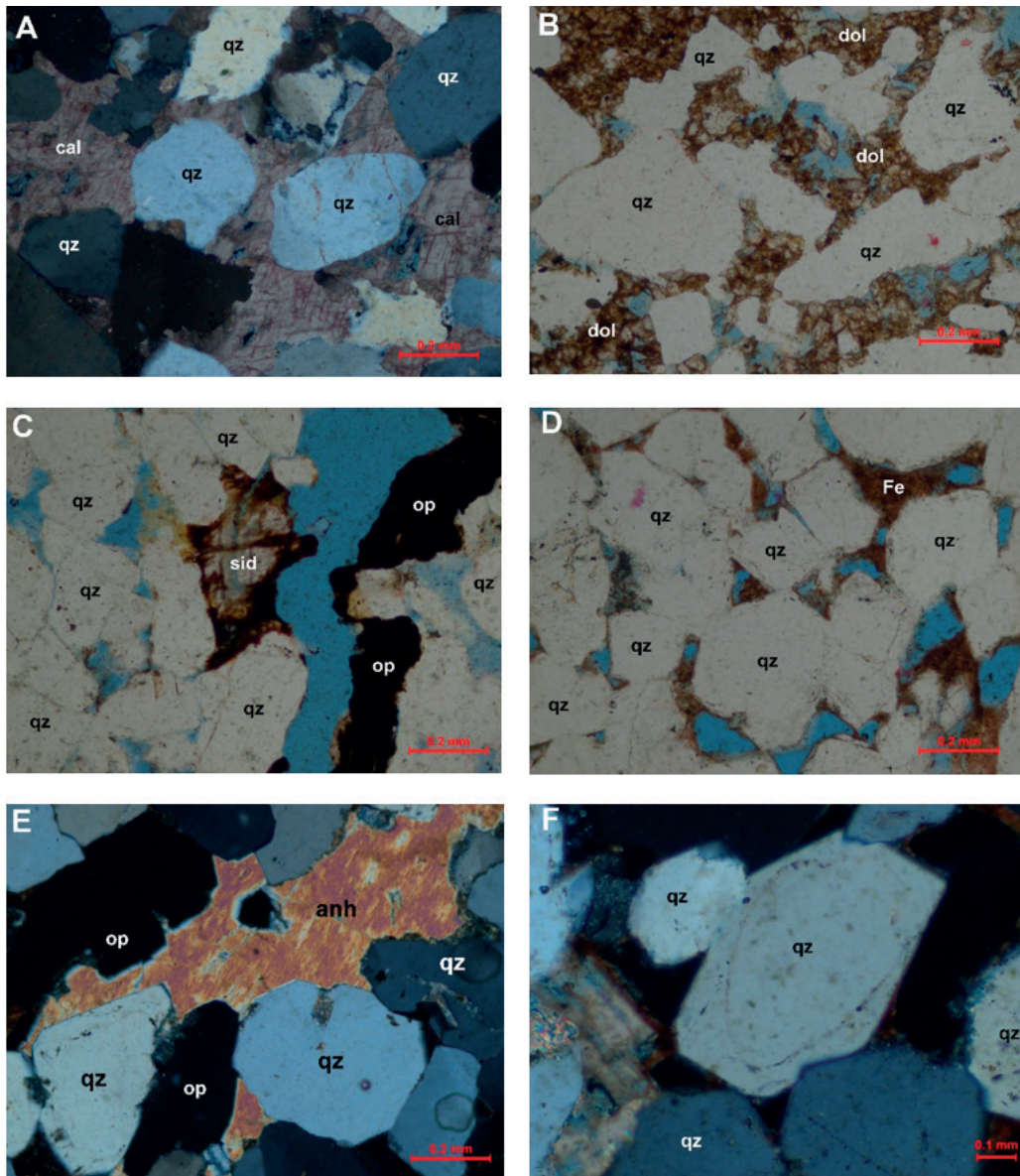


Figura 2. Tipos de cementos en las areniscas

Nota: Cristales de cuarzo con: A) cemento de calcita(cal). B) cemento de dolomita. C) cemento de siderita(sid) rodeada por óxidos de hierro de color marrón. y una venilla de minerales opacos. D) cemento ferruginoso (Fe) alrededor de los granos de cuarzo unidos por contactos cóncavo-convexos. E) cemento de anhidrita. F) sobrecrecimiento de cuarzo autigénico en un grano de cuarzo detrítico.

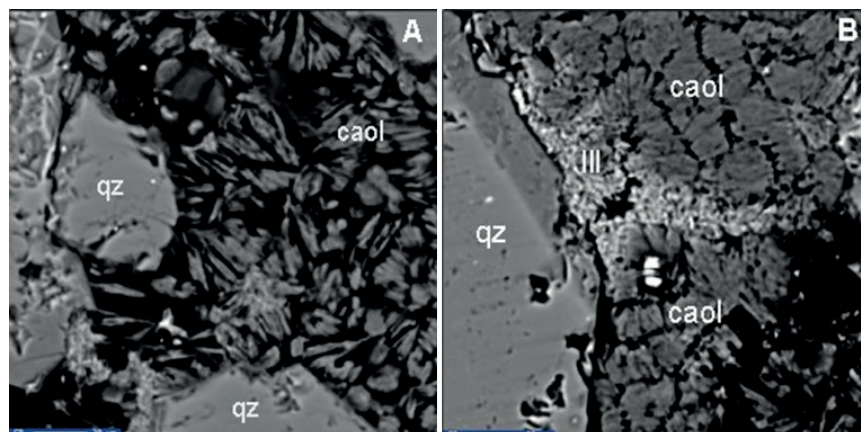


Figura 3. Porosidad en las areniscas

Nota. Las Figuras A y B. presentan Caolinita (caol) e Illita (Ill) rodeando los granos de cuarzo (qz), presencia de poros de color oscuro, vista a través de la microsonda electrónica.

3.2.9. Porosidad por ensayo de propiedades físicas

Estos ensayos se realizaron en el laboratorio según las directivas de la norma ASTM D2216-98 y según las sugerencias del ISRM (Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties). Los resultados se muestran en la Tabla 1.

IV. DISCUSION

Los estudios petrográficos de las areniscas Cushabatay en el área de estudio nos muestran que el componente principal es el cuarzo. Los clastos de cuarzo son subangulares a subredondeados, lo que sugiere que los granos de cuarzo se han transportado desde una gran distancia. Los fragmentos de cuarzo son mayormente monocristalinos con una pequeña cantidad de cuarzo policristalino. El cuarzo monocristalino es principalmente no ondulado, lo que sugiere que la fuente es una roca ígnea y las inclusiones de circón muestran un origen de rocas graníticas. Los granos de cuarzo exhiben contactos planos, suturados y contactos cóncavo-convexos. Los contactos longitudinales indican un origen ígneo, mientras que el contacto suturado indica un origen metamórfico (Folk, 1980). Se observan cuarzos monocristalinos con extinción recta, y con bordes engolfados, que son signos de corrosión a lo largo de su periferie (Figura 1B). Los cuarzos engolfados evidencian aporte de una fuente volcánica (Montijo Gonzales, 2014), (Lothari et al., 2020). El cuarzo policristalino se compone de más de 3 subgranos. La escasez de cuarzo policristalino indica un aporte reducido de fuentes metamórficas. Los granos de cuarzo policristalino son derivados de fuentes plutónicas y metamórficas (Lothari et al., 2020).

En las areniscas Cushabatay se ha encontrado feldespatos que provienen de rocas plutónicas y metamórficas. También fragmentos de rocas ígneas y sedimentarias. El cemento de óxidos de hierro indica un ambiente oxidante, la calcita indica condiciones alcalinas. Los minerales accesorios, como los granos de turmalina indican el origen de rocas ígneas o metamórficas. La inclusión de circón en el grano de cuarzo indica rocas del escudo precámbrico. Algunos granos de cuarzos monocristalinos contienen inclusiones de pequeños minerales de rutilo indicando que provienen de la erosión de rocas ígneas intrusivas félsicas, sobre todo graníticas (Montijo Gonzales, 2014). La moscovita se encuentra en forma tabular y posiblemente se deriva de la biotita. La Matriz de arcilla son derivados de la deformación mecánica

y alteración de los fragmentos de roca metamórfica y feldespatos (Folk, 1980).

Los resultados encontrados por Bhuiyan Hossain & Hossain (2020), en su análisis petrográfico en secciones delgadas de las areniscas de los campos Smørbukk y Heidrun (Noruega) encontraron que están constituidas por cuarzoareniscas de grano medio-grueso, subangular a subredondeado, con una clasificación de pobre a buena, con sedimentos submaduros a maduros caracterizan a las muestras de Smørbukk, en cambio las muestras de Heidrun, son de grano fino a medio, subangular a subredondeados, moderado a bien y de tipo maduros a submaduros. Ambos campos son cuarzoarenitas y subarcosicas, predominantemente compuestos de cuarzo, feldespato, mica, granos líticos y minerales autigénicos arcillosos y no arcillosos. La porosidad general varía del 5% al 15% en las muestras de Smørbukk, mientras que la porosidad varía del 8% al 18% en las muestras de Heidrun, con respecto a las areniscas Cushabatay guardan similitud en los siguientes casos, están constituidas por cuarzoareniscas de grano medio-grueso, subangular a subredondeado, predominantemente compuesto por cuarzo y en menor cantidad feldespatos y fragmentos de rocas. Pero tienen ciertas diferencias en el caso de la madurez ya que las areniscas Cushabatay todas son maduras.

Los resultados encontrados por Rovira González (2021), cuyo objetivo fue identificar las características composicionales y microtexturales de la roca y su estado de diagénesis, con base en la información disponible de secciones delgadas y analizar los factores más relevantes que intervienen en el comportamiento de la Formación Caballos como yacimiento de hidrocarburos en el Campo Toldado, quien reporto que las características petrográficas de las areniscas estudiadas están dominadas por poros intergranulares primarios grandes y por poros secundarios grandes producto de disolución. Estas rocas tienen una porosidad y permeabilidad efectiva alta señalando que las características petrográficas y texturales indican que presenta condiciones de una buena calidad de reservorio. Estos resultados encontrados guardan relación con las areniscas Cushabatay cuyas características petrográficas y texturales como el tamaño grano a medio, contactos concavo convexo y los valores de porosidad de tipo

Tabla 1. Propiedades Físicas de las muestras obtenidas en el Laboratorio

Muestra	Densidad Seca (gr/cm ³)	Densidad Humeda (gr/cm ³)	Absorción (%)	Porosidad Aparente (%)	Peso Especifico Aparente (KN/m ³)
1	3.54	3.68	3.81	13.50	34.78
2	2.43	2.51	3.29	8.00	23.90
3	2.35	2.41	2.79	6.56	23.08
4	2.26	2.38	5.46	12.33	22.24
7	1.84	1.95	5.75	10.60	18.13
8	2.28	2.41	5.63	12.83	22.42

primaria y areniscas de moderada a bien seleccionadas, pero se diferencian porque en las areniscas Cushabatay se observa solo porosidad primaria entre los granos de cuarzo.

V. CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones se extraen sobre la base de la presente investigación:

- Las muestras de arenisca de la Formación Cushabatay en base de los estudios mineralógicos y petrográficos se han clasificado como cuarzoareniscas.
- Las características texturales del Cushabatay son areniscas de grano medio-grueso, subangular a subredondeado, moderado a bien seleccionado, madurez mineralógica y sedimentos compactos.
- Los minerales accesorios observados son turmalina, rutilo, moscovita, biotita, circón y minerales opacos, el circón y el rutilo se encuentran como inclusiones en los granos de cuarzo monocristalino.
- El mayor porcentaje de cemento es la calcita, sílice, y arcillas. La presencia de contactos concavo-convexos y suturados de granos de cuarzo indica cambios diagenéticos.
- La porosidad de las areniscas Cushabatay es primaria con valores de 7 a 14% con una porosidad moderada a buena, similares con los valores obtenidos en los ensayos de mecánica de rocas.
- Las areniscas Cushabatay se consideran con condiciones moderadas como roca reservorio, por sus características texturales de moderada selección y porosidad.

VI. AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto en el Laboratorio de Microscopía Óptica, asimismo a la EP. de Ingeniería de Minas por el apoyo para realizar los estudios necesarios en el Laboratorio de Mecánica de Rocas.

VII. REFERENCIAS

- Alonso Zarza, A. M. (2010). Petrología sedimentaria. Rocas detríticas. Componentes y caracterización de los distintos tipos. *Reduca (Geología). Serie Petrología Sedimentaria*, 2(3), 57–79. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/10119/1/157-302-1-PB.pdf>
- Bhuiyan Hossain, A., & Hossain, S. (2020). Petrographic characterization and diagenetic evaluation of reservoir sandstones from Smørbukk and Heidrun fields, offshore Norway. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 5(1), 11–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2019.12.001>

Folk, R. L. (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks* (University of Texas, Ed.). Tex: Hemphill Pub. Co, 1980. <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/22930>

Lothari, L., Gómez, R., Tunik, M., & Casadio, S. (2020). Análisis de facies y petrografía de los depósitos del Cretácico superior en el norte de la cuenca Neuquina: implicancias para el inicio de la etapa de Foreland. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 27(1). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-49792020000100002&script=sci_arttext&tlng=es

Madariaga Cubides, M. P. (2017). *Evaluación de oportunidad de negocio en la industria petrolera - campo de petróleo en la selva peruana* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/39756>

Montijo Gonzales, A. (2014). *Petrología de rocas Detríticas. Estudio de la formación barranca, en el area de Tecoripa, Sonora*. https://www.academia.edu/9869257/Estudio_de_la_formaci%C3%B3n_barranca_en_el_area_de_Tecoripa_Sonora

Net, L. I., & Limarino, C. O. (2000). Caracterización y origen de la porosidad en areniscas de la sección inferior del Grupo Paganzo (Carbonífero superior), Cuenca Paganzo, Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología*, 7(1–2), 49–72. <http://www.scielo.org.ar/pdf/raas/v7n1-2/v7n1-2a03.pdf>

Rovira González, D. L. (2021). *Modelo sedimentológico de la formación caballos y sus características como roca reservorio en el Campo Toldado, Valle Superior del Magdalena* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79664>

Worden, R. H., & Morad, S. (2000). Quartz Cementation in Oil Field Sandstones: A Review of the Key Controversies The ACORN Accelerating Carbon Technology (ACT) project View project Diagenesis and reservoir quality View project. *Special Publication of the International Association Of Sedimentologists*, 29, 1–20. <https://doi.org/10.1002/9781444304237.ch1>

Worden, R. H., & Morad, S. (2009). Quartz Cementation in Oil Field Sandstones: A Review of the Key Controversies. *Quartz Cementation in Sandstones*, 1–20. <https://doi.org/10.1002/9781444304237.CH1>

Contribución de Autoría

Conceptualización: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Curación de datos: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Análisis formal: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Investigación: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Metodología: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Administración del proyecto: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Recursos: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Software: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Supervisión: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Validación: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Visualización: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Redacción - borrador original: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez); Redacción - revisión y edición: (Lourdes Janet Quiñones Lavado) (Enrique Guadalupe Gómez)