

1. Petrografía de arenitas

Se realizó el análisis de 10 secciones delgadas de la Formación Angostura del río Lebrija nombradas con el prefijo “B”, la altura estratigráfica en metros, y el sufijo “P”. Su clasificación petrográfica se muestra en la Tabla 1.

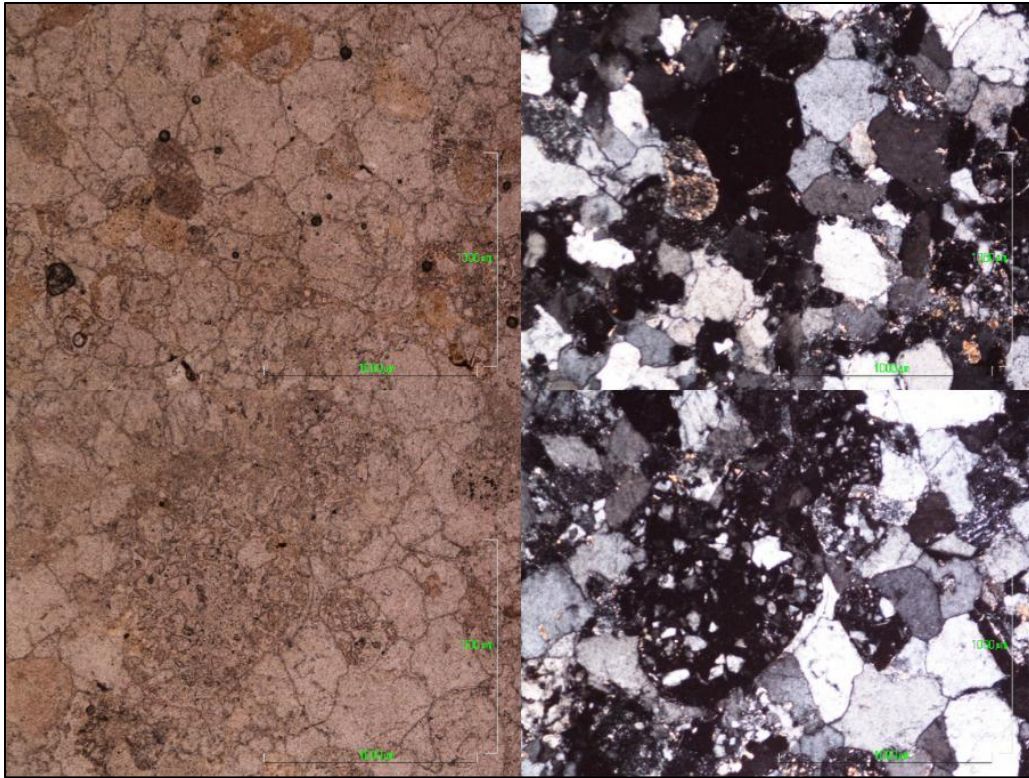
Tabla 1. Conteo de puntos para clasificación

Muestra	Qm	Qf	Qft	Fk	Plag	Lp	Lv	Lm	Ls
B348P	134	42	5	23	11	12	3	10	79
B371P	195	34	7	15	13	10	-	8	32
B300P	168	37	3	9	6	9	2	7	68
B309P	180	17	3	32	10	6	3	7	42
B256P	138	43	4	30	16	11	1	4	53
B248P	210	29	1	27	11	5	-	2	15
B202P	203	40	-	12	6	4	3	2	30
B145P	199	33	2	7	5	8	2	5	38
B87P	252	23	1	5	-	4	-	2	13
B30P	253	35	-	3	1	1	-	2	7

1.1 Muestra B348P

La muestra presenta una composición mineralógica dominada por cuarzo, con un contenido del 56.7%. Este mineral se encuentra en granos subredondeados a subangulares, con buena selección y evidencias de abrasión mecánica, lo que indica un proceso de transporte prolongado antes de su depositación (figura 1).

Figura 1. Foto de la sección B348P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los feldespatos representan el 10.6% de la muestra y están compuestos principalmente por plagioclasas. Estos minerales muestran signos de alteración, con presencia de sericitización y arcillización en algunos casos, lo que sugiere una etapa de diagénesis avanzada.

Los fragmentos líticos constituyen el 32.6% de la muestra y provienen de diversas fuentes.

Se identificaron:

- 79 fragmentos líticos sedimentarios, provenientes de la Formación Bocas y la Formación Jordán.
- 10 fragmentos líticos metamórficos, originados en los Esquistos del Silgará y el Gneis de Bucaramanga.

- 15 fragmentos líticos ígneos, subdivididos en 12 plutónicos derivados del Granito de Pescadero y 3 volcánicos.

Estos fragmentos muestran distintos grados de intemperismo y alteración, lo que indica una procedencia mixta y evidencia procesos de reciclaje sedimentario.

Bajo luz polarizada, se observa una textura clástica bien desarrollada, con contactos mayoritariamente flotantes a punto, lo que sugiere una compactación moderada. La matriz es escasa y está compuesta por cementos silíceos y arcillosos, que contribuyen a la consolidación del sedimento. Además, se evidencian poros intergranulares, lo que indica una permeabilidad moderada en la roca.

En la matriz se identificaron sericita, moscovita y óxidos, los cuales pueden estar asociados a la alteración de feldespatos o fragmentos líticos metamórficos. Como minerales accesorios, se observaron moscovitas en forma de láminas delgadas con birrefringencia característica, dispersas entre los granos principales.

La muestra analizada corresponde a una arenisca de composición cuarzo-feldespática, con una proporción significativa de fragmentos líticos (figura 2). Su textura y estructura sugieren un ambiente deposicional de alta energía, posiblemente asociado a un sistema fluvial (figura 3). La diagénesis ha afectado moderadamente la muestra, reflejada en la compactación y alteración de minerales inestables. La presencia de poros sugiere que aún mantiene cierta capacidad de almacenamiento de fluidos.

Figura 2. Clasificación según el triángulo de Folk

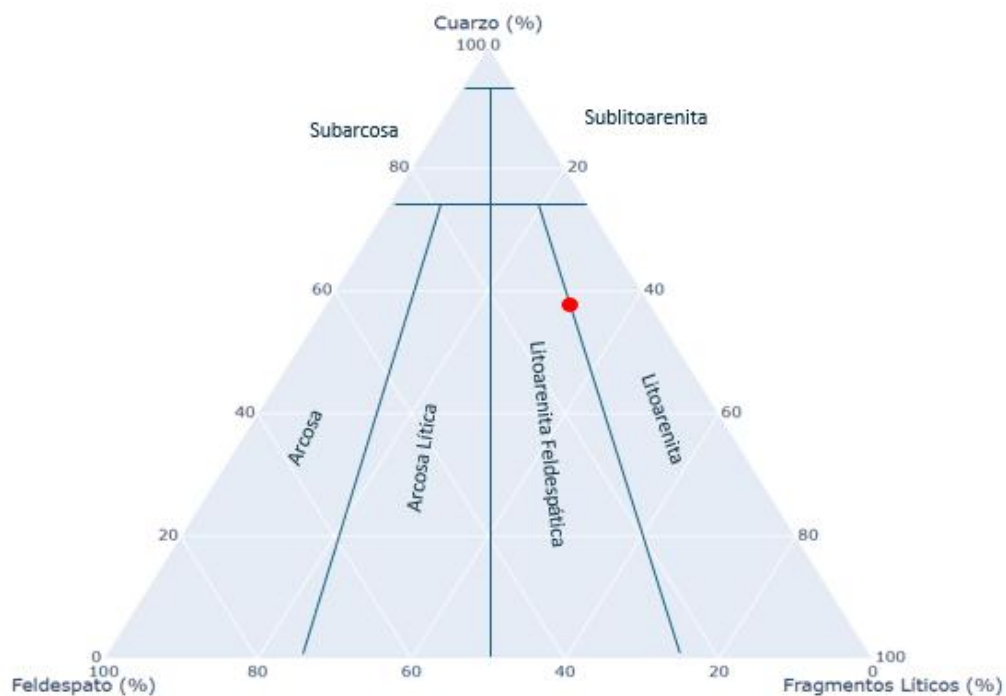
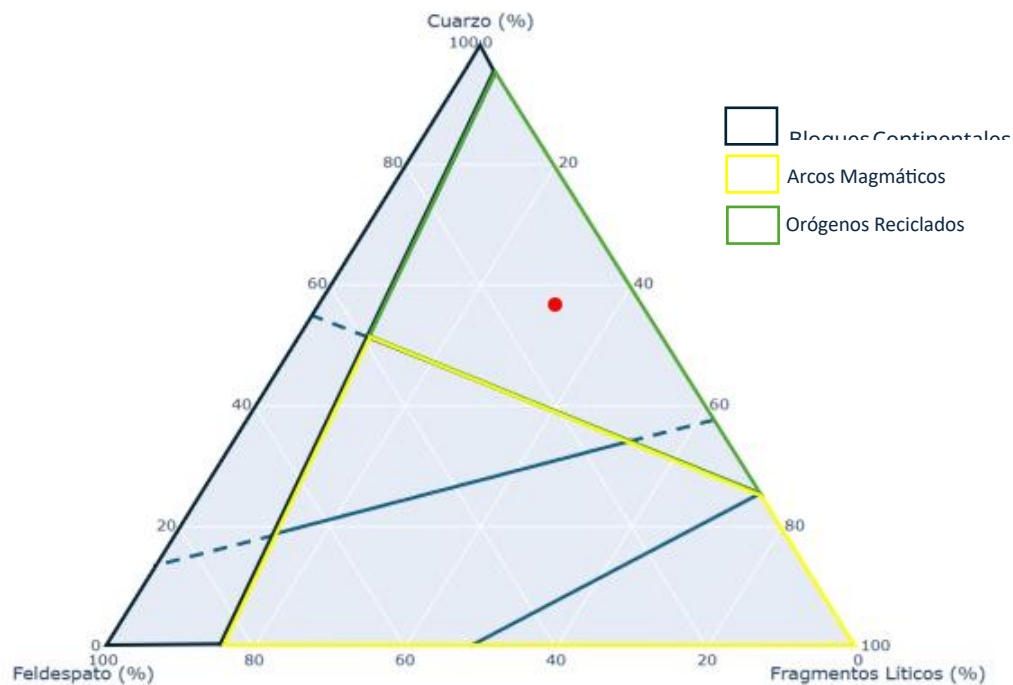


Figura 3. Clasificación según el triángulo de Dickinson

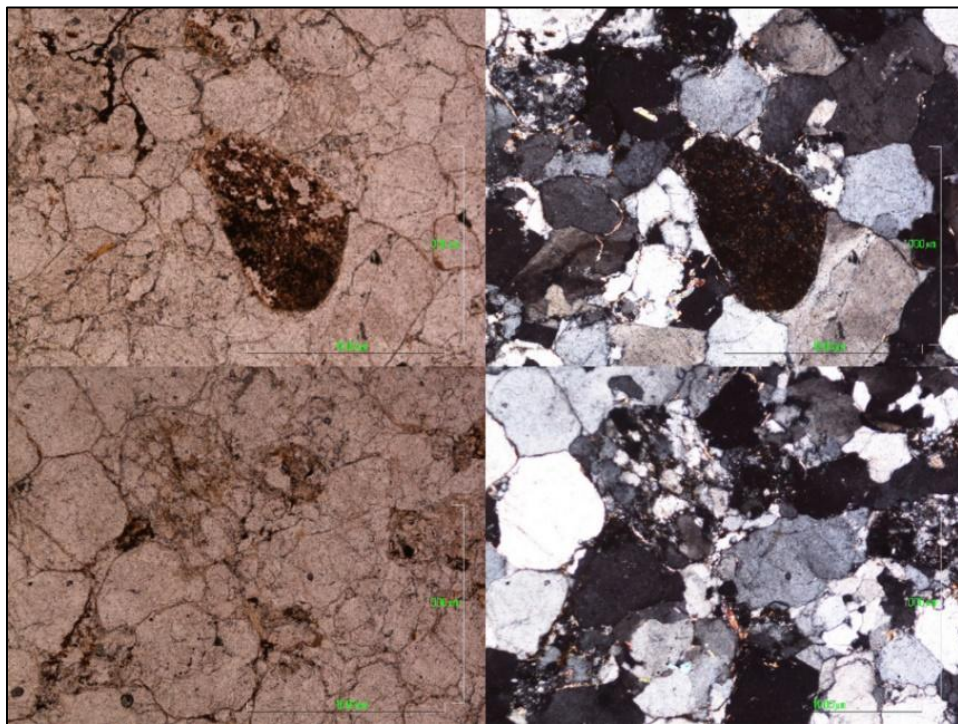


1.2 Muestra B371P

La muestra presenta una composición mineralógica dominada por cuarzo, con un contenido del 75%. Este mineral exhibe granos de tamaño variable, con formas subhedrales a anhedrales y extinción ondulante en algunos casos, lo que sugiere la influencia de procesos deformacionales (figura 4).

Los feldespatos representan el 9% de la muestra y corresponden principalmente a plagioclasas, identificadas por sus maclas polisintéticas, y ortoclasas, las cuales muestran signos de alteración a caolinita.

Figura 4. Foto de la sección B348P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos constituyen el 16% de la muestra y provienen de diversas fuentes:

- 32 fragmentos líticos sedimentarios, compuestos por lodolitas y areniscas derivadas de la Formación Bocas y la Formación Jordán.

- 8 fragmentos líticos metamórficos, originados en los Esquistos del Silgará.
- 10 fragmentos líticos ígneos, de origen plutónico, derivados del Granito de Pescadero.

Entre los minerales accesorios, se identificaron moscovita y óxidos de hierro. La moscovita aparece en forma de láminas elongadas, con birrefringencia alta y pleocroísmo débil. Los óxidos de hierro se presentan como agregados opacos y recubrimientos en los bordes de algunos clastos, lo que indica procesos diagenéticos tardíos relacionados con la cementación y posible oxidación.

La roca exhibe una textura inequigranular, con una distribución heterogénea de tamaños de grano. Los contactos entre los granos son mayormente irregulares, posiblemente debido a procesos de disolución. Se distingue una matriz fina en los espacios intersticiales, probablemente compuesta por minerales arcillosos, que contribuye a la consolidación de la roca. Adicionalmente, el cemento contiene óxidos, lo que refuerza la cohesión del sedimento.

La muestra analizada corresponde a una arenisca (figura 5). Su textura y estructura sugieren un ambiente deposicional de energía media, posiblemente asociado a un sistema fluvial (figura 6) . La diagénesis ha afectado moderadamente la muestra, reflejada en la compactación y alteración de minerales inestables.

Figura 5. Clasificación según el triángulo de Folk

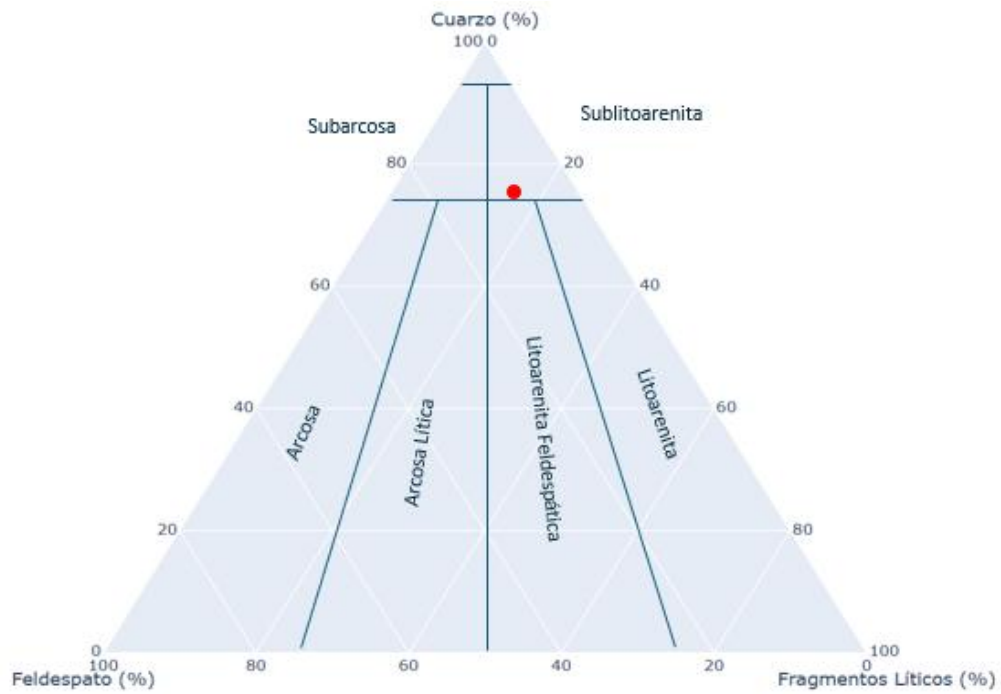
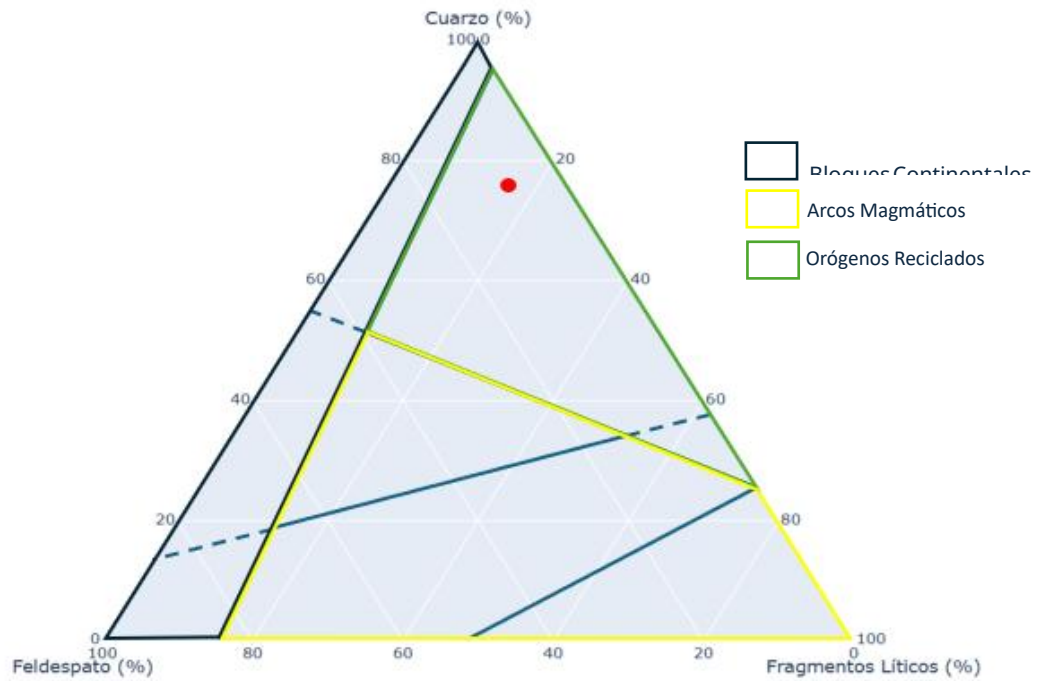


Figura 6. Clasificación según el triángulo de Dickinson

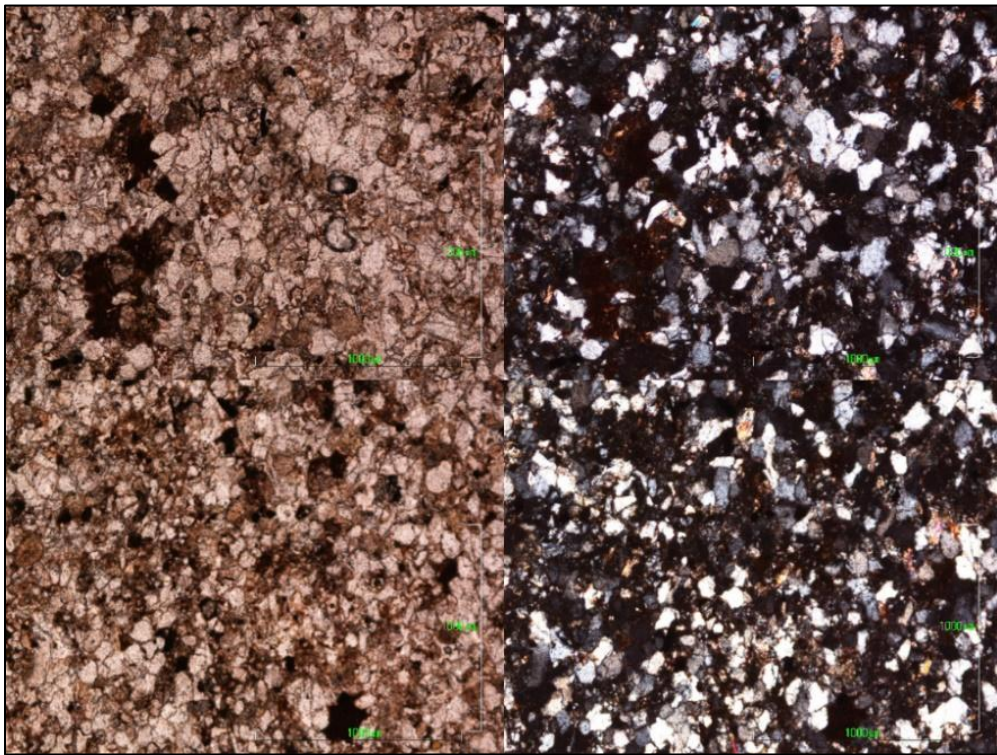


1.3 Muestra B300P

La muestra está compuesta principalmente por cuarzo (67%), feldespatos (5%) y fragmentos líticos (28%), con una matriz arcillosa que rellena algunos espacios entre los granos.

El cuarzo se presenta en formas anhedrales a subhedrales, con extinción ondulante bajo luz polarizada cruzada. Los feldespatos exhiben maclas y signos de alteración a minerales arcillosos (figura 7).

Figura 7. Foto de la sección B300P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos provienen de diversas fuentes:

- 68 fragmentos líticos sedimentarios, compuestos principalmente por lodolitas derivadas de la Formación Bocas.
- 7 fragmentos líticos metamórficos, originados en los Esquistos del Silgará.

- 9 fragmentos líticos ígneos plutónicos y 2 fragmentos líticos volcánicos, derivados del Granito de Pescadero.

En la matriz, se identificaron sericita y óxidos, lo que indica procesos de alteración y posibles etapas diagenéticas avanzadas.

Como minerales accesorios, se encontraron moscovita, óxidos y un cristal de circón, el cual es un mineral resistente que puede proporcionar información sobre la procedencia del sedimento.

En cuanto a la textura, la muestra presenta características granoblásticas a clásticas, con granos de cuarzo y feldespato de tamaño fino a medio, de formas subangulosas a subredondeadas, lo que sugiere cierto transporte antes de su deposición.

La distribución de los granos y la presencia de una matriz fina indican que la roca ha experimentado un proceso de compactación moderado, con espacios intergranulares parcialmente rellenos, lo que sugiere una cementación incompleta.

Con base en estas observaciones, se concluye que la muestra corresponde a una arenisca arcillosa (figura 8), probablemente depositada en un ambiente fluvial (figura 9), donde los sedimentos fueron transportados y posteriormente consolidados en roca.

Figura 8. Clasificación según el triángulo de Folk

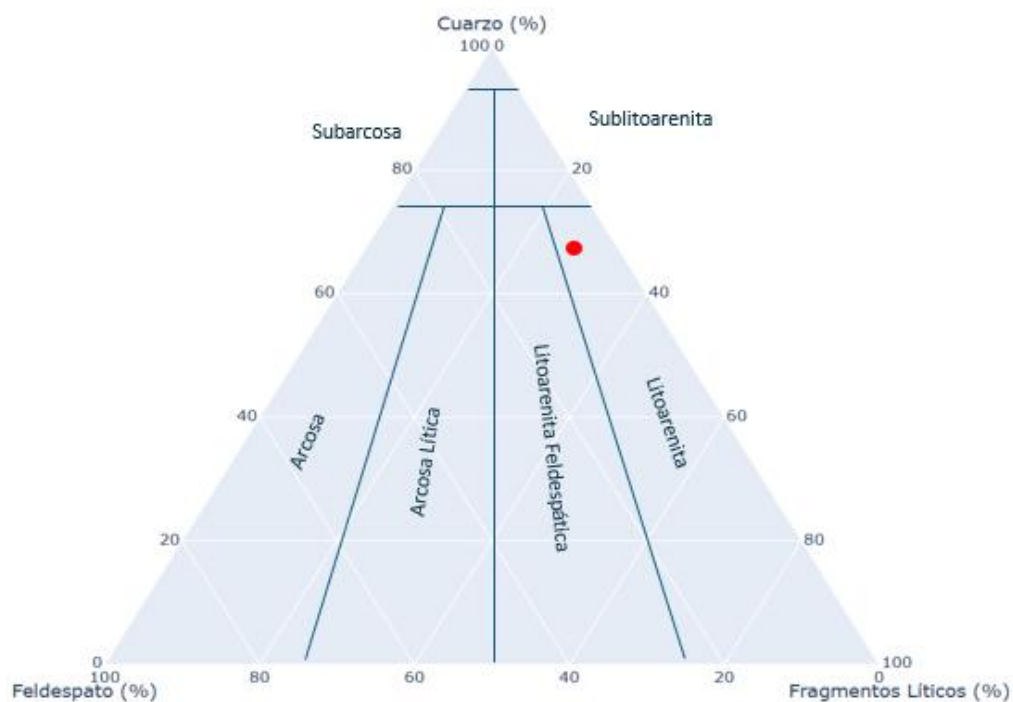
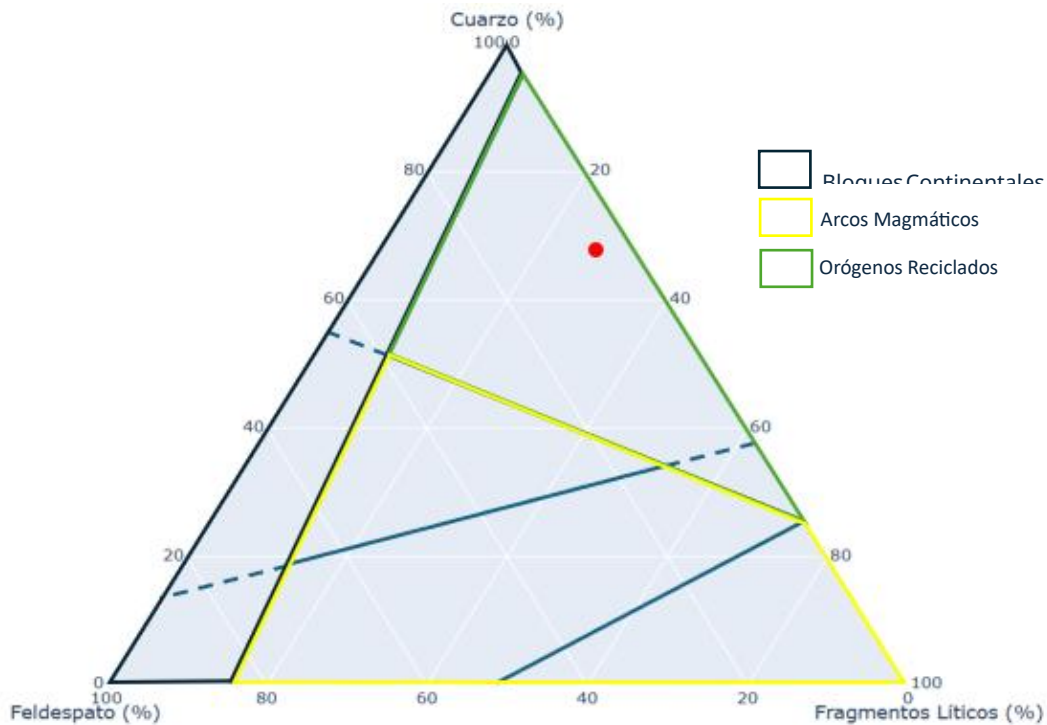


Figura 9. Clasificación según el triángulo de Dickinson

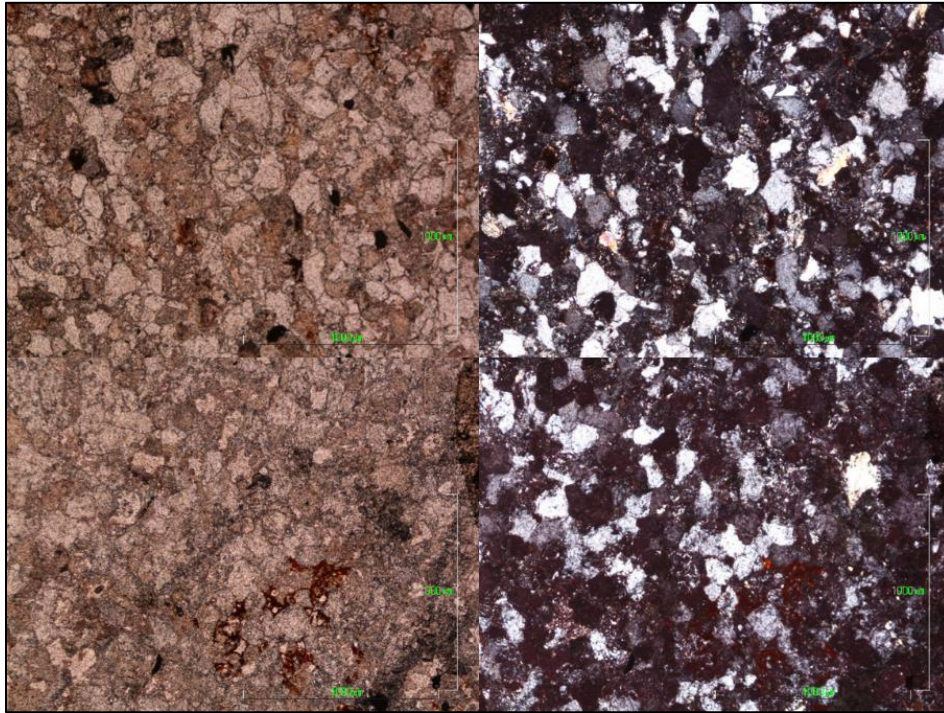


1.4 Muestra B309P

La muestra corresponde a una roca sedimentaria clástica, clasificada como una arenisca lítica, con una composición predominante de cuarzo (67%), una fracción menor de feldespatos (14%) y una proporción significativa de fragmentos líticos (19%).

La textura de la roca está caracterizada por granos subangulosos a subredondeados, lo que indica un transporte moderado antes de su deposición, sin una retrabajación extrema que hubiera generado mayor redondez en los clastos (figura 10).

Figura 10. Foto de la sección B309P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los granos de cuarzo presentan extinción ondulante en algunos casos, lo que podría ser indicativo de una fuente metamórfica. Los feldespatos, aunque en menor proporción,

muestran signos de alteración, con bordes ligeramente corroídos y posible presencia de arcillas derivadas de su degradación.

Los fragmentos líticos provienen de diversas fuentes:

- 42 fragmentos líticos sedimentarios, compuestos por lodolitas derivadas de la Formación Jordán.
- 7 fragmentos líticos metamórficos, originados en los Esquistos del Silgará.
- 6 fragmentos líticos ígneos plutónicos y 3 fragmentos líticos volcánicos, derivados del Granito de Pescadero.

La matriz de la roca contiene sericita y óxidos, lo que sugiere procesos diagenéticos avanzados. El cemento está compuesto principalmente por material silíceo, con evidencias de recristalización en algunas zonas, lo que indica procesos de diagénesis secundaria. Además, se observan zonas con óxidos de hierro, responsables de ciertas tonalidades rojizas o marrones en la matriz, como minerales accesorios, se identificaron moscovita y óxidos, que aparecen dispersos entre los granos principales.

La distribución y el tamaño de los granos sugieren que esta arenisca pudo haberse depositado en un ambiente fluvial (figura 12), donde el transporte del material estuvo controlado por corrientes de agua de energía media. La mezcla de fragmentos líticos, feldespatos y cuarzo apunta a una fuente de aporte cercana a un área con actividad tectónica significativa, donde la erosión de distintos tipos de roca contribuyó a la formación del sedimento.

Figura 11. Clasificación según el triángulo de Folk

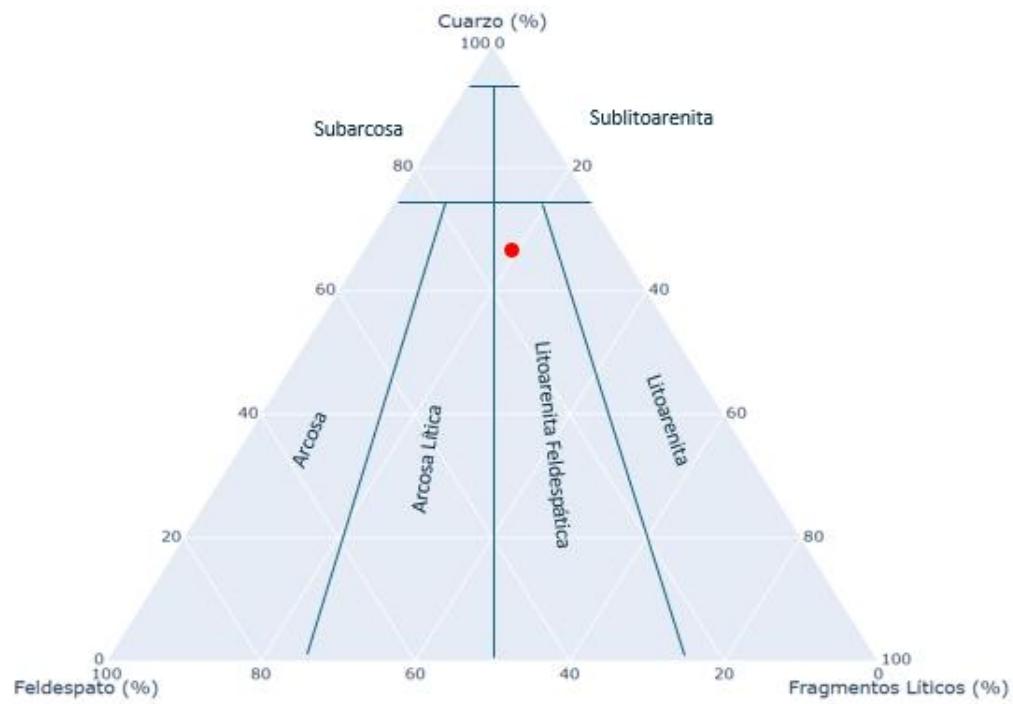
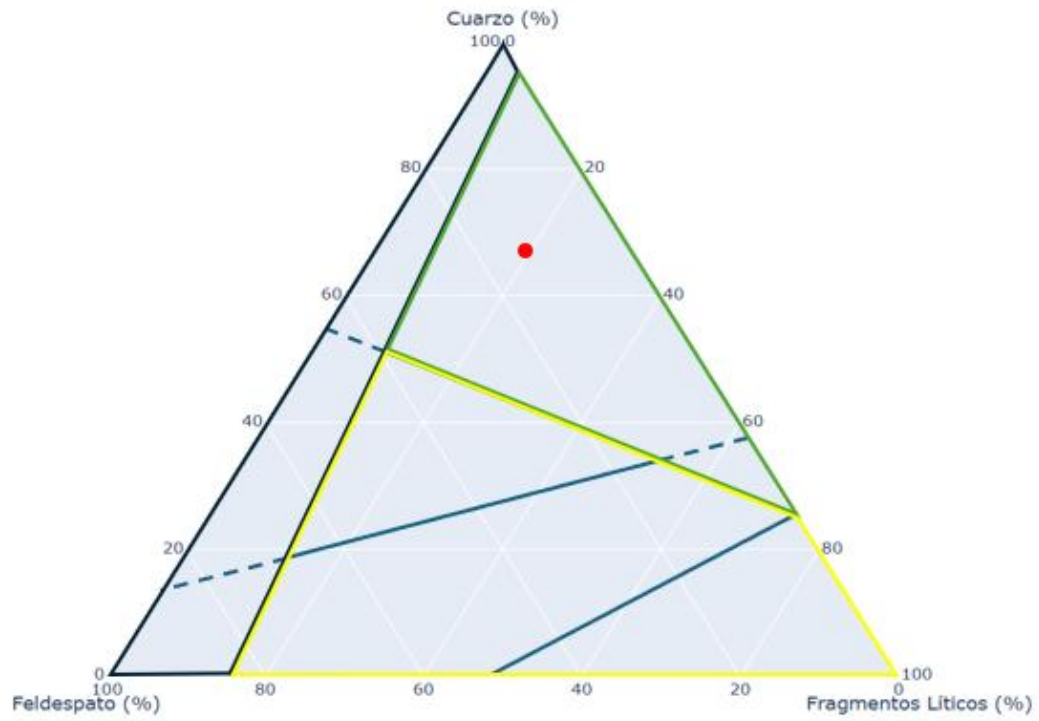


Figura 12. Clasificación según el triángulo de Dickinson

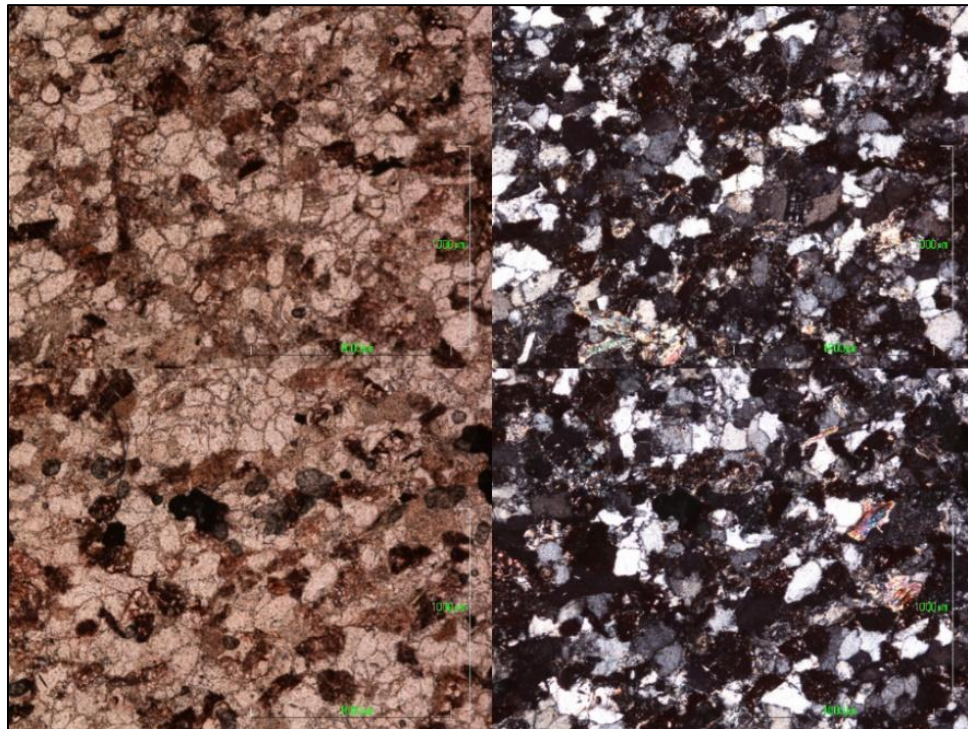


1.5 Muestra B256P

La muestra observada en las imágenes corresponde a una roca clástica, caracterizada por una textura heterogénea, con granos de distintos tamaños y formas, que varían desde subredondeados hasta angulosos (figura 13).

Bajo luz polarizada cruzada, se distingue una composición dominada por cuarzo (62%), seguido de fragmentos líticos (23%) y feldespatos (15%), lo que indica una proveniencia mixta, con posible influencia de fuentes.

Figura 13. Foto de la sección B256P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos se distribuyen de la siguiente manera:

- 53 fragmentos líticos sedimentarios, compuestos por lodolitas y areniscas derivadas de la Formación Bocas y la Formación Jordán.
- 4 fragmentos líticos metamórficos, provenientes de los Esquistos del Silgará.

- 11 fragmentos líticos ígneos plutónicos y 1 fragmento lítico volcánico, originarios del Granito de Pescadero.

La matriz, compuesta por material de grano fino, contiene sericita y óxidos, lo que indica procesos diagenéticos que han influido en la consolidación de la roca.

Como minerales accesorios, se identificaron moscovita y óxidos, los cuales aparecen dispersos entre los granos principales y pueden estar asociados a la alteración de feldespatos o fragmentos líticos metamórficos.

Los contactos entre los granos sugieren un grado de compactación moderado, evidenciado por la reducción de la porosidad intergranular y la posible presión ejercida entre los clastos. Además, en algunas áreas, se identifican signos de disolución y alteración mineral, lo que sugiere la ocurrencia de procesos diagenéticos posteriores a la sedimentación, como la cementación secundaria y recristalización.

La textura general de la muestra y la proporción de sus componentes sugieren que esta roca puede clasificarse como una arenisca lítica (figura 14), ya que contiene una cantidad significativa de fragmentos líticos en relación con los feldespatos. Esta clasificación indica un ambiente de depositación con aporte significativo de materiales provenientes de terrenos montañosos cercanos o zonas de fuerte erosión (figura 15).

Adicionalmente, la forma y el grado de selección de los granos indican un proceso de transporte fluvial, donde los fragmentos no han sufrido una completa abrasión antes de su depositación.

Figura 14. Clasificación según el triángulo de Folk

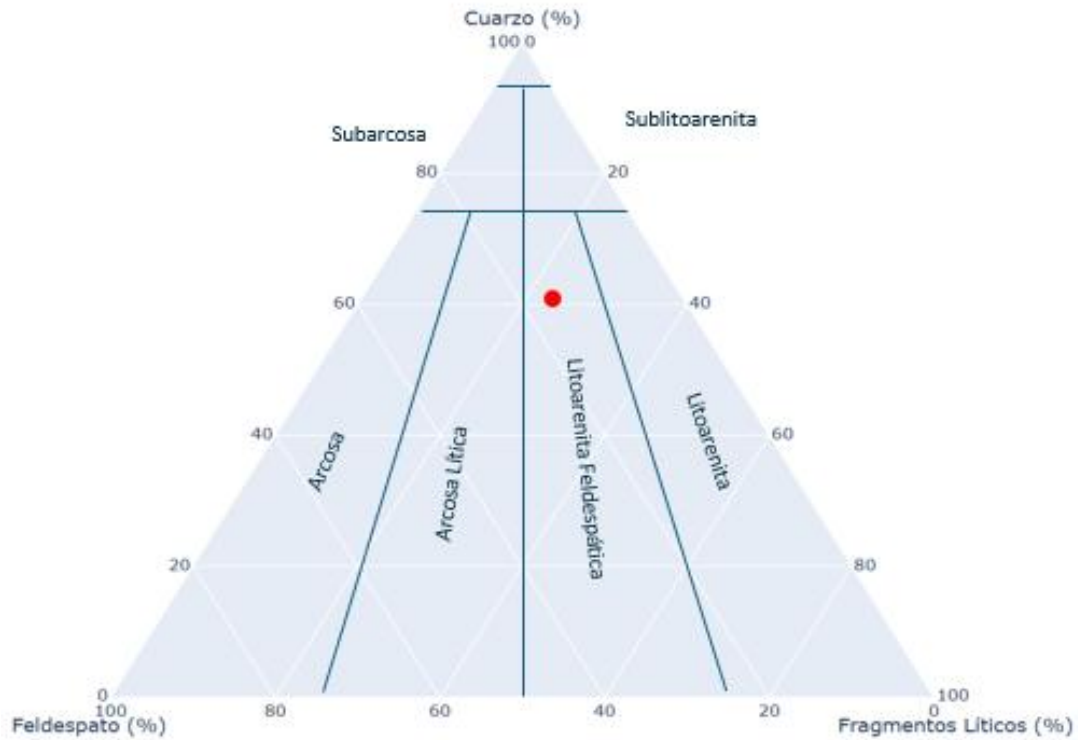
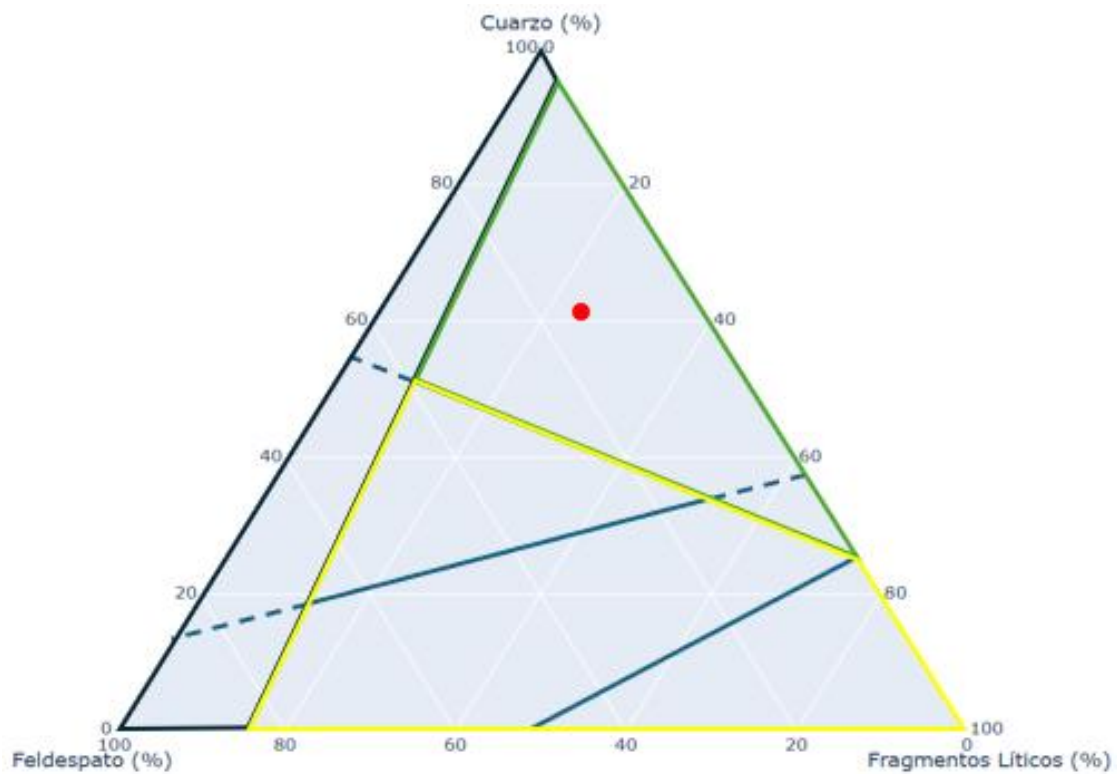


Figura 15. Clasificación según el triángulo de Dickinson

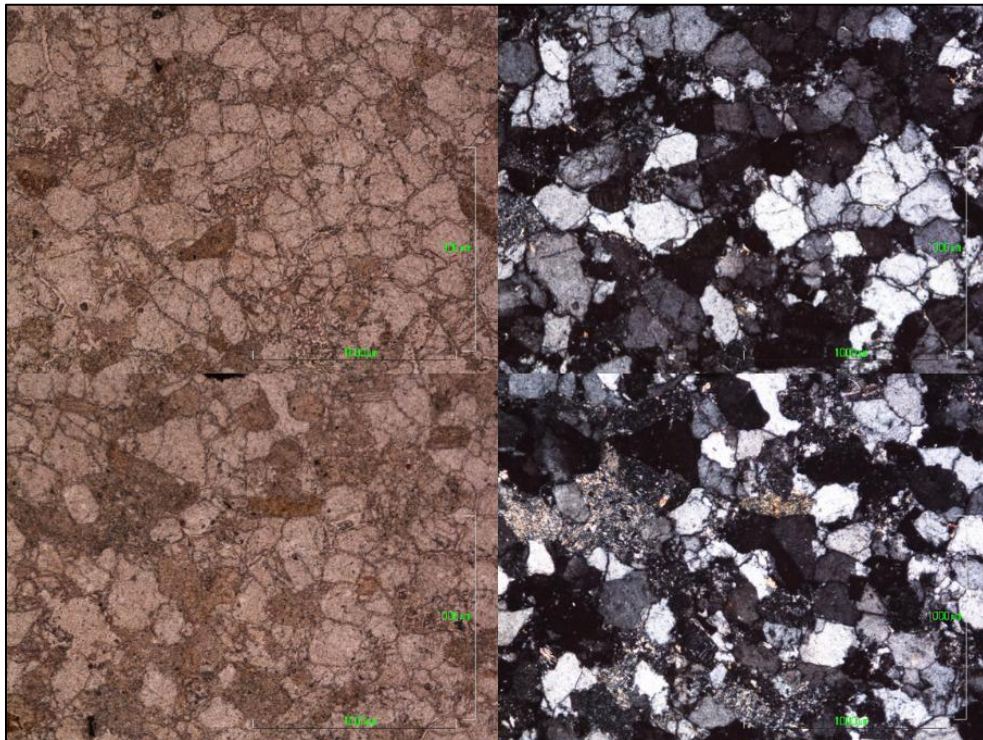


1.6 Muestra B248P

La muestra presenta una composición mineralógica dominada por cuarzo (80%). Los granos de cuarzo varían en tamaño y presentan formas subhedrales a anhedrales, con extinción ondulante en algunos casos, lo que sugiere la influencia de procesos deformacionales previos a su deposición (figura 16).

Los feldespatos representan un 13% de la muestra e incluyen tanto plagioclasas, identificadas por sus maclas polisintéticas, como ortoclasas, algunas de las cuales muestran signos de alteración a caolinita.

Figura 16. Foto de la sección B248P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos están compuestos por:

- 15 fragmentos líticos sedimentarios, conformados por lodolitas y areniscas provenientes de la Formación Bocas y la Formación Jordán.

- 2 fragmentos líticos metamórficos, originarios de los Esquistos del Silgará.
- 5 fragmentos líticos ígneos plutónicos, derivados del Granito de Pescadero.

Estos fragmentos se presentan como clastos angulosos a subredondeados, lo que indica un transporte relativamente corto antes de la deposición.

En la matriz, se identificó la presencia de sericita, la cual contribuye a la consolidación de la roca y sugiere cierta alteración secundaria. Entre los minerales accesorios, se identificó moscovita, la cual aparece en forma de láminas elongadas con birrefringencia alta y pleocroísmo débil.

La textura de la roca es inequigranular, con una distribución heterogénea de tamaños de grano. Los contactos entre los clastos son irregulares, lo que sugiere la presencia de procesos de disolución. En función del contenido de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos, la muestra analizada corresponde a una arenisca feldespática (figura 17). Su textura y estructura sugieren un ambiente deposicional de energía media, posiblemente asociado a un sistema fluvial (figura 18). La diagénesis ha influido en la compactación de la roca, favoreciendo la alteración de los feldespatos y la precipitación de cementos secundarios.

Figura 17. Clasificación según el triángulo de Folk

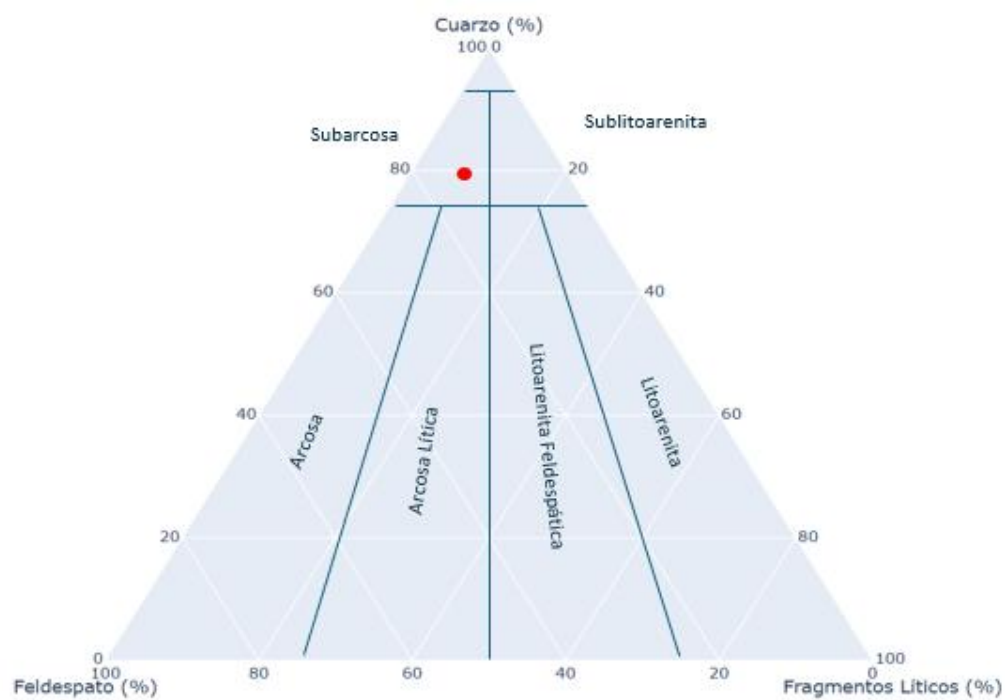
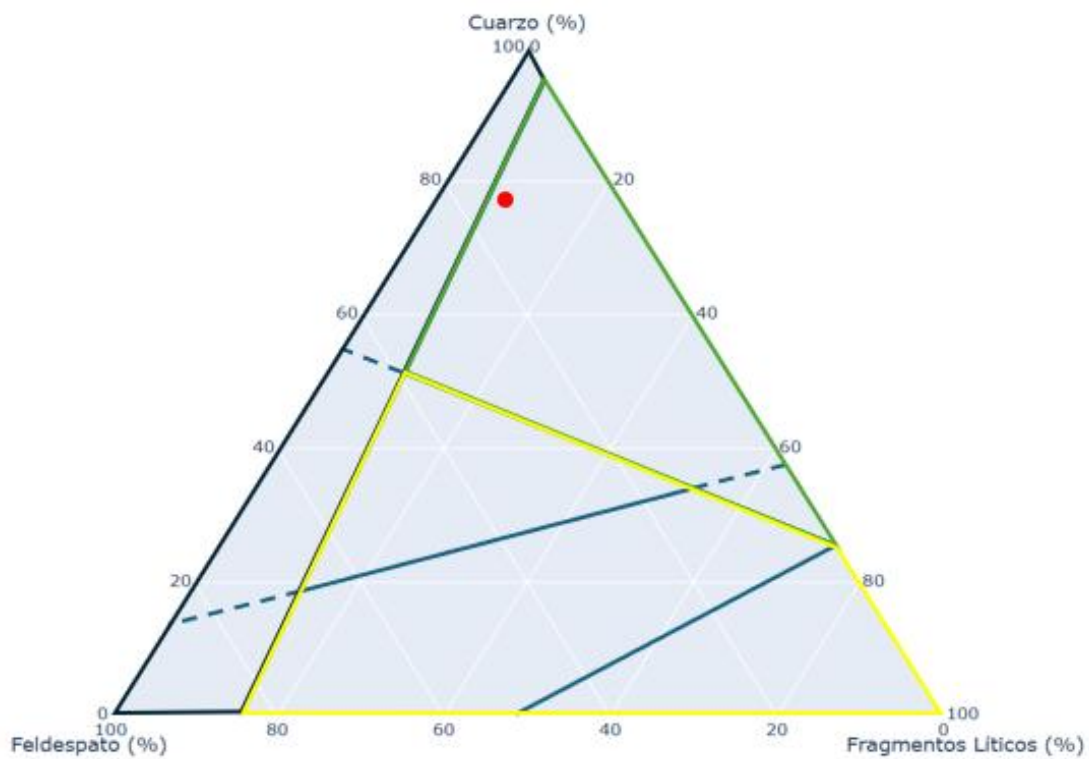


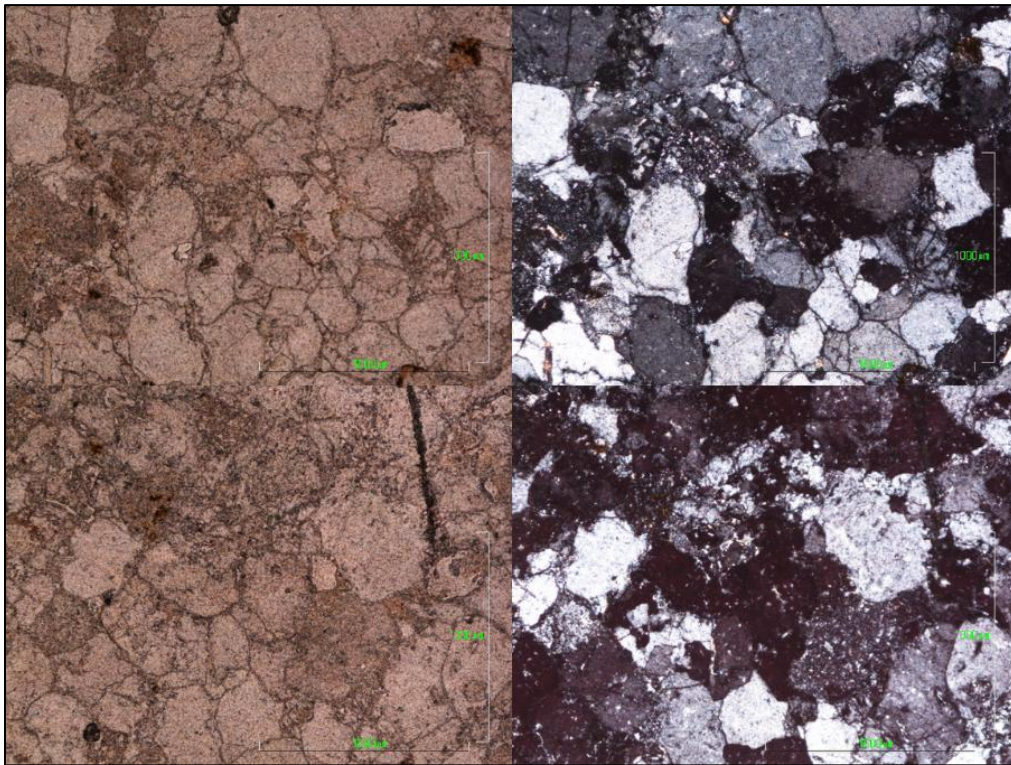
Figura 18. Clasificación según el triángulo de Dickinson



1.7 Muestra B202P

La muestra presenta composición mineralógica dominada por 81% cuarzo, 6% feldespato y 13% fragmentos líticos. La presencia predominante de cuarzo sugiere un alto grado de madurez mineralógica. Se evidencia una textura clástica con predominancia de granos de cuarzo, los cuales presentan bordes subredondeados a subangulosos, indicando un transporte moderado (figura 19).

Figura 19. Foto de la sección B202P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos están compuestos por:

- 30 fragmentos líticos sedimentarios provenientes de las Formaciones Bocas y Jordán, se identificaron fragmentos de lodolitas y areniscas. Estos sugieren un reciclaje sedimentario previo.

- 2 fragmentos líticos metamórficos corresponden a fragmentos de esquistos del Silgará, indicando una contribución de material proveniente de un basamento metamórfico.
- 7 fragmentos líticos ígneos distribuidos en 4 fragmentos plutónicos y 3 fragmentos volcánicos, los cuales se derivan del Granito de Pescadero.

En la matriz Se observa presencia de sericita, indicando alteración hidrotermal o diagénesis avanzada. Entre minerales accesorios se identificó moscovita, la cual aparece en forma de láminas elongadas con birrefringencia alta y pleocroísmo débil, puede estar asociado a procesos de alteración de feldespatos.

La composición de la roca sugiere un ambiente de depositación con un aporte mixto, incluyendo material reciclado de sedimentos más antiguos, fragmentos de rocas metamórficas y componentes ígneos de origen tanto plutónico como volcánico (figura 21). La alta proporción de cuarzo indica una historia de transporte prolongado y retrabajo sedimentario, posiblemente en un ambiente fluvial con un régimen de energía moderada a alta.

Figura 20. Clasificación según el triángulo de Folk

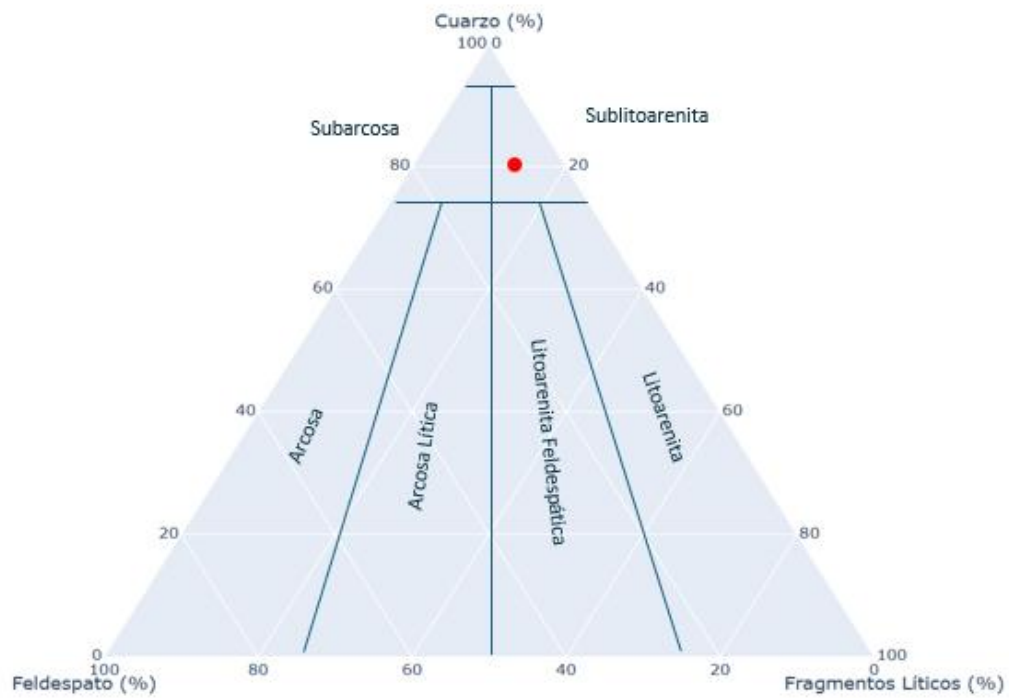
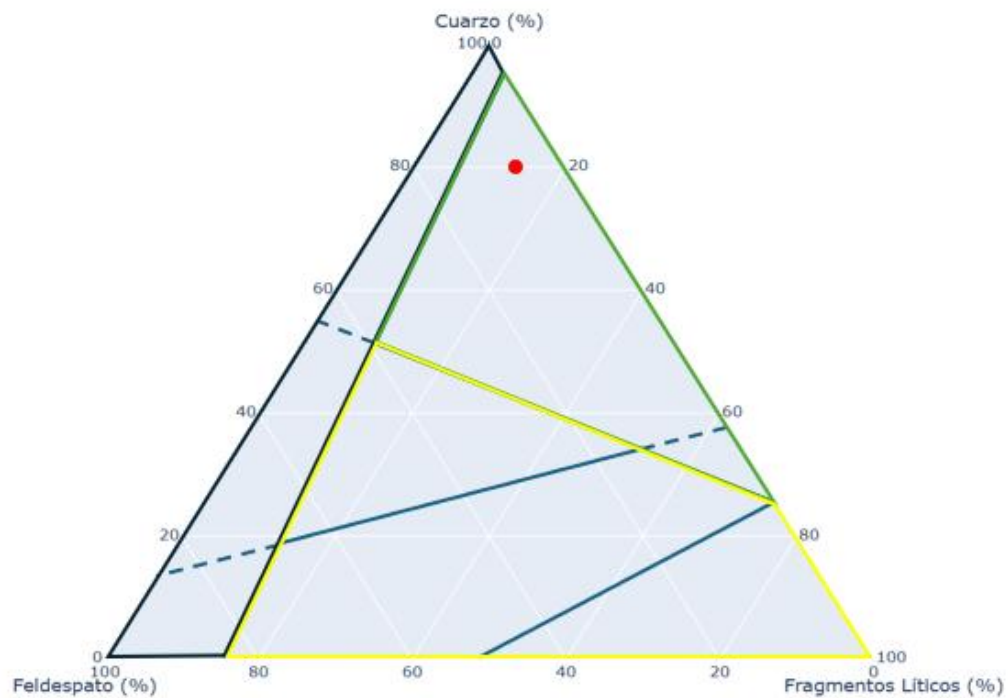


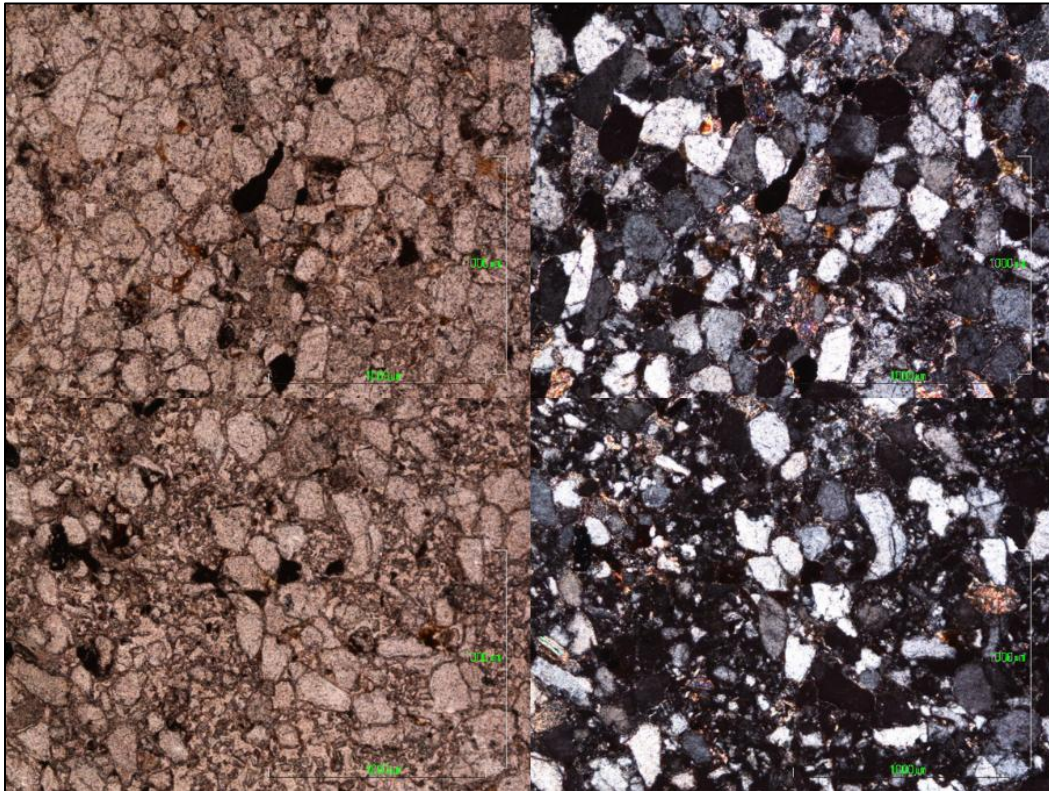
Figura 21. Clasificación según el triángulo de Dickinson



1.8 Muestra B145P

La muestra corresponde a una arenisca litoarenítica con una textura clástica bien definida. Su composición está dominada por cuarzo (78%), seguido por fragmentos líticos (18%) y una menor proporción de feldespatos (4%). En la sección con nicoles cruzados, se distingue una predominancia de granos de cuarzo, algunos de los cuales presentan extinción ondulante (figura 22).

Figura 22. Foto de la sección B145P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos están compuestos por:

- 38 fragmentos líticos sedimentarios, conformados por lodolitas y areniscas originales de la Formación Bocas y la Formación Jordán.
- 5 fragmentos líticos metamórficos, originarios de los Esquistos del Silgara.

- 10 fragmentos ígneos, distribuidos en 8 fragmentos plutónicos y 2 fragmentos volcánicos, originarios del Granito de Pescadero.

Bajo nicols paralelos, se aprecia con mayor claridad la textura clástica de la muestra, con granos que varían entre subangulares y subredondeados. La matriz, de tonalidad marrón clara, contiene abundante sericita y posiblemente arcillas, lo que sugiere un proceso diagénético avanzado. Asimismo, se observan espacios porosos y contactos cóncavo-convexos entre los granos, lo que indica una compactación mecánica moderada.

Como mineral accesorio, se identificó la presencia de moscovita, observada en láminas delgadas y con alta birrefringencia bajo nicols cruzados.

La muestra presenta una composición rica en cuarzo y fragmentos líticos de diferentes orígenes, con una matriz que ha experimentado transformaciones post-deposicionales significativas. La compactación moderada ha permitido la conservación de cierta porosidad primaria, lo que puede influir en su permeabilidad dentro de un contexto de reservorio o acuífero. Su textura y estructura sugieren un ambiente fluvial de alta energía, refleja procesos de erosión, transporte y deposición controlados (figura 24).

Figura 23. Clasificación según el triángulo de Folk

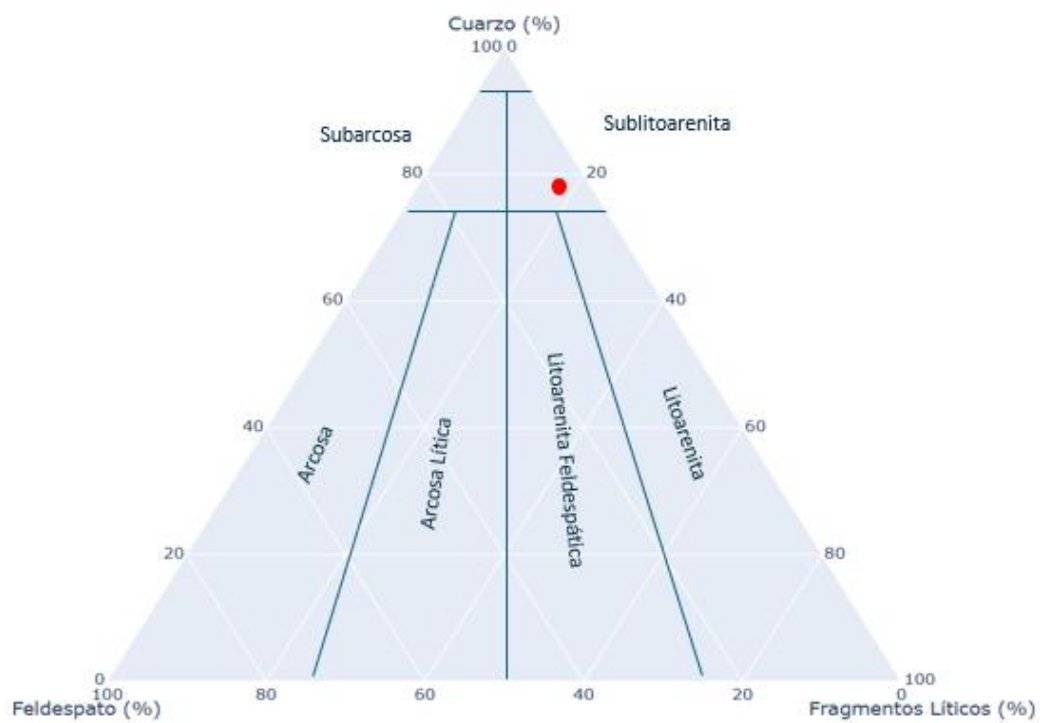
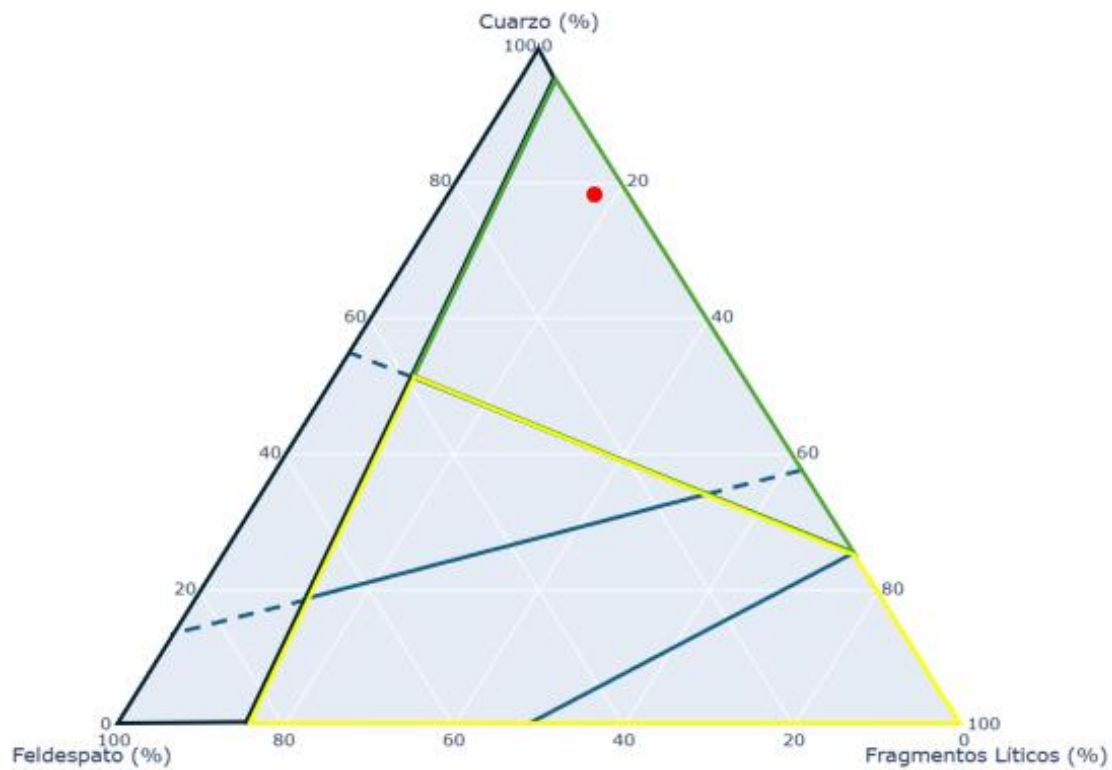


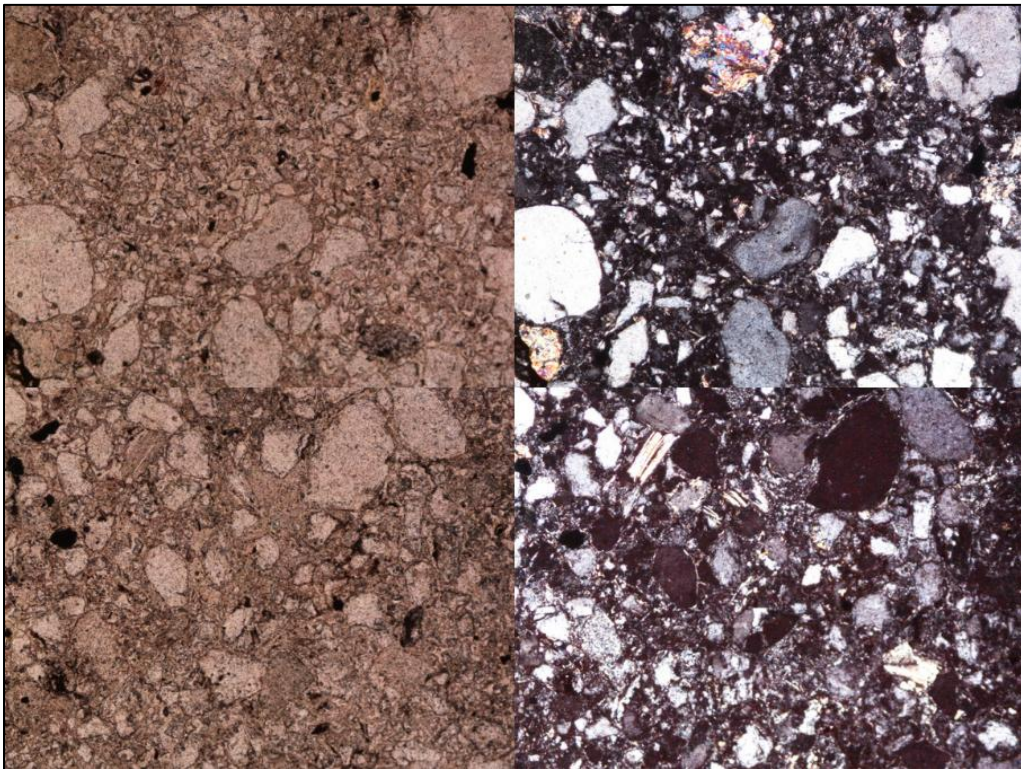
Figura 24. Clasificación según el triángulo de Dickinson



1.9 Muestra B87P

La muestra corresponde a una roca sedimentaria detrítica, específicamente una brecha lítica polimíctica. Los clastos muestran formas irregulares y poco redondeadas, lo que indica un transporte breve y un depósito cercano a la fuente. Entre los fragmentos se identifican líticos de origen variado, con una composición modal que incluye cuarzo en un 92%, feldespatos en un 2% y fragmentos líticos en un 6% (figura 25).

Figura 25. Foto de la sección B87P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos están compuestos por:

- 13 fragmentos sedimentarios derivados de la Formación Bocas
- 2 líticos metamórficos provenientes de los esquistos del Silgará

- 4 líticos ígneos de carácter plutónico, relacionados al granito de Pescadero.

Los líticos sedimentarios presentan texturas fragmentarias y composición similar a rocas lutíticas, mientras que los líticos metamórficos muestran foliación incipiente y mineralogía micácea, y los ígneos exhiben textura granosa y cuarzo intersticial. La matriz, de tonalidades pardas a rojizas bajo luz polarizada plana, corresponde a un material de granulometría fina, compuesta principalmente por cuarzo y sericita, que ocupa los espacios intersticiales y cohesiona el conjunto. Como minerales accesorios, se identifican cristales aislados de moscovita y biotita, distribuidos en la matriz y entre los clastos, lo que aporta información sobre el ambiente.

La roca se interpreta como un depósito producto de un flujo de detritos o un depósito de talud, donde se acumularon fragmentos de distinto origen y tamaño en un evento súbito de sedimentación rápida. Su naturaleza polimíctica, con abundante cuarzo y matriz fina, así como la mezcla de fragmentos de diferentes unidades geológicas regionales, sugiere un ambiente de alta energía, posiblemente asociado a un abanico aluvial o a un depósito coluvial relacionado a zonas tectónicamente activas (figura 27).

Figura 26. Clasificación según el triángulo de Folk

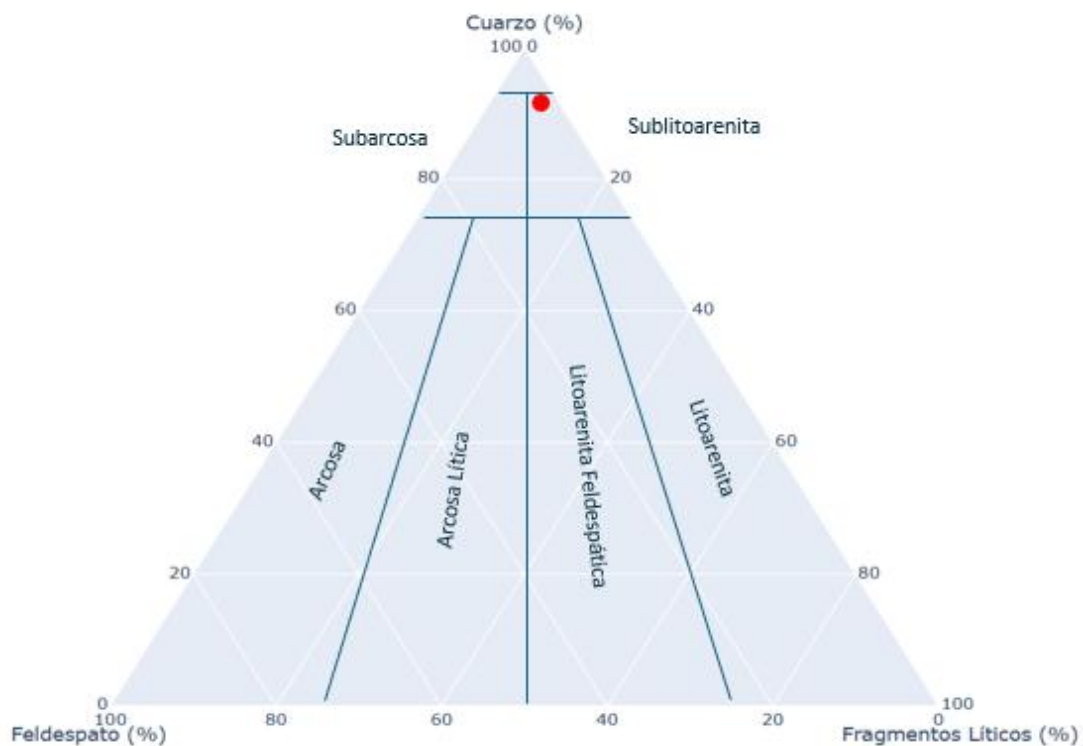
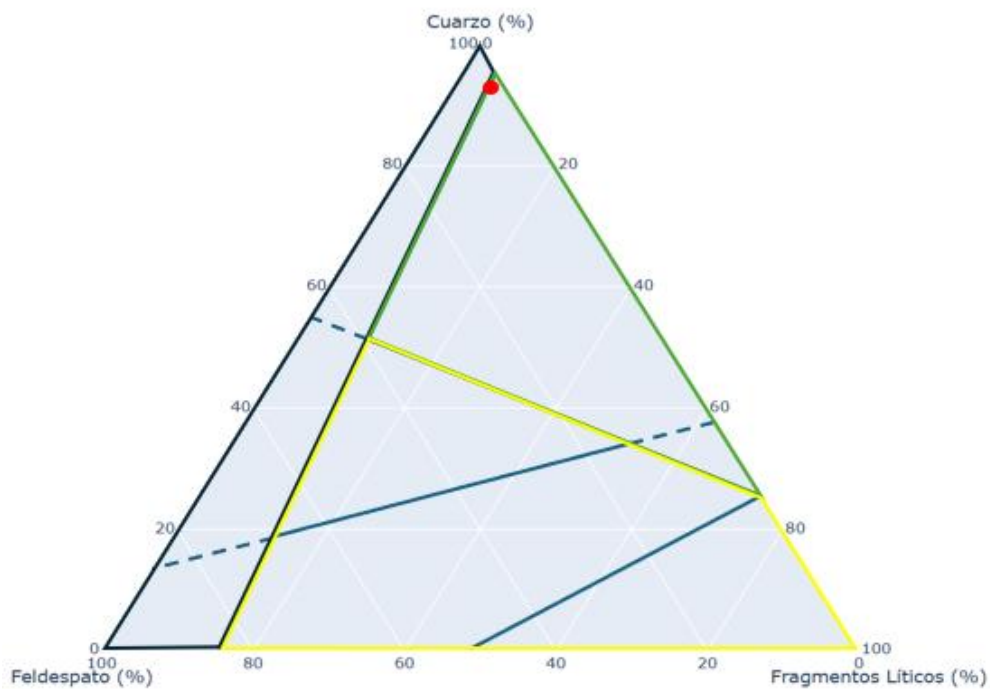


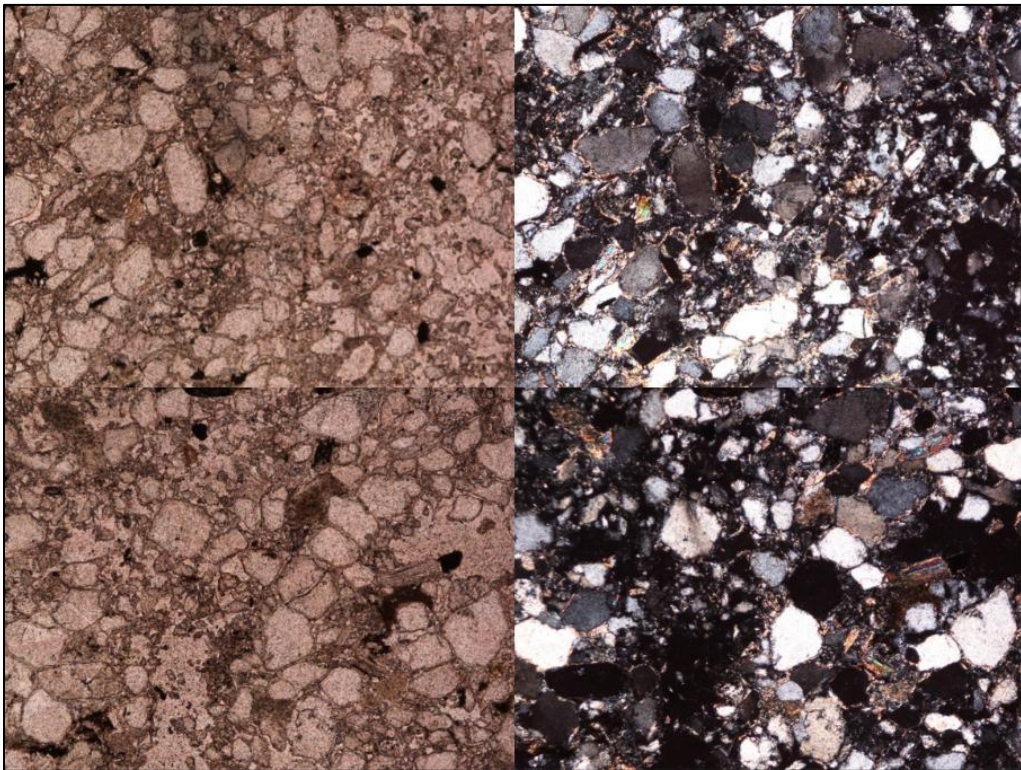
Figura 27. Clasificación según el triángulo de Dickinson



1.10 Muestra B30P

La muestra corresponde a una roca sedimentaria de tipo brecha lítica polimíctica, con una textura clástica heterométrica compuesta por clastos angulosos a subangulosos, embebidos en una matriz fina. La composición modal está dominada por cuarzo (95.3%), con una menor proporción de feldespatos (1.3%) y fragmentos líticos (3.3%) (figura 28).

Figura 28. Foto de la sección B30P analizada en nicoles paralelos y cruzados.



Los fragmentos líticos están compuestos por:

- 7 líticos sedimentarios correspondientes a lodolitas, derivados probablemente de la Formación Bocas.
- 2 líticos metamórficos derivados de los Esquistos del Silgará

- 1 lítico ígneo de origen plutónico, relacionado con el granito de Pescadero, de textura granuda y presencia de cuarzo intersticial.

La matriz es de grano fino, rica en sericita, la cual se observa distribuyéndose alrededor de los clastos, rellenando espacios intersticiales y otorgando un tono pardo bajo luz polarizada plana. Entre los minerales accesorios destacan moscovita y biotita, que aparecen como cristales dispersos y algunos agregados menores.

La disposición y forma de los clastos, junto con la escasa redondez y la matriz abundante, sugieren un depósito en un ambiente de alta energía, como un abanico aluvial proximal o un flujo de detritos, donde los fragmentos no experimentaron un transporte prolongado antes de la sedimentación (figura 30).

Figura 29. Clasificación según el triángulo de Folk

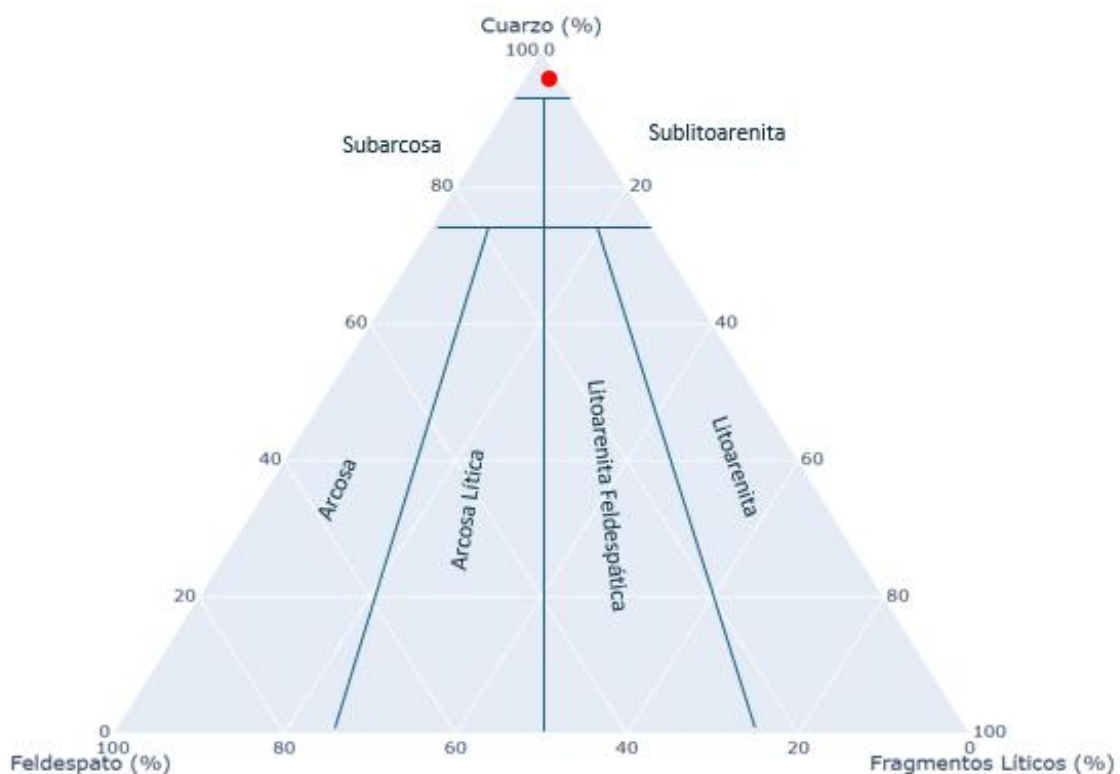


Figura 30. Clasificación según el triángulo de Dickinson

