



**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN:  
TESIS DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**

---

*Indicios de proveniencia y dinámica depositacional de la Formación  
Puerto Carrillo, Península de Nicoya, Costa Rica: un análisis  
petrográfico*

---

**Geól. VALERY PORTUGUEZ SOLANO**



**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO  
SAN PEDRO DE MONTES DE OCA  
COSTA RICA**

**Enero, 2023**

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN:  
TESIS DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**

---

*Indicios de proveniencia y dinámica depositacional de la Formación  
Puerto Carrillo, Península de Nicoya, Costa Rica: un análisis  
petrográfico*

---

**Geól. VALERY PORTUGUEZ SOLANO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO  
SAN PEDRO DE MONTES DE OCA  
COSTA RICA  
Enero, 2023**

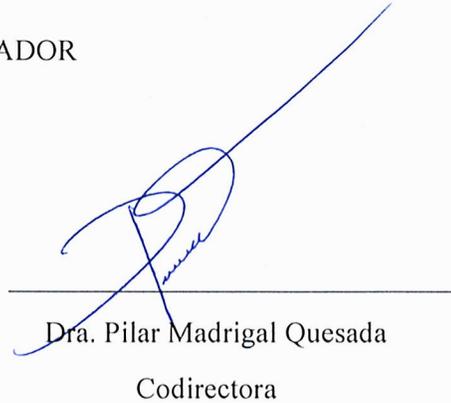
Tesis sometida y aceptada por el Tribunal de Trabajo Final de Graduación como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciada en Geología.

TRIBUNAL EXAMINADOR



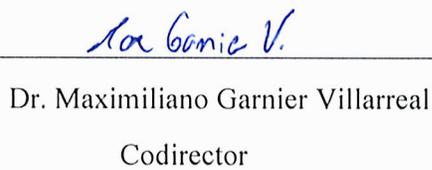
---

Dra. Guaria Cárdenes Sandí  
Directora



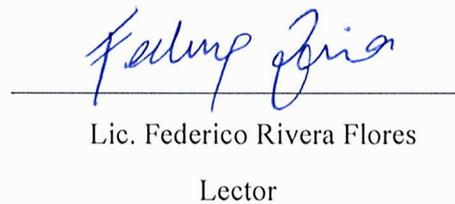
---

Dra. Pilar Madrigal Quesada  
Codirectora



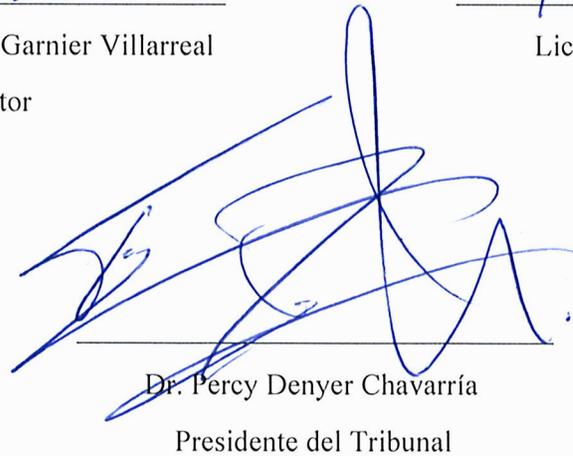
---

Dr. Maximiliano Garnier Villarreal  
Codirector



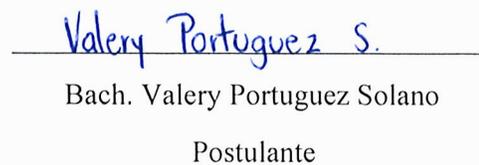
---

Lic. Federico Rivera Flores  
Lector



---

Dr. Percy Denyer Chavarría  
Presidente del Tribunal



---

Bach. Valery Portuguez Solano  
Postulante

## ***Dedicatoria***

En memoria de su esencia, en memoria de su amor,  
de su fortaleza, de su voz  
y en memoria del brillo de su sonrisa a:

***Ana Betty.***

Mi hermana mayor,  
quien me acompañó físicamente en cada logro,  
ahora nos acompaña en la memoria y recuerdos más preciados del corazón.

A mi familia:

***Eddy, Elvia, Brenda, Luciana, Nidia, Luis Mario y Jorge A.***

## *Agradecimientos*

A mi mentora, la Dra. Guaria Cárdenes Sandí por instar y apoyar la continuación de estudios en brechas y conglomerados, por sus consejos, paciencia y encaminamiento desde los primeros pasos y durante todo el desarrollo de la presente investigación. Gracias a sus pláticas siempre entusiastas y las tardes acompañadas de té, que sin duda fueron muy reconfortantes y esperanzadoras en tiempos difíciles.

A mi otra mentora la Dra. María del Pilar Madrigal Quesada, por la amabilidad con la que siempre me guió, aconsejó y corrigió con el afán de mejorar las destrezas científicas y aún más, la ejecución de este trabajo. Por la emoción, fascinación y pasión que transmite al enseñar tanto en trabajo de oficina como en el trabajo de campo.

Ambas, figuras de admiración para mí, siempre les estaré agradecida por confiar en mi trabajo como asistente en sus proyectos de investigación, por tanto apoyo y entera disposición en la guía y enseñanza del quehacer investigativo, asimismo, al profesor Dr. Maximiliano Garnier Villareal, ellos fueron piezas fundamentales y principal soporte para el desarrollo del presente trabajo final de graduación.

A mis amigos y colegas, Kenneth Montero, Carolina Fallas y Roberto Masis por su compañerismo y amistad incondicional durante mi etapa universitaria.

A mi amiga y colega Thais Ramírez, por su actitud de servicio incondicional y desinteresado, en el acompañamiento de giras, trabajo de laboratorio y soporte técnico, pero sobretodo por su amistad y apoyo en todo momento.

A la Dra. María Isabel Sandoval, por sus consejos y acompañamiento en la gira de campo realizada a las islas del Golfo de Nicoya, en la enseñanza del procesamiento de muestras para extracción de microfósiles, acompañamiento en el hallazgo y toma de microfotografías de nanofósiles y por quién fue posible la identificación de nanofósiles a través del contacto con los nanofosilistas MSc. Felipe Vallejo Hincapié y Estefanía Angulo del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES) de la Universidad de Caldas en Colombia.

Al MSc. Jairo García Céspedes por su acompañamiento en las giras, toma de fotografías de afloramientos y muestras, y principalmente por hacer de los viajes y trabajo de campo, aún más ameno.

Al colega y amigo, Lic. Brandon Acosta Cascante por compañerismo durante toda la carrera, su disposición de ayuda y colaboración, así como por el acompañamiento y trabajo de campo en una gira realizada.

Al Dr. Óscar Lucke Castro, por su acompañamiento en las giras, consejos en campo y registro de sitios de estudio utilizando equipo GNSS, así como en el procesamiento posterior de toma de datos de geoespaciales.

Al Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (CICG) por la aceptación del desarrollo del proyecto de investigación 830-C0-046: *“Caracterización del vulcanismo cretácico preservado en los sedimentos conglomerádicos del sur de la península de Nicoya”* a través del cual se permitió el financiamiento.

Al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) por los permisos emitidos para ingresar a las áreas protegidas Refugio Nacional de Vida Silvestre Curú y Reserva Biológica Islas Negritos, al servidor de dicha dependencia: Miguel Méndez García, quién amablemente facilitó información y apoyó en la tramitología de permisos.

## TABLA DE CONTENIDO GENERAL

RESUMEN .....	16
<b>CAPÍTULO I: .....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>17</b>
JUSTIFICACIÓN .....	18
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	20
OBJETIVOS .....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos .....	22
ANTECEDENTES .....	23
Antecedentes de la Formación Puerto Carrillo .....	23
Antecedentes de proveniencia geotectónica del Complejo de Nicoya .....	25
Antecedentes de análisis de proveniencia utilizando evaluaciones modales detríticas de formaciones sedimentarias en la Península de Nicoya .....	27
MARCO TEÓRICO .....	29
Clasificación de rocas sedimentarias siliciclásticas (areniscas) .....	29
Clasificación de rocas carbonatadas .....	31
Clasificación de rocas ígneas.....	32
Clasificación de brechas y conglomerados .....	37
.....	42
Análisis geoestadístico de rocas sedimentarias (brechas).....	42
Arquitectura estratigráfica-definición de petrofacies (estudio de fracciones arenosas) .....	45
Definición de litofacies y litotipos (estudio de fracciones gruesas: gravas).....	46
Fuentes composicionales de proveniencia geotectónica.....	48
METODOLOGÍA .....	53
I Fase: Trabajo de Campo.....	53
I.A. Obtención de la constitución litológica .....	53
I.B. Recolección de muestras.....	54
II Fase: Procesamiento de muestras.....	55

Muestras de material inconsolidado extraído de cuadrículas de estudio .....	56
Muestras de roca con tamaños aproximados de 10 cm x 10 cm.....	57
III Fase: Análisis de resultados .....	60
III.A. Análisis geoestadístico y definición de petrofacies .....	60
<b>CAPÍTULO II: RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
II. A. CONSTITUCIÓN FÍSICA – ESTRATIGRAFICA.....	62
Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en la hoja topográfica Cerro Azul....	63
La configuración estratigráfica del afloramiento continuo del estratotipo se detalla a continuación en las columnas estratigráficas presentadas en las Figuras 19, 20 y 21. 65	
El registro litológico inicial y final de la sección estratigráfica fue mostrado en las figuras 17 y 18. A continuación, en las Figuras 22 y 23, se muestran más detalles de la sección estratotipo representada previamente.....	69
De.....	71
Afloramiento de la Formación Puerto Carrillo en la hoja topográfica Matambú .....	74
Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en las hojas topográficas Golfo y Tambor.....	75
Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en las hojas topográficas Río Arío y Tambor.....	85
Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en la hoja topográfica Venado .....	89
II. B. RESULTADOS PETROGRÁFICOS.....	93
Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Cerro Azul .....	93
Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.....	109
Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados entre las hojas topográficas Río Arío y Tambor .....	129
Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Venado.....	133
II. C. RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS .....	140
Resultados macroscópicos .....	140
Resultados microscópicos.....	146
<b>CAPÍTULO III: .....</b>	<b>154</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>154</b>

DEFINICIÓN DE PETROFACIES.....	154
Petrofacies I: Brechas epiclásticas monomíticas .....	154
Petrofacies II: Brechas alteradas de origen volcánico .....	156
Petrofacies III: Litologías sedimentarias calcáreas.....	157
Petrofacies IV: Litologías sedimentarias finas siliciclásticas .....	157
Petrofacies V: Basaltos masivos .....	158
DEFINICIÓN DE LA FORMACIÓN PUERTO CARRILLO .....	167
FACTORES CONTROLADORES DE DEPOSITACIÓN.....	168
TEXTURAS MICROSPINIFEX Y VARIOLÍTICA .....	169
INDICIOS DE PROVENIENCIA .....	171
<b>CAPÍTULO IV:.....</b>	<b>176</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>176</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>179</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de los afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en las hojas geológicas (Denyer et al. (2014)) consideradas como puntos de referencia para estudio en el presente trabajo. ....	20
<b>Figura 2.</b> Localización de los afloramientos estudiados en el presente trabajo final de graduación.....	21
<b>Figura 3.</b> Cuadro de correlación cronoestratigráfico de la Formación Puerto Carrillo. ....	28
<b>Figura 4.</b> Diagrama clasificatorio de areniscas. Fuente: Folk (1980). ....	30
<b>Figura 5.</b> Diagrama de clasificación de rocas carbonatadas de Dunham (1962). ....	32
<b>Figura 6. 6.A:</b> Diagrama clasificatorio QAPF de rocas plutónicas. ....	34
<b>Figura 7.</b> Diagrama clasificatorio QAPF de rocas volcánicas. ....	37
<b>Figura 8.</b> Tabla comparativa para la caracterización de grado de redondez y esfericidad de clastos.....	40
<b>Figura 9.</b> Clasificación de conglomerados y brechas basado en la litología de clasto. ....	42
<b>Figura 10.</b> Ejemplificación de curvas de frecuencia granulométrica que muestra la diferencia entre <b>A:</b> asimetría positiva (fina) y <b>B:</b> asimetría negativa (gruesa). ....	44
<b>Figura 11.</b> Diagramas ternarios de proveniencia: marcos de referencia geotectónica para valores modales de componentes L-Lt-Qt-Qm-F de areniscas.....	51
<b>Figura 12.</b> Cuadrícula de análisis de brecha in situ ubicada cerca del estratotipo en 1091205.238 N / 337331.249 E. ....	55
<b>Figura 13.</b> Proceso de análisis de clastos menores a 9.5 mm utilizando estereoscopía.....	57
<b>Figura 14.</b> Ejemplo de esquema de campos de visión de análisis para la identificación y clasificación de minerales en la matriz de la muestra de brecha D2-PC-U4.1 en sección delgada. ....	59
<b>Figura 15.</b> Ejemplo de parte del proceso de medición de clastos de la muestra PC3-D3-A1U4 utilizando en el software JMicrovisión.....	61
<b>Figura 16.</b> Ubicación de afloramientos previos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en la hoja topográfica Cerro Azul, los cuales son destacados con color rojo. ....	63
<b>Figura 17.</b> Afloramiento del máximo punto accesible en el estratotipo y figurante como base de la sección estratigráfica. ....	64
<b>Figura 18.</b> Afloramiento de punto final del registro de sección estratigráfica continua en el estratotipo.....	65
<b>Figura 19.</b> Techo de la sección estratigráfica estratotipo de la Formación Puerto Carrillo. ....	66
<b>Figura 20.</b> Parte media de la sección estratigráfica estratotipo de la Formación Puerto Carrillo. ....	67
<b>Figura 21.</b> Base de la sección estratigráfica estratotipo de la Formación Puerto Carrillo. ....	68
<b>Figura 22.</b> Afloramientos de unidades estratigráficas del estratotipo de Fm. Puerto Carrillo. ....	69

<b>Figura 23.</b> Afloramientos de unidades estratigráficas del estratotipo de Fm. Puerto Carrillo. ....	70
<b>Figura 24.</b> Afloramiento aislado en las cercanías del estratotipo, ubicado en las coordenadas 1091205.238 N / 337331.249 E. ....	70
<b>Figura 25.</b> Afloramiento discontinuo sobre plataforma de autobrecha volcánica sobreyacida por lutitas calcáreas en bahía Puerto Carrillo. ....	71
<b>Figura 26.</b> Detalle de autobrecha volcánica muy meteorizada sobre plataforma en las cercanías del estratotipo Puerto Carrillo. ....	71
<b>Figura 27.</b> Afloramientos del Sector 2 de la hoja topográfica Cerro Azul. ....	72
<b>Figura 28.</b> Exposiciones remanentes litológicas del Sector 4 de la hoja topográfica Cerro Azul. ....	73
<b>Figura 29.</b> Basaltos masivos con meteorización semejante a conglomerados. ....	73
<b>Figura 30.</b> Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en la hoja topográfica Matambú. ....	74
<b>Figura 31.</b> Afloramiento registrado como Puerto Carrillo en Quebrada Bonita de Belén de Nosarita. ....	75
<b>Figura 32.</b> Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en el norte de la hoja topográfica Tambor y sur de la hoja Golfo. ....	75
<b>Figura 33.</b> Exposiciones litológicas en isla Cedros. ....	76
<b>Figura 34.</b> Exposiciones litológicas de isla Jesusita. ....	77
<b>Figura 35.</b> Segmento estratigráfico levantado en isla Negritos Adentro. ....	78
<b>Figura 36.</b> Exposiciones litológicas en isla Negritos Adentro. ....	79
<b>Figura 37.</b> Configuración estratigráfica hallada en playa Órganos. ....	80
<b>Figura 38.</b> Vista general de una parte de la exposición litológica de playa Órganos. ....	81
<b>Figura 39.</b> Unidades de la sección estratigráfica de playa Órganos. ....	81
<b>Figura 40.</b> Unidades de la sección estratigráfica de playa Órganos. ....	82
<b>Figura 41.</b> Base de exposición litológica observada en playa Quesera. ....	82
<b>Figura 42.</b> Exposiciones geológicas de playa Quesera. ....	83
<b>Figura 43.</b> Autobrecha basáltica de isla Alcatraz. ....	83
<b>Figura 44.</b> Secuencias sedimentarias sobreyacientes a la autobrecha basáltica. ....	84
<b>Figura 45.</b> Base estratigráfica de secuencia hallada en punto registrado previamente como Fm. Puerto Carrillo. ....	84
<b>Figura 46.</b> Lutita silicificada con intraestratos y nódulos de cherts. ....	85
<b>Figura 47.</b> Lutitas y areniscas calcáreas con apariciones esporádicas, difusas e irregulares de lutitas bituminosas y cherts alteradas por oxidación. ....	85
<b>Figura 48.</b> Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en el sureste de la hoja topográfica Río Arío y oeste de la hoja Tambor. ....	86
<b>Figura 49.</b> Exposición litológica hallada en playa Muertos. ....	87
<b>Figura 50.</b> Brecha de origen ígneo hallada en playa Muertos compuesta por una matriz de vidrio verdoso con fragmentos de basalto. ....	88

<b>Figura 51.</b> Exposiciones litológicas en el sur de playa Tambor. ....	88
<b>Figura 52.</b> Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en la hoja topográfica Venado.....	89
<b>Figura 53.</b> Hallazgo de investigación en el punto 1101290 N / 389018.161 E.....	90
<b>Figura 54.</b> Hallazgos de litologías remanentes en colinas contiguas a carretera 21 Lepanto-Jicaral. ....	90
<b>Figura 55.</b> Exposición litológica hallada en el punto sur del poblado de Vainilla. ....	91
<b>Figura 56.</b> Registro de búsqueda de afloramientos brechosos registrados en Golfo. ....	91
<b>Figura 57.</b> Registro de búsqueda de afloramientos brechosos registrados en Vainilla. ....	91
<b>Figura 58.</b> Registro de búsqueda de afloramientos brechosos registrado en el punto entre Golfo y San Pedro. Hallazgo de remanentes de cherts y areniscas finas rojizas. ....	92
<b>Figura 59.</b> Hallazgo de remanentes litológicos brechosos al norte de Santa Rosa.....	92
<b>Figura 60.</b> Microfotografías de la muestra con código D2-PC1-U4.2. ....	95
<b>Figura 61.</b> Muestra de roca de mano a partir de la cual se extrajo la sección delgada con código D2-PC1-U4.1 .....	96
<b>Figura 62.</b> Campos visuales de la matriz de la muestra D2-PC1-U4.1. ....	97
<b>Figura 63.</b> Microfotografías de dos nanofósiles hallados en la muestra PC2-D1-U4.1, los cuales son señalados con una flecha amarilla. ....	98
<b>Figura 64.</b> Muestras macroscópicas de brechas medias penúltimas de la sección estratigráfica tipo. ....	101
<b>Figura 65.</b> Microfotografías de la muestra PC2-D1-12U2 (Corte A).....	104
<b>Figura 66.</b> Microfotografías de la muestra PC2-D1-12U2 (Corte B).....	105
<b>Figura 67.</b> Microfotografías de la muestra D2-PC1-U2.....	106
<b>Figura 68.</b> Microfotografías de la muestra D2-PC1-U1.....	108
<b>Figura 69.</b> Microfotografía de la muestra PC2-D3-13-1. ....	109
<b>Figura 70.</b> Microfotografía de la muestra PC5-IC-2. ....	110
<b>Figura 71.</b> Microfotografía de la muestra PC5-IJ-1.....	111
<b>Figura 72.</b> Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.1.....	112
<b>Figura 73.</b> Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.1.....	113
<b>Figura 74.</b> Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.2 a. ....	114
<b>Figura 75.</b> Microfotografía de la muestra PC5-IN-2.2 a. ....	115
<b>Figura 76.</b> Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.2b.....	116
<b>Figura 77.</b> Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.2b.....	117
<b>Figura 78.</b> Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-1.....	118
<b>Figura 79.</b> Microfotografías de las vistas generales de la configuración de la muestra PC5-IN-1.....	119
<b>Figura 80.</b> Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U2.1. ....	120
<b>Figura 81.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U2.1.....	121
<b>Figura 82.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U2.2.....	122
<b>Figura 83.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U1.....	123

<b>Figura 84.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-CP.....	124
<b>Figura 85.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U3.....	125
<b>Figura 86.</b> Microfotografías de PC3-D3-A1-U4. ....	126
<b>Figura 87.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U5.....	127
<b>Figura 88.</b> Microfotografías de la muestra PC5-IA-1.....	128
<b>Figura 89.</b> Microfotografías de la muestra PC5-Ito-1.. ....	129
<b>Figura 90.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D2-A3A. ....	130
<b>Figura 91.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D2-A2.2 cl. ....	131
<b>Figura 92.</b> Microfotografías de la muestra PC3-D2-A3B.. ....	132
<b>Figura 93.</b> Fotografía de la muestra PC3-D3-A2 a partir de la cual se generaron las láminas delgadas con código PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T. ....	133
<b>Figura 94.</b> Microfotografías de las muestras PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T.....	135
<b>Figura 95.</b> Fotografía de la muestra de mano con código D1-PC4-A11. ....	136
<b>Figura 96.</b> Microfotografías de la muestra D1-PC4-A11. ....	137
<b>Figura 97.</b> Microfotografías de la muestra D1-PC4-A1. ....	138
<b>Figura 98.</b> Microfotografías de la muestra D1-PC4-A3. ....	139
<b>Figura 99.</b> Resultados de composiciones litológicas registradas para los clastos con tamaño mayor a los 10 cm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita), PC3-D2-A2.1 y PC3-D2-A2 (playa Muertos), PC3-D3-A1 (playa Órganos).....	140
<b>Figura 100.</b> Conteo de tipos de litologías halladas con respecto a la cantidad de clastos. <b>A:</b> resultado del análisis de la fracción con diámetro de 9.5 mm. <b>B:</b> resultado de la fracción de 2 mm. <b>C:</b> resultado de la fracción de 0.850 mm. <b>D:</b> resultado de la fracción de 0.250 mm. <b>E:</b> resultado de la fracción de 0.150 mm. ....	141
<b>Figura 101.</b> Tipos de composiciones de clastos hallados en la fracción de 9.50 mm en cada muestra representados según su abundancia.....	142
<b>Figura 103.</b> Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 0.850 mm según su abundancia en cada muestra.....	143
<b>Figura 102.</b> Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 2 mm según su abundancia en cada muestra. ....	143
<b>Figura 105.</b> Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 0.250 mm según su abundancia en cada muestra.....	144
<b>Figura 104.</b> Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 0.150 mm según su abundancia en cada muestra.....	144
<b>Figura 106.</b> Resultados de redondez de clastos con tamaño mayor a 10 cm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita), PC3-D2-A2.1 y PC3-D2-A2 (playa Muertos), PC3-D3-A1(playa Órganos).....	145
<b>Figura 107.</b> Resultados de redondez de clastos con tamaño mayor a 9.5 mm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita). ....	145

<b>Figura 109.</b> Resultados de esfericidad de clastos con tamaño mayor a 10 cm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita), PC3-D2-A2.1 y PC3-D2-A2 (playa Muertos), PC3-D3-A1(playa Órganos)..	146
<b>Figura 108.</b> Resultados de esfericidad de clastos con tamaño de diámetro mayor a 9.5 mm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).	146
<b>Figura 110.</b> Clasificación de los tipos de texturas de los clastos de composición basáltica hallados en las brechas ubicadas en la hoja topográfica Cerro Azul.	147
<b>Figura 111.</b> Clasificación de los tipos de texturas de los clastos de composición basáltica hallados en las brechas ubicadas entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.	148
<b>Figura 112.</b> Clasificación de los tipos de texturas de los clastos de composición basáltica hallados en las brechas ubicadas en la hoja topográfica Venado.	148
<b>Figura 113.</b> Representación gráfica del análisis de la distribución de tamaños de clastos en las brechas descritas petrográficamente y que son constituyentes de las litologías descritas en la secuencia estratigráfica ubicada en el estratotipo (bahía Puerto Carrillo) dentro de la hoja topográfica Cerro Azul.	150
<b>Figura 114.</b> Representación gráfica de la distribución de tamaños de clastos en las brechas descritas petrográficamente, extraídas de sitios ubicados dentro de las hojas topográficas Golfo y Tambor. PC5-IN-1(isla Negritos), PC5-IN-2.2 a y PC5-IN-2.2b (isla Negritos), PC3-D3-A1-CP, PC3-D3-A1U4, PC3-D3-A1U2.1 y PC3-D3-A1U2.2 (playa Órganos).	151
<b>Figura 115.</b> Abundancia de tipos de texturas características halladas en los clastos basálticos de las brechas epiclásticas (matriz calcárea) del estratotipo asignado a la Formación Puerto Carrillo.	164
<b>Figura 116.</b> Abundancia de tipos de texturas características de los clastos basálticos analizados de las brechas encontradas en playa Órganos e isla Negritos (hojas topográficas Golfo y Tambor). Gráficos de barras (brechas de origen ígneo-matriz vidrio), gráficos pastel (brechas epiclásticas-matriz calcárea).	165
<b>Figura 117.</b> Abundancia de tipos de texturas características de los clastos basálticos analizados de las brechas de origen ígneo encontradas entre Jicaral y Lepanto (hoja topográfica Venado).	166
<b>Figura 118.</b> Composiciones modales de proveniencia para los casos Basamento Elevado y Arco no disectado según la metodología de Dickinson (1985).	172
<b>Figura 119.</b> Resultado de clasificación discriminadora F-Qt-L de indicios de proveniencia a partir de detritos hallados en la matriz y areniscas relacionadas a las brechas de la Formación Puerto Carrillo.	173
<b>Figura 120.</b> Resultado de clasificación discriminadora F-Qm-Lt de indicios de proveniencia a partir de detritos hallados en la matriz y areniscas relacionadas a las brechas de la Formación Puerto Carrillo.	173

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Clasificación QAPF de los campos 9 y 10 de rocas volcánicas, utilizando índice de color y contenido de SiO <sub>2</sub> . .....	36
<b>Tabla II.</b> Resumen de los tipos de conglomerados y brechas basados en su génesis. Fuente: Boggs (2009).....	39
<b>Tabla III.</b> Clasificación del sorteo a partir de valores de desviación estándar de Phi. ....	43
<b>Tabla IV.</b> Resumen de indicadores composicionales de areniscas derivadas de las proveniencias geotectónicas. ....	49
<b>Tabla V.</b> Nomenclaturas detríticas para clasificación composicional y de procedencia de areniscas. Fuente: Basado en Obrist y Yang (2017).....	52
<b>Tabla VI.</b> Valores estadísticos determinantes de las características físicas de brechas obtenidos para las muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Cerro Azul. ....	152
<b>Tabla VII.</b> Valores estadísticos determinantes de las características físicas de brechas obtenidos para las muestras recolectadas en sitios ubicados entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.....	153
<b>Tabla VIII.</b> Resumen de la definición de petrofacies de litologías en la hoja topográfica Cerro Azul.....	159
<b>Tabla IX.</b> Resumen de la definición de petrofacies de litologías encontradas entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.....	160
<b>Tabla X.</b> Continuación de la Tabla IX.....	161
<b>Tabla XI.</b> Continuación de Tabla X.....	162
<b>Tabla XII.</b> Resumen de la definición de petrofacies de litologías de las hojas topográficas Río Arío y Tambor.....	162
<b>Tabla XIII.</b> Resumen de la definición de petrofacies de litologías en la hoja topográfica Venado. ....	163

## RESUMEN

La Formación Puerto Carrillo representa un resguardo de información geológica acerca de los procesos de erosión y exhumación del Complejo de Nicoya, el cual, a su vez, ha sido clave para el estudio del origen y evolución tectónica de la construcción del Istmo Centroamericano.

Dicha Formación fue definida por Sprechmann (1982) y caracterizada como brechas sedimentarias mal estratificadas y mal seleccionadas, con clastos angulosos a subredondeados, de color verde-negrusco, de composición basáltica y/o silícea y que en ocasiones presenta clastos de gabro y jaspe amarillo. Tentativamente, infiere una edad de Santiense Superior / Campaniense Inferior y considera que su origen corresponde con corrientes de flujos que generaron erosión submarina del Complejo de Nicoya.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es determinar las características composicionales de los materiales brechosos de la Formación Puerto Carrillo en la península de Nicoya, añadiendo nuevos medios de análisis petrográficos, sedimentológicos, geoestadísticos y estratigráficos, para el establecimiento de su dinámica depositacional e indicios de fuentes de proveniencia.

Se caracteriza la constitución física y estratigráfica de la Formación Puerto Carrillo en sitios registrados previamente mediante la descripción en campo, a partir de lo cual también, se detallan los componentes litológicos macroscópicos y se extraen muestras para análisis petrográficos. Estos últimos, permitieron determinar nuevas características texturales y composicionales, tanto de la matriz como de los clastos de las brechas que no habían sido reportados previamente, identificándose brechas de tipo epiclásticas monomíticas con matriz de composición calcárea y brechas de origen ígneo con matriz de vidrio, ambos tipos de brechas se componen de clastos de basaltos con texturas principalmente microspínifex y basálticas.

Fue posible la identificación de nanofósiles, cocolitos, específicamente corresponden con especímenes del género *Watznaueria* spp. *Watznaueria barnesae*, no reportados previamente como parte de la Formación Puerto Carrillo. También se identificó glauconita en la matriz de las brechas con matriz calcárea, mineral indicador paleoambiental, que de acuerdo a Nichols (2009), suele generarse en profundidades de agua entre 50 y 500 m, en las partes exteriores de plataformas continentales y partes superiores de los taludes continentales. Por otra parte, la clasificación y conteo de componentes indicadores (F-Qt-L-Lt-Qm) permitió delimitar indicios de proveniencia a fuentes de basamento elevado, arco disectado y arco transicional.

**Palabras clave:** Formación Puerto Carrillo, brechas, petrografía, textura microspínifex, cuarzos, proveniencia.

# CAPÍTULO I:

## INTRODUCCIÓN

---

El Complejo de Nicoya representa un hito para la historia geológica de Costa Rica debido a que en sus unidades constituyentes se encuentran los registros litológicos más antiguos del país, designados de esta manera desde 1962 por Dengo. Este grupo de rocas tiene importancia a nivel regional, ya que corresponde con un foco de estudio que es y ha sido clave para el entendimiento del origen y de la evolución tectónica de la construcción del Istmo Centroamericano.

Al ser el Complejo de Nicoya un punto de partida cronoestratigráfico para el estudio geológico del país, y uno de los complejos con afinidad oceánica constituyentes del actual margen activo, su génesis y emplazamiento se tornan aún más relevantes.

Los depósitos brechosos cretácicos de la Formación Puerto Carrillo en la península de Nicoya, han sido ubicados estratigráficamente como la primera unidad sedimentaria sobreyacente a las unidades conformantes del Complejo de Nicoya (Marín (1980); Sprechmann (1982); Rivier (1983); Astorga (1987); Flores (2003); Flores et al. (2003); Bandini et al. (2008); como producto del primer evento tectónico significativo registrado en dicha península Denyer, P., Aguilar, T. y Montero, W. (2014)). Partiendo de esto, los depósitos pertenecientes a la Fm. Puerto Carrillo, corresponden con las unidades que resguardan información acerca de los procesos de erosión y exhumación del Complejo de Nicoya.

El presente estudio tiene como objetivo contribuir a la caracterización petrográfica y estratigráfica detallada de la Formación Puerto Carrillo; así como también analizar indicios de proveniencia, basado en estudios petrográficos, donde se clasifican las composiciones modales de los componentes indicadores cuarzos, feldespatos y líticos, mediante su representación en diagramas ternarios de configuraciones geotectónicas composicionales.

## JUSTIFICACIÓN

---

Los planteamientos genéticos y geotectónicos sobre el Complejo de Nicoya han seguido dos hipótesis predominantes, las cuales han sido generadas a partir de los modelos regionales de evolución de la placa del Caribe y del Pacífico como respuesta a resultados de estudios geocronológicos, tectónicos, geoquímicos y estratigráficos.

Por un lado, se considera el emplazamiento de este complejo oceánico de manera *in situ*, como ha sido propuesto por Ball et al. (1969); Aubouin et al, 1982; Sykes et al. (1982); Frisch et al. (1992); Meschede et al. (1997); Meschede y Frisch (1998); entre otros. Por otro lado, la otra hipótesis considera un emplazamiento “movilista” donde los principales constituyentes de afinidad oceánica, se originaron como parte de grandes efusiones basálticas formadoras de terrenos, los cuales viajarían desde el margen occidental de la dorsal del Pacífico emplazándose progresivamente hasta constituir el Complejo de Nicoya ((Wilson (1965); Duncan y Hargraves (1986); Ross y Scotese (1988); Stephan et al. (1994); Driscoll y Diebold (1999); Madrigal et al. (2016)); durante la constitución del *Caribbean Large Igneous Province* (CLIP) ((Alvarado, Denyer y Gazel (2009); Pindell y Kennan (2009); Mann, Rogers y Gahagan (2006)).

Los estudios con enfoques específicos realizados al Complejo de Nicoya como los bioestratigráficos (Baumgartner (1984); Gursky y Schmidt (1982); Denyer y Baumgartner (2006); Bandini et al. (2008); Baumgartner et al. (2018)), los radiométricos (Sinton y Duncan (1997); Hauff et al. (1997); Hoernle et al. (2004); Alvarado y Gans (2012) y geoquímicos (Beccaluva et al. (1999); Denyer y Gazel (2009)), han proporcionado datos de apoyo a alguna de las teorías, sin embargo, también han sido motivo de controversia y discusión. Esto porque los resultados han demostrado inconsistencias principalmente geocronológicas y geoquímicas que han llevado a replantear la constitución y el emplazamiento del Complejo de Nicoya, el cual se consideraba inicialmente un modelo estándar clásico de una ofiolita (Galli-Olivier y Schmidt-Effing (1977)).

A pesar de los múltiples estudios realizados sobre el Complejo de Nicoya, hasta la fecha no se ha realizado un análisis con enfoque exclusivo de proveniencia de los depósitos directamente relacionados a la erosión del Complejo de Nicoya, como los constituyentes sedimentarios de la Formación Puerto Carrillo, los cuales representan el primer testigo de emersión de las unidades de este Complejo.

Un estudio de proveniencia donde se analicen los depósitos conglomerádicos - brechosos de la Formación Puerto Carrillo en la península de Nicoya, permitiría identificar los remanentes detríticos como indicadores composicionales de proveniencia de su fuente, es decir, del Complejo de Nicoya. Una investigación de este tipo representaría un aporte más al estudio de este complejo, pero con un enfoque de análisis completamente novedoso.

Si bien, el origen y establecimiento de las formaciones del Complejo de Nicoya son de trascendental importancia, no se puede dejar de lado su análisis evolutivo posterior, para la comprensión de su emplazamiento, así como de la continuación y mejoramiento en la completitud de la línea histórica geológica local y regional.

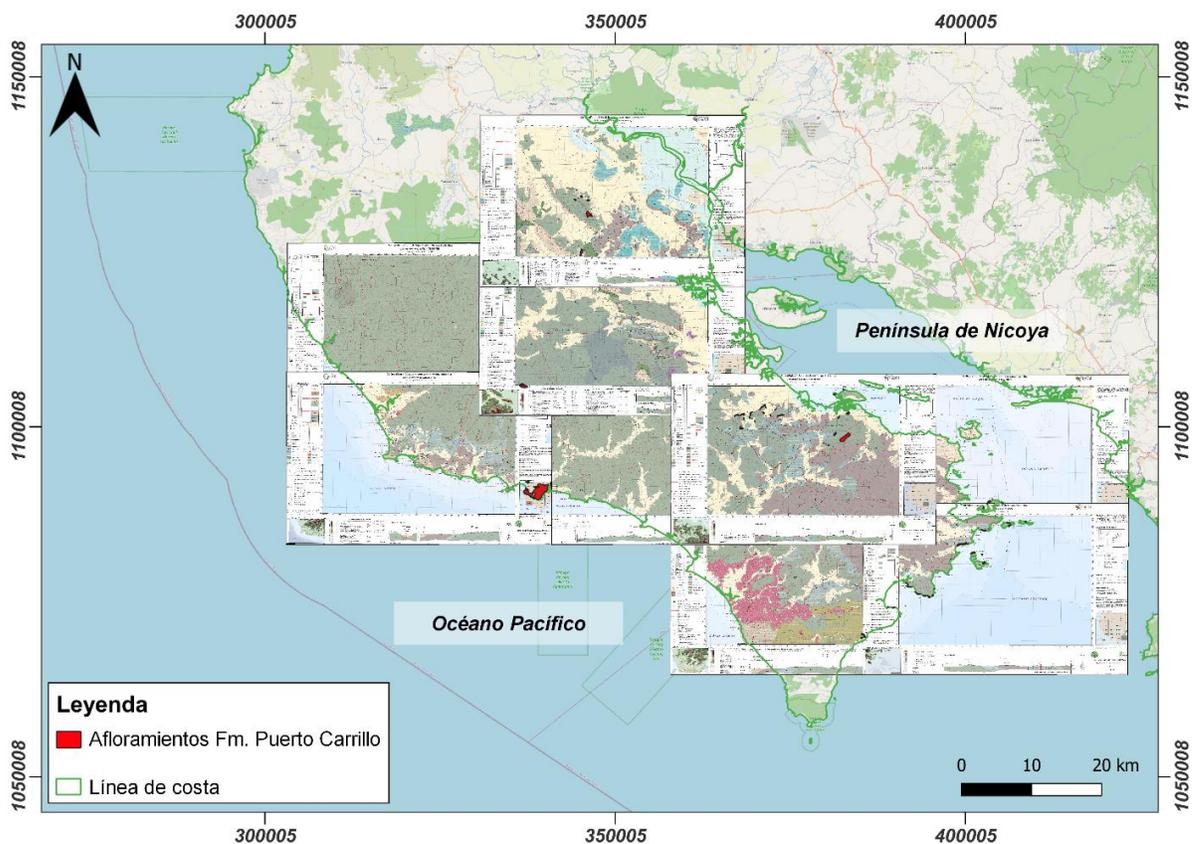
Los depósitos conglomerádicos - brechosos de la formación cretácica Puerto Carrillo, al brindar información sedimentaria y estratigráfica, como por ejemplo, las características físicas determinantes de texturas; el tamaño, esfericidad y redondez de los granos y clastos; así como las estructuras sedimentarias indicadoras del transporte, de mecanismos y sistemas depositacionales y de las condiciones paleoambientales, contribuyen a la generación de información requerida para la determinación de los procesos de delimitación y continuación de la dinámica tectónica y depositacional local de la cuenca, tras la emersión del protoarco.

La relación estratigráfica entre litologías conglomerádicas y brechosas del sur de la Península de Nicoya aún no ha sido esclarecida; no se ha determinado una edad exacta; los estudios sedimentológicos y estratigráficos básicos como levantamiento de secciones a detalle en campo son insuficientes; tampoco se ha detallado en descripciones composicionales petrográficas, por tanto, existe la necesidad de análisis desde diferentes enfoques. Es, por tanto, que destaca la importancia y necesidad de investigar los depósitos sedimentarios de la Formación Puerto Carrillo.

## UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

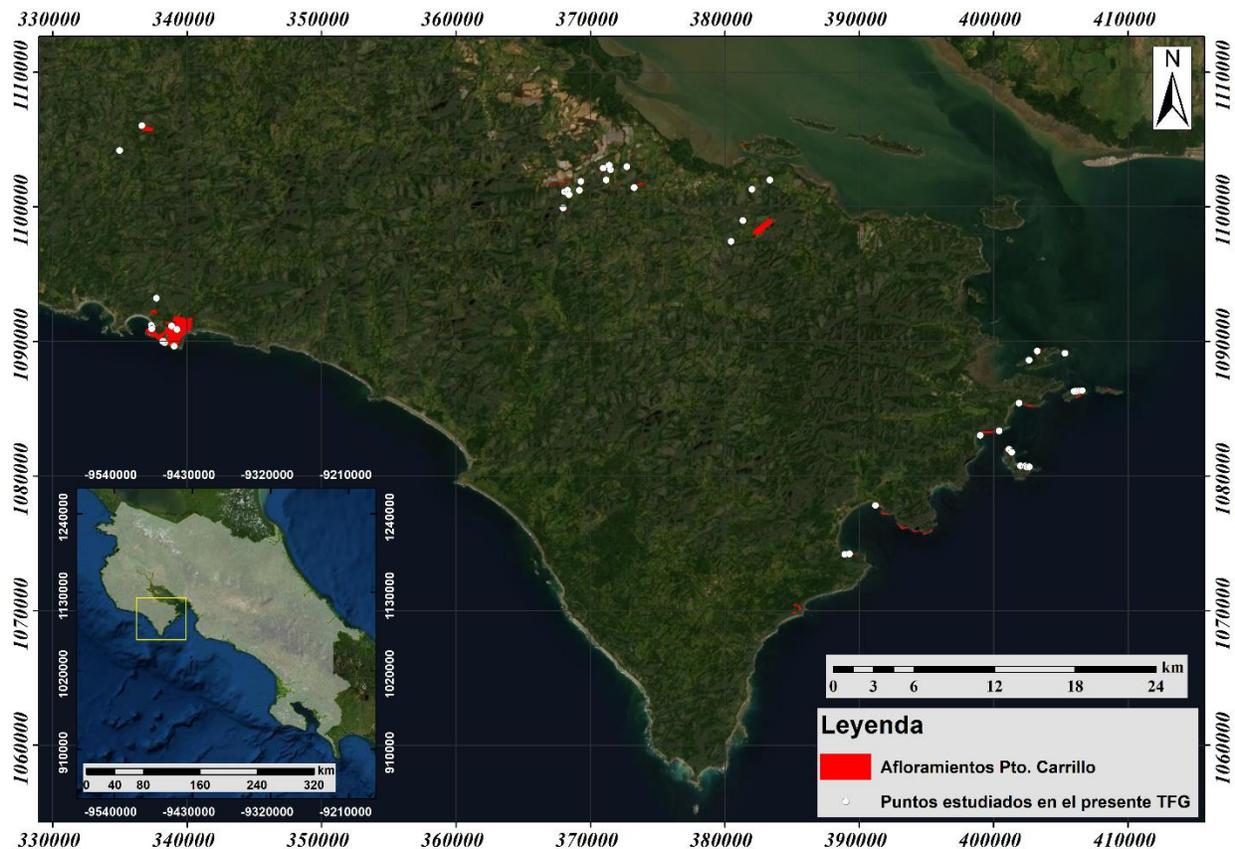
La península de Nicoya, con aproximadamente 5126,32 km<sup>2</sup> es la más extensa de Costa Rica. Se ubica en la parte oeste del país, abarcando sectores de las provincias de Puntarenas y Guanacaste y constituye parte de las cuencas Sámara-Cabo Blanco y Tempisque. Geográficamente limita al este con el Golfo de Nicoya, al sur y oeste con el Océano Pacífico.

Los registros litológicos históricamente asignados a la Formación Puerto Carrillo con los cuales se trabajó en la península de Nicoya (Figura 1), han sido cartografiados por Denyer, Aguilar y Montero (2014). Estos afloran de manera dispersa como parte de la geología de las siguientes hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:50 000: Cerro Azul, Cerro Brujo, Matambú, Golfo, Talolinga, Garza, Venado, Tambor, Río Arío y Cerro Brujo.



**Figura 1.** Localización de los afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en las hojas geológicas (Denyer et al. (2014)) consideradas como puntos de referencia para estudio en el presente trabajo. **Fuente- metadatos:** Elaboración propia a partir del Servicio de mapeo y geolocalización de la Escuela Centroamericana de Geología. Datum CR05, época 2005.83. Proyección CRTM05.

A partir de los registros cartográficos previos mostrados en la Figura 1, en el presente proyecto de investigación se visitaron y estudiaron específicamente los puntos mostrados en la Figura 2.



**Figura 2.** Localización de los afloramientos estudiados en el presente trabajo final de graduación.  
*Fuente- metadatos:* Límite Costa Rica tomado de Atlas TEC (2014), afloramientos previos tomados de Denyer et al. (2014). Puntos de estudio datum CR-SIRGAS, época 2014.59, proyección CRTM05.

## **OBJETIVOS**

---

### ***Objetivo General***

Determinar las características composicionales de los materiales brechosos de la Formación Puerto Carrillo en la península de Nicoya, por medio de análisis petrográficos, sedimentológicos, geoestadísticos y estratigráficos para establecer su dinámica depositacional e indicios de fuentes de proveniencia.

### ***Objetivos Específicos***

1. Caracterizar la constitución física y composicional de la Formación Puerto Carrillo, mediante el estudio de secciones estratigráficas en campo para la definición de litofacies.

2. Analizar los componentes clastos-matriz de la Formación Puerto Carrillo a través de clasificaciones macroscópicas y microscópicas de secciones delgadas y detritos, para la definición de petrofacies.

3. Reconocer los factores controladores de depositación sedimentológica de la Formación Puerto Carrillo, a través de análisis geoestadísticos de sus constituyentes para la distinción de fuentes composicionales según cada sección de estudio.

4. Clasificar los indicios remanentes de las fuentes constituyentes de la Formación Puerto Carrillo, mediante diagramas ternarios detríticos para la determinación de configuraciones geotectónicas composicionales.

## ANTECEDENTES

---

### *Antecedentes de la Formación Puerto Carrillo*

Dengo (1962) establece que en la región de Guanacaste el basamento corresponde con el Complejo de Nicoya; y su vez identifica conglomerados sobreyaciendo a esta, sin embargo, no reconoce aún la Formación Puerto Carrillo.

Para la parte Central de la Península de Nicoya, en la quebrada La Peña, Dengo (1962) mide una sección de al menos 150 metros de espesor compuesta en la parte inferior de aglomerados de basalto pobremente estratificados y cubiertos por calizas silíceas finitas que a su vez subyacen a un aglomerado de basalto interestratificado con grauwacas.

Posteriormente, Kuipers (1979) realiza una subdivisión de la estratigrafía sobreyacente al Complejo de Nicoya. No se reconoce a la Formación Puerto Carrillo como tal, sino que se refiere a la serie denominada: Litología de la serie del Campaniano-Eoceno medio y hace referencia a arenitas, calcarenitas y conglomerados, originados por corrientes de turbidez y flujos de gravedad. Destaca que las areniscas y los conglomerados, que son de composición principalmente basáltica, pueden confundirse con los basaltos, ya que se encuentran tan soldados que no se distinguen los contactos. Estos conglomerados son interpretados como los primeros productos de la erosión submarina del Complejo de Nicoya.

Durante la Campaña geológica de 1980, realizada en el área de Punta Escondido, Península de Nicoya, la Formación Puerto Carrillo es cartografiada como una unidad informal y reconocida por Marín (1980) y Sánchez (1980) como Unidad Conglomerado o Unidad Conglomerado Basáltico.

Marín (1980) reconoce que su edad no es conocida con exactitud, pero que puede inferirse como Campaniana a Maastrichtiana, por alternar hacia la parte superior con la Unidad Calizas Arcillosas. Y que su origen se evidencia en la composición, ya que indicaría la erosión de los basaltos.

La Formación Puerto Carrillo definida por Sprechmann (1982), fue caracterizada como brechas mal estratificadas y mal seleccionadas con clastos angulosos a subredondeados, color verde-negrusco de composición basáltica y/o silícea y que en ocasiones presenta clastos de gabro y jaspe amarillo con tamaños desde arenas hasta guijarros de 12 cm. Según Sprechmann (1982) se constituye también por arenitas dispuestas en forma lenticular e interestratificaciones pobres de alternancia entre brechas y calcilitas. Tentativamente, infiere una edad de Santiense Superior / Campaniense Inferior y considera que su origen corresponde con corrientes de flujos que generaron erosión submarina del Complejo de Nicoya.

Para Astorga (1987), los depósitos de esta Formación integran un sistema depositacional denominado tipo I Puerto Carrillo relacionado con la depositación de flujos tractivos y caída de rocas a la base de escarpes submarinos, los cuales corresponden con una serie de depósitos sedimentarios discontinuos y heterócronos, tipificados por facies de grano grueso y de composición predominantemente basáltica que sobreyacen de manera inconforme a los basaltos del Complejo de Nicoya.

Denyer, Aguilar y Montero (2014) cartografiaron la Formación en 72,6 km<sup>2</sup> de su área de estudio geológico de la Península de Nicoya y restringen su nombre a Formación Puerto Carrillo para poder incluir otras litologías asociadas, además, consideran, estratigráficamente, que el contacto inferior es discontinuo con el Complejo de Nicoya y el superior concordante o interdigitado con la Formación Piedras Blancas y que su relación con las Formaciones Barbudal y Coyolito no es clara, pues localmente, puede corresponder con un equivalente lateral de la Formación Barbudal.

A partir de lo expuesto anteriormente, se realiza una ubicación cronológica y estratigráfica histórica de la Formación Puerto Carrillo (Figura 3) con respecto a las formaciones más próximas sub y sobreyacentes, propuesta por autores previos, esto con la finalidad de contextualizar a la formación en estudio dentro del esquema geológico regional.

## ***Antecedentes de proveniencia geotectónica del Complejo de Nicoya***

Las unidades del Complejo de Nicoya se distribuyen de acuerdo con Denyer et al. (2014) de la siguiente manera: un 34.3% se compone de basaltos, equivalente a 2200.3 km<sup>2</sup> del área aflorante en la península de Nicoya; el Intrusivo Potrero se halla a lo largo de 212,6 km<sup>2</sup> con un 3,3%; las unidades de radiolaritas representan un 0.6% del área total, es decir, 37.7 km<sup>2</sup>, seguidamente en extensión se halla la unidad de Tortugal con 0,04% del área, 2.8 km<sup>2</sup>, por último, la unidad Plagiogranito de Ocotal representa el 0.02% de dicho complejo.

Alvarado y Gans (2012) consideran la constitución de las radiolaritas como sedimentación de espesas secuencias pelágicas en el Paleopacífico en conexión con el mar del Tethys durante el Jurásico Medio, hace unos 170 Ma.

Madrigal et al. (2016) realizan una identificación de grandes provincias de baja velocidad de ondas S o *Large Low Shear Velocity Provinces* (LLSVPs por sus siglas en inglés; ver Garnero et al. 2016), utilizando fragmentos de grandes provincias ígneas, que se encuentran como acreciones en márgenes tectónicos del Pacífico. Esto les permitió realizar una reconstrucción de la evolución cinemática de la placa del Pacífico desde hace aproximadamente 168 Ma. Dentro de esta investigación científica, se analizan los terrenos basálticos de origen oceánico del Complejo de Nicoya los cuales son organizados de la siguiente manera:

Nicoya I, ha sido relacionado con efusiones basálticas de grandes provincias ígneas generadas hace ~140 Ma.

Nicoya II, corresponde con una *suite* basáltica hace 120 Ma, su formación se propone simultánea con la generación del basamento más joven de la dorsal medio oceánica del Pacífico, pero en este caso, este segmento migró hacia los márgenes occidentales de la Placa del Pacífico.

Nicoya III, correspondiente con intrusiones masivas de basaltos, diabasas y gabros representantes de fragmentos de la Gran Provincia Ígnea del Caribe (CLIP por sus siglas en inglés) de hace ~90 Ma.

Whattam et al. (2016) sugieren que los plagiogranitos del Complejo de Nicoya corresponden con ~ 10-15% de líquidos residuales posteriores a la cristalización fraccionada de su fuente parental máfica. Su origen geotectónico se considera principalmente con afinidad de dorsal medio oceánica hace  $90.9 \pm 2.0$  Ma a  $88.5 \pm 2.0$  Ma.

Según Denyer y Gazel (2009) dentro de los componentes de los basaltos destacan plagioclasas, augitas, óxidos de Fe y Ti en texturas afíricas. Las doleritas presentan la misma paragénesis de los basaltos. Los gabros y plagiogranitos se concentran en el NW de la península de Nicoya y contienen plagioclasa, cuarzo de textura mirmequítica, hedenbergita y óxidos de Fe y Ti. Las radiolaritas se intercalan entre los basaltos y se encuentran impregnadas por hematita, en ocasiones completamente reemplazadas, esta unidad correspondería con lentes hidrotermalmente removidos.

La unidad Tortugal del Complejo de Nicoya fue reportada por primera vez por Alvarado, Denyer y Sinton (2007) constituida por komatiitas, lavas con altas proporciones de MgO, Ni y Cr y altas relaciones CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y agotadas en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O y TiO<sub>2</sub>. Petrográficamente presentan texturas seriadas, una matriz microlítica rica en clorita y ocasional textura *micro-spinifex*, el principal componente es el olivino y se presenta en fenocristales, también se encuentran abundantes fenocristales de clinopiroxenos y ortopiroxenos, como minerales accesorios se encuentra ilmenita y como secundario se encuentra clorita.

Las komatiitas de Tortugal fueron analizadas por Trela et al. (2017), obteniéndose como resultado temperaturas de formación tan altas como las komatiitas arcaicas (superiores a 1700 °C). Estos autores interpretan y proponen su origen como resultado de la pluma mantélica Galápagos durante la generación del CLIP hace ~89 Ma.

## ***Antecedentes de análisis de proveniencia utilizando evaluaciones modales detríticas de formaciones sedimentarias en la Península de Nicoya***

Un estudio de proveniencia fue realizado en un sector central este de la península de Nicoya por Calvo (2003), sin embargo, los materiales de análisis fueron tres suites o conjuntos de areniscas pertenecientes a las Formaciones El Viejo y Rivas (1. Suite La Tigra de la Fm. Rivas del Campaniano Tardío al Maastrichtiano correspondientes con areniscas de canal de la parte baja de talud submarino. 2. Suite Quebrada Pilas del Maastrichtiano y de la Fm. Rivas, areniscas de canal perteneciente a un talud submarino relacionado con plataforma de arco. Y 3. Suite Calle Codornices asignada a la Fm. El Viejo, es del Campaniano Tardío al Maastrichtiano Temprano de un ambiente de plataforma de arco insular, específicamente bancos bioclásticos transgresivos), analizadas mediante una metodología semicuantitativa, donde se consideraron los detritos plutónicos como parámetros sensibles de procedencia. Esto se realizó a través de las siguientes dos evaluaciones modales: la relación detrítico plutónico total versus cantidad total de líticos y la proporción piroxenos uralitizados respecto a los piroxenos totales. Los cuarzos y feldespatos detríticos son ignorados en las tabulaciones de los resultados y análisis de datos modales. Las suites de areniscas fueron asignadas a una procedencia perteneciente a la derivación de arcos magmáticos.

Al considerar un área más extensa, donde se integre mayor cantidad de afloramientos enfocados a litologías sedimentarias más próximas estratigráficamente a las Unidades del Complejo de Nicoya, los resultados serían más exactos respecto a las litologías de este Complejo.

**Antecedentes de la contextualización cronoestratigráfica de la Fm. Puerto Carrillo en las cuencas Cabo Blanco y Tempisque**

Tiempo Geológico					Autores						
Era	Periodo	Época	Edad	(Ma)	MARÍN (1980) (Sámara-Cabo Blanco)	BAUMGARTNER et al. (1984) (Nosara-Sámara-Carrillo)	SPRECHMAN et al. (1994) (Cabo Blanco y Tempisque)	ASTORGA (1987) (Cabo Blanco y Tempisque)	DENYER ET AL. (2014) Sámara-Cabo Blanco	DENYER ET AL. (2014) Tempisque	
Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno	Elandiano	~61.6	Unidad Arenisca-Lutita	Fm. Lutita-Arenisca Barco Quebrado (asignado a Fm. Rivas)	Formación Curú	Formación Curú	Formación Curú	Formación Curú	
			Daniano	~66							
Mesozoico	Cretácico	Superior	Maastrichtiano	~72.1	Unidad Caliza Arcillosa	Fm. Caliza Pelágica Golfito (Grupo Sábana Grande)	Fm. Sábana Grande	Fm. Sábana Grande	Mb. Loma Danta	Fm. Santa Ana	
			Campaniano	~83.6	Unidad Conglomerados (Referente a Fm Puerto Carrillo)	Fm. Puerto Carrillo ?	Fm. Puerto Carrillo Fm. El Viejo	Fm. Puerto Carrillo	Fm. Piedras Blancas	Fm. El Viejo	
			Santoniano	~86.3	Unidad Basalto (Referente a Complejo de Nicoya)	?	Complejo de Nicoya	Complejo de Nicoya	?		
			Ceniaciano	~89.8	?	Complejo de Nicoya: Unidad Esperanza	Complejo de Nicoya	Complejo de Nicoya	Fm. Sábana Grande	Fm. Sábana Grande	
		Turoniano	93.9								
		Cenomaniano	100.5								
		Inferior	Albiano	~113							Fm. Loma Chumico
			Aptiano	~125							

Contactos discordantes o inconformidades     
 Evento tectónico     
 ? Edad no especificada

**Figura 3.** Cuadro de correlación cronoestratigráfica de la Formación Puerto Carrillo. **Fuente:** Elaboración propia a partir de Marín (1980), Baumgartner et al. (1984), Sprechmann et al. (1994), Astorga (1987) y Denyer et al. (2014).

## MARCO TEÓRICO

---

Para Dickinson (1970) la interpretación de proveniencia aunado a la fuente de roca originaria, corresponde con un estudio particular de secuencias sedimentarias donde los terrenos de roca fuente han sufrido una erosión rápida. Dichas litologías pueden proporcionar información acerca de su proveniencia, considerando que la información es única para cada Formación en particular, desde el proceso de erosión de una roca fuente, hasta la etapa diagenética que ha permitido la conformación de una secuencia sedimentaria, se deben considerar las variables de cada caso y apoyar con estudios adicionales.

Sin embargo, para poder considerar los indicios de proveniencia de una Formación es indispensable antes que todo, definir concretamente su constitución litológica, por tanto, a continuación, se detalla en los fundamentos teóricos utilizados en el presente trabajo para la caracterización de la Formación Puerto Carrillo.

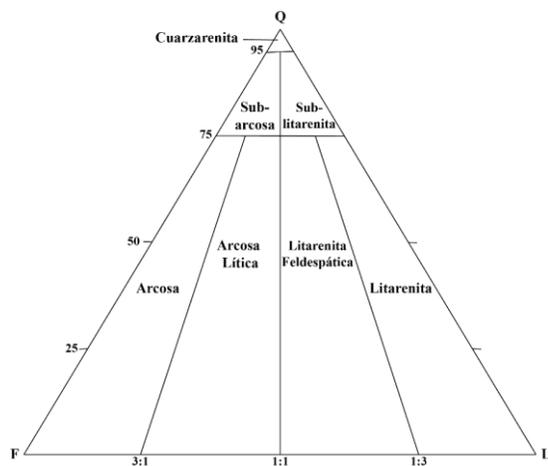
### ***Clasificación de rocas sedimentarias siliciclásticas (areniscas)***

El componente que permite la unión de clastos en una roca sedimentaria del tipo brechoso o conglomerádico corresponde con la matriz, la cual es muy importante, ya que brinda información física y composicional para la determinación de su constitución, en el caso de la presente investigación, se utilizará la información de la matriz inferir los indicios de proveniencia de la formación Puerto Carrillo. Por tanto, su descripción y clasificación debe ser detallada, generalmente esta fracción componente corresponde con rocas del tipo areniscas y/o lutitas, por lo que para su estudio se considera lo siguiente.

Desde 1954, Pettijohn realizó un trabajo de clasificación y nomenclatura de areniscas basado en tres factores, que según su consideración figuran como los más importantes y determinantes genéticamente, la proveniencia, madurez y fluidez (densidad y viscosidad) del medio. A partir de esto, se consideran propiedades físicas de las areniscas y se definen tres índices: relación entre granos feldespato / roca total, cuarzo / feldespato + fragmento de roca y relación grano - matriz. Las areniscas (excluyendo tobas y calcarenitas) fueron agrupadas en cuatro familias: graywackes, areniscas líticas, arcosas y ortocuarcitas.

Basado en trece propuestas de clasificación previas desde 1948, McBride (1963), presenta el primer esquema base para la clasificación de areniscas (excluyendo areniscas carbonatadas y volcánicas) prevaleciente hoy en día. A partir de esta, se han generado numerosas modificaciones, y diagramas clasificatorios de areniscas, sin embargo, se podría decir que se mantiene el esquema base de McBride (1963) el cual se representa mediante un diagrama ternario donde sus ápices corresponden con feldespatos, fragmentos de roca o líticos y cuarzo-cuarcita. En este caso, cada componente se subdivide creando ocho campos de clasificación: arcosa, subarcosa, cuarzarenita, sublitenita, subarcosa lítica, litarenita, arcosa lítica y litarenita feldespática, los cuales han variado de acuerdo con el porcentaje de matriz y componentes según las propuestas de múltiples autores.

Folk (1980) formuló una matriz diagnóstica de areniscas modificando modelos previos, dicha propuesta es resultado de análisis de proveniencia y marcos tectónicos. Los cinco puntos elementales de estudio corresponden con: 1) tectónica del área fuente: (incluye factores de estabilidad, deformaciones, regeneración y actividad volcánica de área fuente) la cual controla la tasa de erosión, geomorfología, etc.; 2) paleogeología del área fuente. 3) marco tectónico depositacional. 4) ambiente depositacional predominante y 5) efectos climáticos. Desde entonces y hasta el presente, se continúa utilizando el diagrama ternario propuesto por Folk (1980) (Figura 4), en trabajos sedimentológicos y afines (ej. Díaz y Marensi (2020); Li et al. (2020); Wei et al. (2019); Wang et al. (2020) para la clasificación composicional petrográfica de areniscas, y el cual, se utilizará para la clasificación de areniscas siliciclásticas en el presente trabajo.



**Figura 4.** Diagrama clasificatorio de areniscas. Fuente: Folk (1980).

Para determinar el tipo de arenisca, no se toma en cuenta el porcentaje de matriz, cementos-precipitaciones químicas, glauconita, fosfatos, fósiles, minerales pesados y micas. Se recalculan al 100% solamente los minerales esenciales de los tres polos del diagrama, es decir, Q (todos los tipos de cuarzo, excepto *cherts*), F (feldespatos individuales + fragmentos graníticos y gnéisicos) y L (todos los fragmentos líticos).

### ***Clasificación de rocas carbonatadas***

Así como existe variedad de propuestas para la clasificación de rocas siliciclásticas, también hay para las rocas carbonatadas. Estas se han generado como modificaciones a las propuestas de Folk (1980) y Dunham (1962), que han sido base y las más aceptadas por la comunidad científica en sedimentología.

Para efectos de la presente investigación se considerará la clasificación de rocas carbonatadas propuesta por Dunham (1962). Tal como menciona Moore (2001), dicha clasificación contempla principalmente la configuración textural de la roca definida por el porcentaje de matriz y la disposición o soporte de grano.

En la figura 5, se presenta el diagrama clasificatorio de Dunham (1962), el cual se divide en dos categorías principales, una en donde se encuentran las texturas con contenido carbonático sedimentario reconocible con respecto a los demás componentes, y otro en donde la textura corresponde con calcita cristalina totalmente. Dentro de la primera división, se encuentran las siguientes subdivisiones:

#### ***A. Con contenido de matriz (contenido fino calcáreo)***

A.1. Si la roca se encuentra matriz-soportada con un porcentaje de granos menor al 10%, se denomina Mudstone.

A.2. Si la roca se encuentra matriz-soportada con un porcentaje de granos mayor al 10%, se denomina Wackestone.

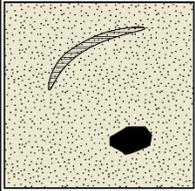
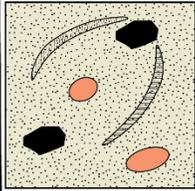
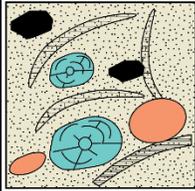
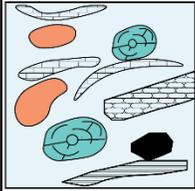
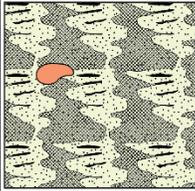
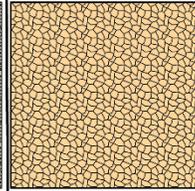
A.3. Si la roca se encuentra grano-soportada se denomina Packstone.

#### ***B. Sin contenido de matriz (esqueleto sin material fino calcáreo)***

B.1. Si la roca es grano soportada y sin matriz, corresponde con un Grainstone.

*C. Otra génesis de componentes*

Si la roca se ha mantenido con sus componentes originales, generado como producto de la acción de organismos bioconstructores se denomina Boundstone.

Textura depositacional reconocible					<b>Calcita cristalina</b>  textura depositacional irreconocible
Componentes originales, no asociados durante la depositación				<b>Boundstone</b>  componentes originales unidos en la depositación cubiertos por bioconstrucciones	
Contiene arcilla y limo de carbonato			<b>Grainstone</b>  grano-soporte sin micrita		
Matriz-soporte		Grano-soporte			
<b>Mudstone</b>  porcentaje de granos menor al 10%	<b>Wackestone</b>  porcentaje de granos mayor al 10%	<b>Packstone</b>			
					

*Figura 5. Diagrama de clasificación de rocas carbonatadas de Dunham (1962). Fuente: modificado a partir de Moore (2001).*

**Clasificación de rocas ígneas**

Para la clasificación y nomenclatura de rocas volcánicas a partir del análisis y descripción de láminas delgadas, en el presente trabajo se sigue el sistema de Le Maitre et al. (2002), el cual se basa en las propuestas de Streckeisen, A. (1973-1976), aceptadas por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por sus siglas en inglés), a través de la Subcomisión de Sistemática de Rocas Ígneas.

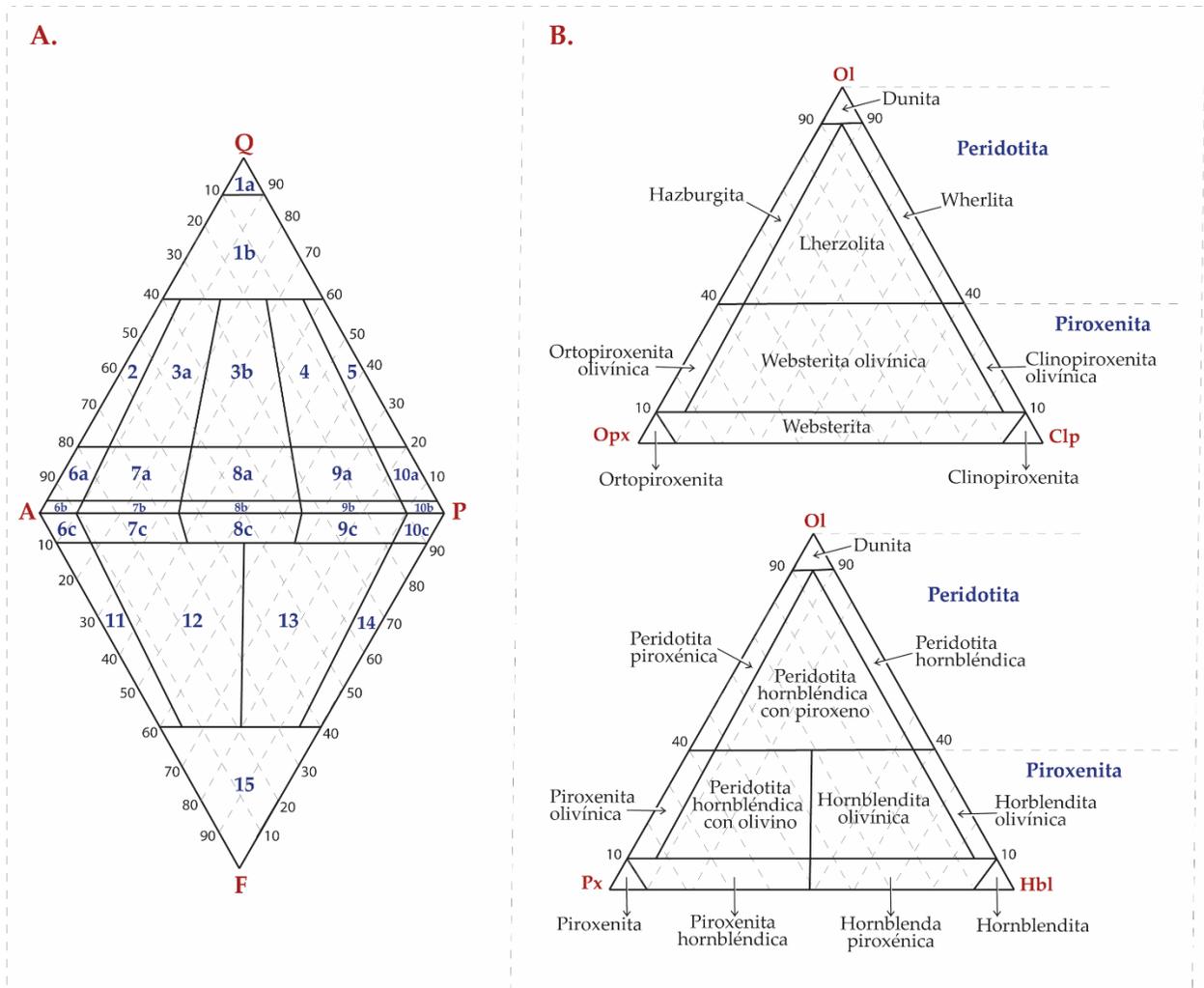
Una importante distinción al observar una muestra petrográfica de origen ígneo en el microscopio, al momento de realizar una clasificación, corresponde con la determinación de la presencia de vidrio, así como la textura en la que este se disponga. Si se encuentra una textura fanerítica completamente holocristalina, se trabaja según el sistema de rocas plutónicas, de lo contrario, si son rocas hipocristalinas, se trabaja bajo el sistema de rocas volcánicas.

## **Sistema de clasificación de rocas plutónicas**

Para utilizar el siguiente esquema clasificatorio, inicialmente se debe verificar que el contenido de máficos es menor al 90% de lo contrario, se debe acudir a diagramas auxiliares de clasificación ultramáfica.

Este sistema de clasificación, siguiendo a Le Maitre (2002) se basa en los componentes de cuarzo (Q), feldespatos alcalinos (A), plagioclasa (P) y feldespatoideos (F). Por tanto, se debe realizar un conteo por porcentaje de abundancia de cada uno de los componentes de la muestra de roca, posteriormente la clasificación de cantidades modales requiere recalcular las composiciones mineralógicas a un 100% determinado en conjunto por la sumatoria de los parámetros QAP o F (según cada caso) y a partir de este nuevo 100% se hallan solamente la abundancia de dichos componentes los cuales definen su ubicación en el diagrama clasificatorio (Figura 6).

Tal como menciona Pere (2018), hay un gran número de rocas con diferentes características petrográficas que se superponen en el vértice P (plagioclasa), esto porque no se encuentra una distinción explícita con respecto al contenido de anortita; Por tanto, se debe estimar el contenido de An de las plagioclasas, se consideran dioritas si su plagioclasa; así  $An < 50$  y gabros si  $An \geq 50$ .



**Figura 6.** 6.A: Diagrama clasificadorio QAPF de rocas plutónicas. 6.B: Diagramas clasificadorios de rocas ultramáficas. Fuente: modificado de Le Maitre (2002) y basado en Streckeisen (1976).

### Sistema de clasificación de rocas volcánicas

Para clasificar las rocas volcánicas se debe seguir el mismo principio de clasificación anterior presentado en el apartado “Sistema de clasificación de rocas plutónicas”, sin embargo, se debe considerar si hay o no, la presencia de vidrio, así como la textura y tamaño de grano que confirme su origen volcánico, esto de igual manera si la cantidad de minerales máficos se encuentra en menos de un 90%.

Seguidamente se debe determinar el porcentaje de abundancia mineral total de la muestra para posteriormente definir las cantidades modales de los minerales QAPF y, por

último, se procede a graficar dichas cantidades modales en el diagrama mostrado en la siguiente Figura 7 y dependiendo de su ubicación se determina su clasificación y nomenclatura.

Siguiendo el sistema para la clasificación de rocas plutónicas, los campos del diagrama clasificatorio corresponden con la misma numeración, a excepción del campo 15 el cual ha sido dividido en tres subcampos, también basados en Le Maitre (2002) A continuación, se presenta la nomenclatura según cada campo para el caso de rocas volcánicas.

-Campo 2: Riolita alcalifeldespática. Puede utilizarse el término riolita peralcalina, en lugar de riolita alcalina, cuando la roca contiene piroxeno alcalino y/o anfíbol, asimismo, el nombre riolita puede ser sustituido por su sinónimo Liparita.

-Campo 3a y 3b: Riolita (Liparita). El término Riodacita que se ha utilizado de forma ambigua para las rocas de los campos 3b y 4, puede utilizarse para las rocas de transición entre Riolita y Dacita sin atribuirles a un campo distinto.

-Campo 4 y 5: Dacita, este término abarca de manera general ambos campos, las rocas del campo 5 que se han determinado como “Plagiodacita” o “Andesita de cuarzo”, se recomienda utilizar Dacita.

-Campo 6. *Subcampos 6a y 6b:* Traquita alcalifeldespática. *Subcampo 6c:* Traquita alcalifeldespática foidífera.

-Campo 7: Traquita. *Subcampo 7a:* Traquita cuarzosa. *Subcampo 7b:* Traquita. *Subcampo 7c:* Traquita foidífera.

-Campo 8.

*Subcampo 8a:* Latita cuarzosa.

*Subcampo 8b:* Latita.

*Subcampo 8c:* Latita foidífera.

-Campos 9 y 10. Basalto y Andesita. Estos campos contienen la mayoría de las rocas volcánicas. Y las nomenclaturas se separan principalmente utilizando el índice de color tal

como se muestra en la siguiente Tabla I. Para una clasificación más exacta se debe seguir la clasificación TAS.

*Tabla I. Clasificación QAPF de los campos 9 y 10 de rocas volcánicas, utilizando índice de color y contenido de SiO<sub>2</sub>.*

Índice de color		SiO <sub>2</sub> wt %	
Vol %	wt %	< 52	> 52
> 35	> 40	Basalto	Mela-andesita
< 35	< 40	Leuco-basalto	Andesita

*Fuente: Le Maitre (2002).*

-Campo 11. Fonolita. Depende de su contenido de feldespatoides se puede agregar como, por ejemplo: Fonolita con leucita, Fonolita con analcima, Fonolita con nefelina, etc. Las fonolitas que contienen piroxeno sódico y/o anfíbol sódico pueden denominarse Fonolita peralcalina.

-Campo 12. Fonolita tefrítica.

-Campo 13. Su nombre depende de la cantidad de olivino en la norma CIPW, si el olivino es superior al 10% se denomina Basanita fonolítica, si es inferior al 10% corresponde con Tefrita Fonolítica.

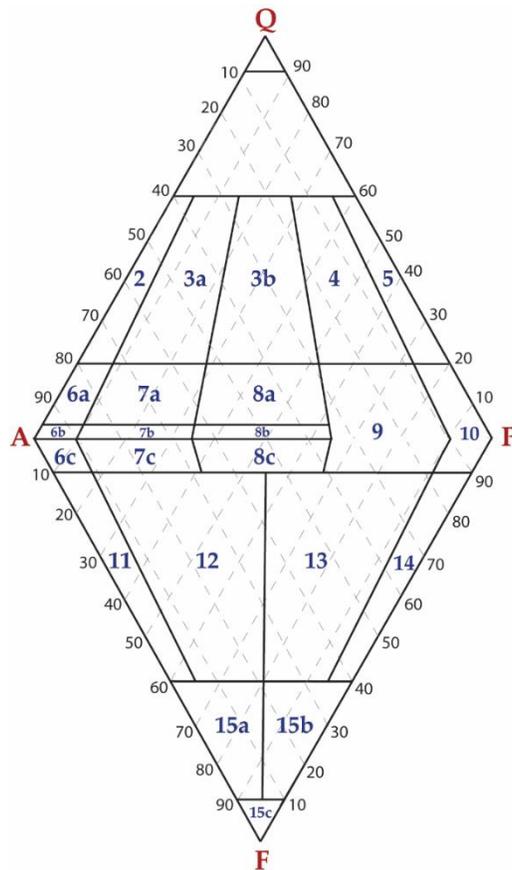
-Campo 14. En este campo el nombre también depende de la cantidad de olivino en la norma CIPW. Si el olivino es superior al 10% se denomina Basanita, si es inferior al 10% es una Tefrita.

-Campo 15. Foidita.

*Subcampo 15a:* Foidita fonolítica. Siempre que se posible especificar más se puede hacer, por ejemplo: Nefelinita fonolítica.

*Subcampo 15b:* Foidita tefrítica.

*Subcampo 15c:* Foidita *sensu stricto*. Se recomienda también distinguir según su contenido de feldespatoide.



*Figura 7. Diagrama clasificatorio QAPF de rocas volcánicas. Fuente: modificado de Le Maitre (2002) y basado en Streckeisen (1976).*

### ***Clasificación de brechas y conglomerados***

Boggs (2009) define los conglomerados como rocas sedimentarias que consisten predominantemente en clastos de grava con tamaño mayor a 2 mm agregados con un contenido de matriz variable y de tamaño diferencial (arenisca o lutita). Hace distinción entre fragmentos de roca redondeados a subredondeados denominándolos conglomerados con respecto a agregados angulares (bordes afilados y esquinas no desgastadas) los cuales corresponden a brechas.

Existe una variedad de pautas que se utilizan para clasificar conglomerados y brechas. En el presente trabajo se utilizan varias consideraciones de estas como parte de una descripción propia de este tipo de litologías y que integralmente permite determinar un diagnóstico de su

configuración. A continuación, basado en Boggs (2009), se presentan dichas consideraciones.

### **Clasificación genética**

Una de las maneras más comunes de clasificar las brechas y conglomerados corresponde con la asignación de su constitución genética

Los tipos más comunes son las brechas epiclásticas que se forman a partir de los fragmentos de cualquier tipo de roca más antigua que se descompone por procesos físico-mecánicos dentro o fuera de la cuenca en donde se constituyó la formación denominada intraformacionales o extraformacionales respectivamente.

Sin embargo, otra gran cantidad de brechas se generan por procesos que no son sedimentarios, tales como vulcanismo, y en menor proporción, brechas formadas por procesos de cataclasis o colapso, disolución de rocas solubles como caliza o sal, así como brechas por impacto de meteoritos los cuales son aún menos frecuentes. Todos estos tipos de clasificación de brechas se ha resumido en la Tabla II.

### **Composición de matriz y cementos**

Tal como define Boggs (2009), la matriz de los conglomerados corresponde con el material más fino (no se ha establecido un límite de tamaño) que rellena los espacios intersticiales dentro los clastos de tamaño grava, este relleno principalmente corresponde con arcilla y/o arena, sin embargo, puede ser cualquier tipo de mineral o fragmento de roca, tales como arcilla, micas finas, cuarzo, feldespatos, fragmentos de clastos, minerales pesados etc. La matriz, a su vez, puede estar cementada con cuarzo, calcita, hematita, arcilla u otros cementos, los cuales en conjunto como matriz son los que unen los granos en una estructura de conglomerado o brecha.

*Tabla II. Resumen de los tipos de conglomerados y brechas basados en su génesis. Fuente: Boggs (2009).*

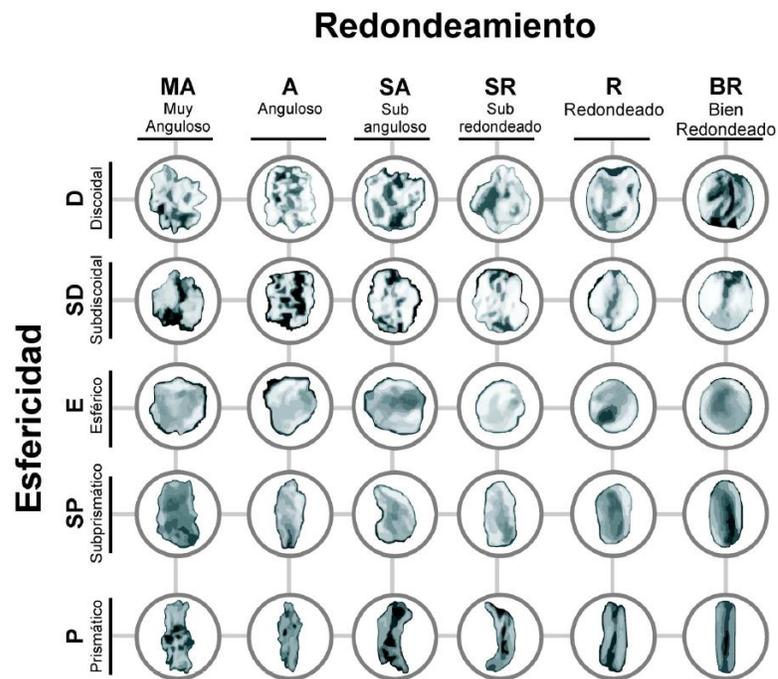
<b>Principales tipos</b>	<b>Subtipos</b>	<b>Origen de clastos</b>
<b><i>Brechas y conglomerados epiclásticos</i></b>	Extraformacional	Descomposición de rocas antiguas de cualquier tipo a través de procesos de meteorización y erosión: depositación por flujos de fluidos (agua, hielo) y flujos de sedimentos por gravedad.
	Intraformacional	Fragmentación penecontemporánea de lechos sedimentarios débilmente consolidados; depositación por fluidos y flujos de gravedad de sedimentos.
<b><i>Brecha volcánica</i></b>	Brecha piroclástica	Erupciones volcánicas explosivas, ya sean magmáticas o freáticas depositadas por caída o flujos piroclásticos.
	Autobrecha	Destrucción de lava viscosa y parcialmente endurecida debido al movimiento continuo de la misma lava.
	Brecha hialoclástica	Fragmentación de lava debido al contacto con el agua, nieve o sedimentos saturados de agua.
<b><i>Brecha cataclástica</i></b>	Brecha por deslizamiento o derrumbe	Ruptura de roca por esfuerzos de tracción e impacto durante el deslizamiento y desprendimiento de masas rocosas.
	Brecha tectónica: por fallamiento, plegamiento o trituración	Ruptura de rocas frágiles como resultado de movimientos de la corteza terrestre.
	Brecha de colapso	Ruptura de roca frágil por colapso en una abertura creada por una solución u otros procesos.
<b><i>Brecha de disolución</i></b>		Fragmentos insolubles que permanecen tras la disolución de material más soluble; por ejemplo, clastos de chert concentrados por solución de caliza.
<b><i>Brecha de impacto de meteorito</i></b>		Ruptura de roca por impacto de meteorito.

## Textura

La textura de las brechas y conglomerados se define básicamente por el contenido de matriz, la fábrica de soporte, la forma y orientación de clastos.

Dependiendo de los procesos de depositación, la grava de conglomerados y brechas pueden estar soportados por matriz (debido a flujos de sedimentos por gravedad), o pueden ser clasto soporte (por procesos de transporte y depositación de alta energía).

Las formas y orientaciones de las partículas de los conglomerados son muy importantes en la definición de su textura, ya que pueden ayudar a inferir aspectos como distancia y tipo de corriente de transporte. Asimismo, la esfericidad de los clastos está relacionada con la modificación por transporte y abrasión, posterior al desprendimiento desde de la roca madre. La relación de la forma de clasto determinada por el redondeamiento y la esfericidad para caracterizar los clastos como parte de la textura de brechas que se consideran en el presente trabajo se muestra en la siguiente Figura 8.



*Figura 8. Tabla comparativa para la caracterización de grado de redondez y esfericidad de clastos. Fuente: Corbí y Martínez (2015).*

## **Clasificación por litología de clastos**

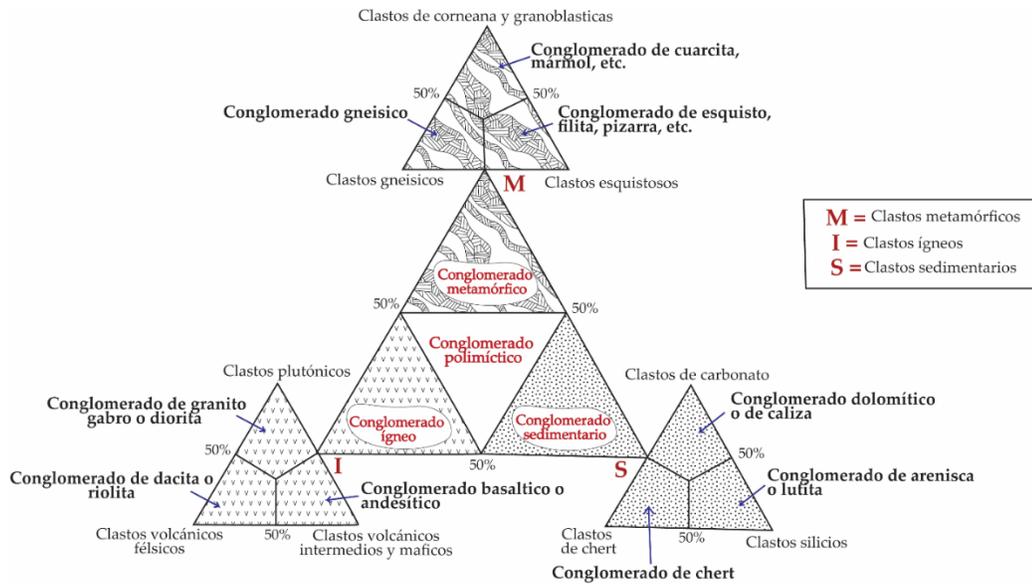
Uno de los sistemas de clasificación considerados en el presente trabajo y de relevancia, corresponde con la clasificación de brechas y conglomerados por la composición de sus clastos, esto debido a su relación con la composición de su roca madre.

La clasificación por litología de clastos propuesta en Boggs (2006) consiste inicialmente en la separación composicional de cada uno de sus componentes. La abundancia relativa de los distintos tipos litológicos se hace mediante un recuento e identificación visual de clastos (admitiendo que la subjetividad puede generar un sesgo).

Una vez esto, se normalizan las cantidades a los tres tipos de roca fundamentales (ígneos, metamórficos y sedimentarios) constituyentes del diagrama clasificatorio mostrado en la Figura 9. Dicho diagrama se divide en cuatro campos clasificatorios de tipos de conglomerados: metamórficos, ígneos, sedimentarios y polimícticos. El término polimíctico puede aplicarse de manera general e informal a todos los clastos que tienen litología mixta entre los tipos ígneos, metamórficos y sedimentarios.

Por último, para definir el nombre composicional específico del conglomerado o brecha, se deben normalizar nuevamente sus componentes a un 100% para colocar dichos valores en los diagramas triangulares secundarios (a excepción del polimíctico).

Cabe destacar que en esta clasificación aplica tanto para una brecha clasto soportada o matriz soportada, no hace distinción entre matriz y se centra en la composición de los clastos.



**Figura 9.** Clasificación de conglomerados y brechas basado en la litología de clasto. **Fuente:** modificado de Boggs (2009).

### **Análisis geoestadístico de rocas sedimentarias (brechas)**

El análisis que se desarrolla en el presente trabajo es de tipo geoestadístico descriptivo univariable el cual se basa fundamentalmente en información extraída de datos discretos o continuos a partir de la textura de rocas sedimentarias definido por la composición, formas, disposición y tamaño de clastos de las brechas. Lo cual, además de ser de suma importancia para un análisis paleoambiental, es una característica fundamental de las rocas sedimentarias que permite determinar correlaciones o diferencias entre las rocas estudiadas entre los puntos de estudio. Tal como menciona Boggs (2009), la textura sedimentaria engloba tres propiedades fundamentales: el tamaño de grano, la forma y el empaquetamiento u orientación de clastos. Las cuales se evaluarán en este escrito.

Boggs (2009) incluye como parte de los métodos de análisis gráficos de tamaños de grano al histograma el cual lo define como un diagrama de barras construido trazando la frecuencia a lo largo de la ordenada y el tamaño Phi de cada clase de tamaño a lo largo de la abscisa. Sin embargo, destaca que la forma de esta representación se ve afectada su forma por los tamaños de phi seleccionados. Por lo que se añaden otros elementos como un suavizado con una curva de frecuencia, la cual conecta los puntos medio de cada clase de tamaño en un histograma con una línea.

Sin embargo, Boggs (2009), recalca que la granulometría media de una gran cantidad de datos no puede determinarse con exactitud de manera visual en los gráficos, por tanto, se recurre a incluir valores generados a partir de expresiones matemáticas que facilitan el tratamiento geostadístico de la distribución de los datos granulométricos.

Antes que todo, es indispensable conocer el valor de Phi ya que corresponde con la base para realizar los análisis. Al convertir todos los datos Phi, se genera una escala logarítmica que permite manejar mejor las diferencias de tamaños de las distintas fracciones, este valor se obtiene de la siguiente manera:

$$Phi (\varnothing) = -\log_2 S \quad [1]$$

Donde S es el tamaño de grano (diámetro o eje mayor) en milímetros.

“La moda es el tamaño de partícula que se da con mayor frecuencia en una población de granos. El diámetro modal corresponde al diámetro de los granos representado por el pico de una curva de frecuencia o el punto más empinado de una curva acumulativa. La mediana representa el punto medio de la distribución del tamaño de los granos, corresponde al diámetro del percentil 50 de una curva acumulativa” (Boggs, 2009).

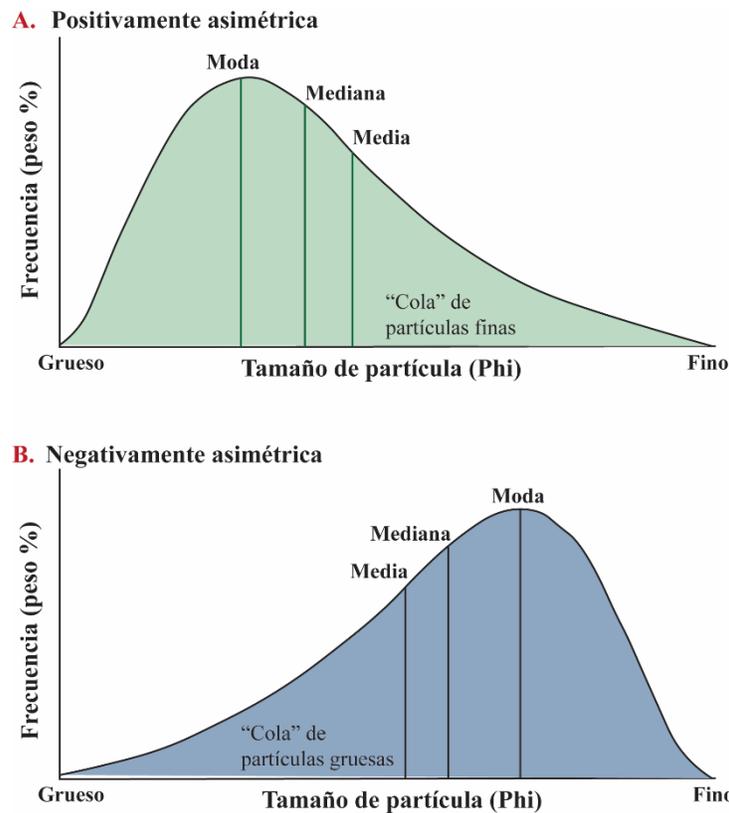
El sorteo de una población de granos es una medida de la gama de tamaños de grano presentes y de la magnitud de la dispersión de estos en torno al tamaño medio. La expresión matemática de esta clasificación, mostrada específicamente en la Tabla III, corresponde con la desviación estándar de Phi, la cual en estadística convencional abarca aproximadamente el 68% del área bajo la curva de frecuencia.

*Tabla III Clasificación del sorteo a partir de valores de desviación estándar de Phi.*

<b>Desviación estándar de Phi</b>	<b>Clasificación del sorteo</b>
< 0.35	Muy bien sorteado
0.35 a 0.50	Bien sorteado
0.50 a 0.70	Moderadamente bien sorteado
0.70 a 1.00	Moderadamente sorteado
1.00 a 2.00	Pobrementemente sorteado
2.00 a 4.00	Muy pobrementemente sorteado
> 4.00	Extremadamente mal sorteado

**Fuente:** Boggs (2009).

Por último, se considera la asimetría como medida adicional de la clasificación granulométrica que refleja la clasificación en las colas de la distribución, siguiendo a Boggs (2006). Se propone la realización de una curva de frecuencias para analizar las distribuciones granulométricas la cual permite determinar que, si con los resultados del tamaño de granos en dicha curva se genera una asimetría positiva, es un indicador de predominancia de granos gruesos con presencia de algunos finos y si, por el contrario, se obtiene una asimetría negativa corresponde con una mayor cantidad de granos finos con presencia de algunos gruesos. Lo anterior se comprende mejor en la representación de curvas de frecuencias de tamaños de granos mostradas en la Figura 10.



**Figura 10.** Ejemplificación de curvas de frecuencia granulométrica que muestra la diferencia entre **A:** asimetría positiva (fina) y **B:** asimetría negativa (gruesa).

**Fuente:** modificado de Boggs (2009).

Para obtener los valores de análisis matemático de tamaños de grano se deben seguir las siguientes expresiones:

**Valor de la media**

$$x = \frac{f * m}{n} \quad [2]$$

**Desviación estándar**

$$\sigma = \sqrt{\frac{f * (m * x)^2}{100}} \quad [3]$$

**Asimetría**

$$Sk = \frac{f * (m * x)^3}{100^3} \quad [4]$$

Donde: “*f*” corresponde con la frecuencia (peso en %) en cada grado de tamaño de grano presente, “*m*” es el punto medio de cada grado de tamaño de grano en valores *Phi* y “*n*” es el número total de granos o clastos en la muestra.

***Arquitectura estratigráfica-definición de petrofacies (estudio de fracciones arenosas)***

Los sedimentos derivados de distintas fuentes que pasan a ser arenisca pueden mostrar litologías contrastantes o mezclas de distintos tipos de procedencias, ya que es común que se conecten patrones de dispersión sedimentaria en cuencas de configuración compleja, como menciona Dickinson (1988). Por tanto, se destaca la importancia de la definición de petrofacies, lo cual va a permitir un control estratigráfico que revele las condiciones geodinámicas estructurales y morfológicas de los sistemas depositacionales de cada sección en estudio y esto a su vez, complementa la interpretación de los resultados de fuentes de proveniencia.

Para lograr un análisis íntegro de datos petrográficos macroscópicos, microscópicos y estratigráficos de las secciones con materiales gruesos de la Fm. Puerto Carrillo, se considera la definición de petrofacies presentada por Obrist-Farner y Yang (2017), quienes se basan en relaciones cualitativas y composicionales, así como parámetros cuantitativos físicos de sus constituyentes.

La incidencia de factores como la distancia de transporte, intensidad de desgaste físico y químico, el relieve topográfico, procesos de modificación diagenética y las condiciones paleoclimáticas son los que específicamente pueden complicar la interpretación de proveniencias, por lo que Obrist-Farner y Yang (2017) y Díaz y Marensi (2020) lo abarcan por medio de los siguientes parámetros microscópicos:

- Clasificación composicional de areniscas pertenecientes a la matriz de brechas.
- Tamaño de grano. Parámetro de estudio basado en la media aritmética (MZ), desviación estándar ( $\sigma_1$ ) y asimetría estadística ( $Sk_1$ ).
- Porcentajes composicionales modales y de redondez para los granos detríticos a utilizar en la clasificación de areniscas y fuente de proveniencia, es decir, QFL y sus variables.

Todos estos parámetros son representados gráficamente en cada sección estratigráfica, en conjunto con la demás información recopilada en campo, lo cual permite ir reconociendo la sistemática de depositación de las unidades sedimentarias e identificar afinidades composicionales que es lo que permite la definición de las petrofacies.

Por tanto, en la presente investigación se considera a una petrofacies como la unidad de clasificación de las fracciones de menor tamaño, basada en la agrupación de los resultados petrográficos composicionales y físicos distintivos que permiten una asociación tanto a un proceso genético como a una fuente provisor de la unidad sedimentaria en estudio.

### ***Definición de litofacies y litotipos (estudio de fracciones gruesas: gravas)***

Díaz y Marensi (2020) destacan la importancia del control litológico que ejercen las fracciones gruesas en la constitución de unidades sedimentarias y posteriormente en la

información que pueden brindar para la determinación de variables paleoclimáticas, de meteorización química, modificaciones diagenéticas, tiempo y área geográfica de origen. Díaz y Marensi (2020) proponen hacer una evaluación de los clastos pertenecientes a conglomerados o brechas mediante cuadrículas aleatorias, a partir de las cuales se extraen los clastos y se registra su tamaño y composición, lo cual posteriormente permitirá el agrupamiento de litotipos según su significado genético y asociaciones para la interpretación en términos de procedencia.

Miall (1985) menciona que los perfiles estratigráficos verticales puntuales no son diagnóstico suficiente para el establecimiento de facies, ya que los depósitos corresponden con configuraciones geométricas que varían de manera tridimensional. La configuración arquitectónica de los depósitos sedimentarios establecida por distintos tipos de canales y tipos de depósitos, se encuentran a su vez gobernados por la variedad interdependiente de controles de sedimentación fluvial.

Según Miall (1985), un correcto estudio estratigráfico de unidades sedimentarias (microformas, mesoformas y macroformas) permite recabar información relacionada a los siguientes ocho elementos básicos determinantes de la arquitectura de depósitos: 1. Régimen climático, 2. Tectonismo en la cuenca, 3. Desarrollo de secuencias cíclicas, 4. Fuente de sedimentos, 5. Variaciones climáticas, 6. Transporte y energía, 7. Meteorización y 8. Patrones de complejos geomorfológicos determinantes de canales fluviales.

Para esto se deben describir satisfactoriamente las siguientes características propuestas por Miall (1985):

- Naturaleza del límite de superficies (plano, regular, erosional, gradual, curvo)
- Geometría externa: láminas, lentes, rellenos de canal.
- Geometría interna: estructuras sedimentarias, afectaciones mecánicas, secuencias verticales, superficies de erosión, interestratificación, paleocorrientes entre otros.
- Porcentaje composicional de clastos, así como de su redondez y tamaños de grano.
- Sorteó y madurez.

Por lo que, en el presente trabajo, lo anterior será aplicado a la mayor extensión y continuidad posible en los afloramientos de la Fm. Puerto Carrillo, esto con la finalidad de

abarcar todas las variaciones que se pueden obtener en la configuración estratigráfica de dichos depósitos, tanto macroscópicamente al definir litofacies como microscópicamente al correlacionar estas con las petrofacies.

### ***Fuentes composicionales de proveniencia geotectónica***

Dickinson (1970) en su trabajo de interpretación detrítica modal de grauvacas y arcosas, plantea el primer acercamiento composicional de areniscas en relación con información específica de proveniencia. Este autor utiliza seis parámetros semicuantitativos que figuran como la base de datos numérico-modales para la designación de tipos de rocas fuente.

Los análisis básicos de relación litología fuente y proveniencia, mantienen los tres ejes composicionales de diagramas para clasificación de areniscas (Figura 11), Q: (sumatorias de cuarzos y calcedonias) representante de la mayor estabilidad, F: (granos feldespáticos) corresponden con la mayor abundancia inestable de granos individuales y L: todos los granos líticos inestables. Dickinson (1970) a partir de estos tres componentes primarios deriva otros tres secundarios: C/Q, que es indicador de la tasa de estabilidad de una fuente de corteza estable; P/F, relación de feldespatos totales con plagioclasa, reflejo de plagioclasas y feldespatos alcalinos de la fuente y V/L, este parámetro revela el trazo del movimiento del lado F-L del diagrama contrastando fragmentos líticos volcánicos (V) con fragmentos variables inestables (L), (V) junto con (F) pertenecen a fuentes de rocas ígneas.

Para Dickinson y Suczeck (1979), el marco modal detrítico de suites de areniscas está influenciado fuertemente por el carácter sedimentario de proveniencia. La naturaleza de un proceso sedimentario dentro de una cuenca depositacional y el tipo de patrón de dispersión, está ligado a la proveniencia de la cuenca, la cual a su vez se encuentra gobernada por la tectónica. Por lo que dichos autores consideran que la utilización de datos actuales de areniscas provenientes desde marcos tectónicos con configuraciones conocidas proporciona estándares para evaluar los efectos composicionales. Es decir, se podría inferir una relación

entre las areniscas actuales con arenas antiguas, correlacionando tipos específicos de fuentes y cuencas asociadas con diversos regímenes de placas tectónicas.

Dickinson y Suczeck (1979) extienden y diversifican sus estudios de areniscas y arenas al analizar la petrografía de 88 suites pertenecientes geográficamente a distintos marcos tectónicos de proveniencia. Por ejemplo: Turbiditas del Pleistoceno de Canadá, Fm. Plateau de Colorado, Aleutianas de Canadá, Areniscas de Guatemala y Shimanto Terrane Cretácico de Japón, etc. Su objetivo principal correspondía con la obtención de un marco de referencia más preciso para la determinación de tipos de proveniencias.

Mediante las relaciones sistemáticas entre areniscas “tipo” representativas y derivadas de cuencas conocidas, fue posible correlacionar suites de areniscas con sus respectivas configuraciones tectónicas (Tabla IV). Sus marcos modales composicionales se basaron en los siguientes minerales indicadores: Q (cuarzo; Qm: monocristalino y Qp: policristalino), F (feldespatos + plagioclasa) y L (fragmentos líticos; Lv: tipos volcánicos y metavolcánicos, Ls: sedimentarios y metasedimentarios, Lt: fragmentos líticos; L: fragmentos líticos + Qp).

*Tabla IV. Resumen de indicadores composicionales de areniscas derivadas de las proveniencias geotectónicas.*

<b>Tipo de proveniencia</b>	<b>Configuración tectónica</b>	<b>Composición de la arenisca derivada</b>
<b><i>Cratón estable</i></b>	Interior continental o plataforma pasiva	Cuarzosas (ricas en Qt) con altas relaciones Qm/Qp y K/P.
<b><i>Basamento elevado</i></b>	Flanco de dorsal o ruptura transformante	Cuarzofeldespáticas (ricas en Qm-F) bajas en Lt y relaciones similares de Qm/F. Relación K/P similar a la de la fuente de aporte.
<b><i>Arco magmático</i></b>	Arco de isla o arco continental	Feldespatolíticas o volcanoclásticas (ricas en F-L), altas concentraciones P/K y Lv/Ls. Si hay intervención plutónica se hallan areniscas cuarzofeldespáticas (ricas en Qm y F).
<b><i>Orógeno reciclado</i></b>	Complejo de subducción o cinturón deformado de empuje	Arcosas líticas (ricas en Qt-Lt), bajas concentraciones F y Lv y variables Qm/Qp y Qp/Ls.

\* Qt: cuarzo total, Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, K: feldespatos potásicos, P: plagioclasas, Lt: líticos totales, Lv: líticos volcánicos, Ls: Líticos sedimentarios, F: feldespatos.

**Fuente:** basado en Dickinson (1985).

Las suites de areniscas fueron proyectadas en cuatro diagramas triangulares complementarios, con diferentes énfasis entre sí: estabilidad, meteorización, relieve de proveniencia, mecanismo de transporte, así como fuente de roca. Los resultados obtenidos fueron las agrupaciones de suites de areniscas con las mismas proveniencias tectónicas ya conocidas, definiendo de esta manera sectores con afinidades mineralógicas similares dentro de cada esquema triangular.

La clasificación de las proveniencias con sus respectivas derivaciones fue definida dentro de los siguientes tres grupos principales:

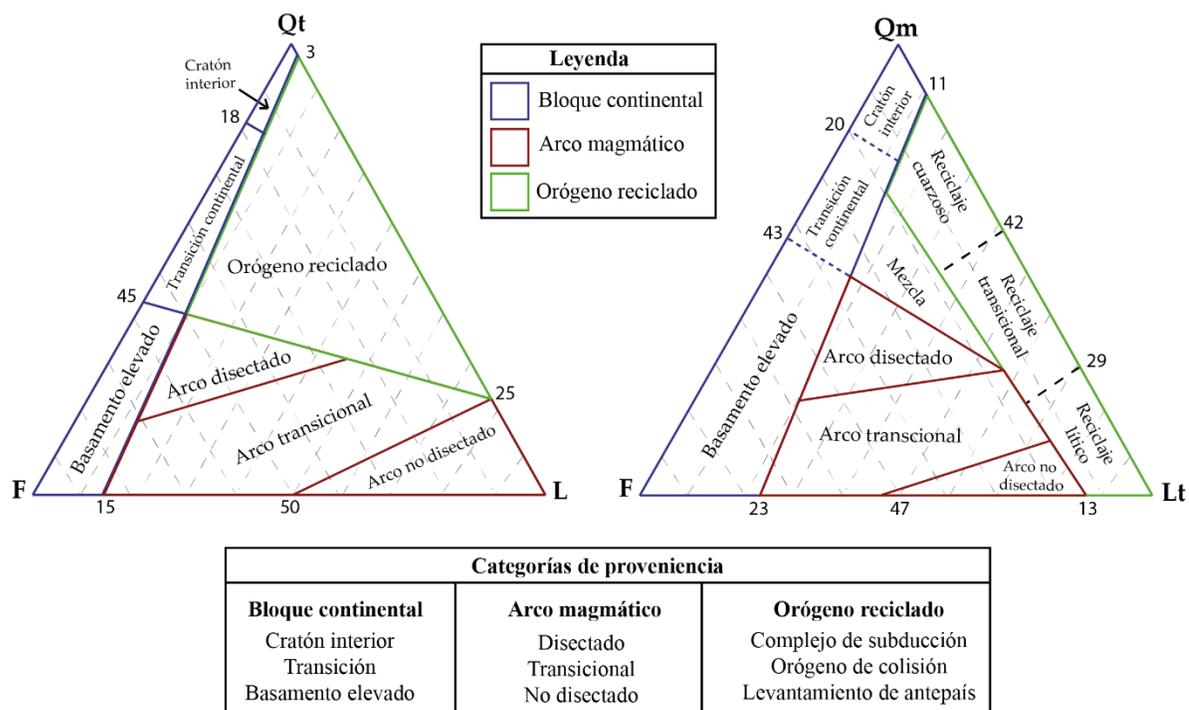
1) Bloque continental: para el cual la fuente de sedimentos son escudos, plataformas o bloques de basamento fallados.

2) Arco Magmático: sus fuentes están dentro de orógenos, arcos de islas activos o márgenes continentales activos.

3) Orógenos reciclados: las fuentes corresponden con secuencias estratigráficas elevadas y deformadas que se encuentran a lo largo de zonas de subducción, orógenos de colisión o dentro de cinturones plegados por deformación de antearco.

Es a partir de esto, que se definen los modelos ternarios mineralógicos base para análisis clasificatorios de determinación de la fuente general de proveniencia (Figura 4). Los cuales han estado bajo objeto de valoración y validación (Basu et al. (1975); Dickinson et al. (1983); Dickinson (1988) y modificaciones principalmente composicionales (Dickinson (1985)). Y se han utilizado con enfoques aplicados (Allen y Johnson (2010)), complementarios (Amireh (2018); Cortés et al. (2019); Javidan et al. (2015); Limarino y Giordano (2016); Michaelsen y Henderson (2000); Regadas de Carvallo et al. (2018) y para la determinación de proveniencia como tal (Ekwenye et al. (2015); Díaz y Marensi (2020); Marensi, Net y Santillana (2002); Okoro, Igwe y Nwajide (2016)).

En el presente trabajo se utilizarán los diagramas de la Figura 11, como marcos de referencia para el análisis de proveniencia.



**Figura 11.** Diagramas ternarios de proveniencia: marcos de referencia geotectónica para valores modales de componentes L-Lt-Qt-Qm-F de areniscas. **Fuente:** basados en Dickinson et al. (1983).

Basu et al. (1975) en su trabajo de re-evaluación del uso de la extinción ondulatoria y policristalinidad en el cuarzo detrítico para la proveniencia, basado en medidas de ángulos de ondulosidad, birrefringencia y con un enfoque en cuarzos plutónicos y metamórficos, consideran que la utilización de estos detritos tiene algunas limitaciones y debe considerarse el conocimiento de los principales factores de afectación a la ondulosidad y policristalinidad. Una excepción a este método correspondió con el estudio de tipologías de cuarzo como indicadores de la procedencia de areniscas de Tortosa et al. (1988).

A partir de metodologías de observación de cuarzos detríticos, se identifican los distintos tipos de cuarzos mostrados en la Tabla VI. Cabe destacar que en dicha clasificación se excluyen las variedades específicas de detritos correspondientes a sistemas de regímenes metamórficos como los identificados por Ciccioli et al. (2014) y otros detritos modificados por efectos glaciales. Para el presente estudio solo se consideran los componentes generales y necesarios para la definición de las zonas de los diagramas de interés.

*Tabla V. Nomenclaturas detríticas para clasificación composicional y de procedencia de areniscas. Fuente: Basado en Obrist y Yang (2017).*

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso
	Qu	Monocristalino -onduloso
	Qp	Policristalino
	Qm	Microcristalino
	Qc	Calcedonia
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos
	P	Plagioclasa
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos
	Lvv	Vítreos
	Lvl	Basálticos
	Lvm	Microlítico
	Lvt	Traquítico
	Lva	Amigdaloides
	Lvs	Tobáceos
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs
	Lsm	Sedimentario
	Lsh	De lutita
	Lsc	De carbonato
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc
	Lm	Metamórfico
<i>Parámetros para la clasificación de areniscas</i>		
<b>Mineral de referencia</b>	<b>Componentes</b>	
<b>Q</b>	Qnu+Qu+Qp+Qc	
<b>F</b>	K+P	
<b>L</b>	Lv+Ls+Lm+Qm	
<i>Parámetros para la clasificación de configuración tectónica de proveniencia</i>		
<b>Mineral de referencia</b>	<b>Componentes</b>	
<b>Qt</b>	Qnu+Qu+Qp+Qm+Oc	
<b>Qmo</b>	Qnu+Qu	
<b>Qpo</b>	Qp+Qm+Qc	
<b>F</b>	K+P	
<b>L</b>	Lv+Ls-Lsc-Lsm	
<b>Ls</b>	Ls-Lsc-Lsm	
<b>Lt</b>	L+Qpo	

## **METODOLOGÍA**

---

La metodología del presente trabajo sigue un enfoque tipo práctico – descriptivo y de análisis estadístico, el cual se desarrolla en tres fases principales de las cuales se generan subfases consecutivas, abarcando trabajo de campo con levantamiento estratigráfico y descripción general de los afloramientos hallados, seguido de la fase de procesamiento de muestras macroscópicas y descripción de muestras petrográficas, culminando con el análisis estadístico y determinación de la petrofacies.

Inicialmente se realizó una indagación documental de información referente a los antecedentes descriptivos de la Formación Puerto Carrillo, respecto a su configuración estratigráfica, fuentes de constitución litológica, proveniencia y demás información geológica registrada previamente por otros autores, esto con la finalidad de contextualizar y preparar la primera fase de investigación correspondiente con el trabajo de campo, así como su desarrollo logístico.

### **I Fase: Trabajo de Campo**

Como se muestra en la Figura 1, los depósitos brechosos de la Formación Puerto Carrillo se encuentran distribuidos en la península de Nicoya, área donde se realizó, en puntos específicos el trabajo de campo y de donde se extrajeron las muestras de rocas para su análisis posterior.

Los afloramientos registrados previamente por otros autores fueron considerados con la intención de abarcar la mayor cantidad posible de sitios y de esta manera recabar, asimismo, la mayor cantidad de datos en cuanto a su disposición estratigráfica y registro litológico. Como se muestra en la Figura 2, se trabajó en afloramientos específicos que se ubican dentro de las hojas geológicas Matambú, Venado, Tambor, Golfo y Cerro Azul.

El trabajo de campo se desarrolló en las siguientes dos subetapas I.A y II.B.

#### ***I.A. Obtención de la constitución litológica***

En primera instancia se realizaron descripciones a detalle de los afloramientos, además, en los casos donde fue posible, se hizo énfasis en la constitución y arquitectura de

las brechas mediante el levantamiento de secciones estratigráficas a detalle. Para esto, se consideraron como elementos descriptivos básicos los siguientes: descripción general de afloramiento, espesores de capas, tamaño y tipo de grano, estructuras sedimentarias, presencia de fósiles, descripción y clasificación de roca, relación granos-matriz, selección, madurez, relación grano-grano, grado de consolidación, cementación, meteorización, buzamiento, particularidades litológicas de cada afloramiento y demás características mencionadas en la Metodología como requerimientos para la determinación de arquitecturas estratigráficas y definición de petrofacies.

La cantidad de columnas estratigráficas que se documentaron por afloramiento dependió de la extensión lateral y vertical registrando la descripción arquitectónica del depósito en cada sección de la manera más completa posible.

En los casos en donde no fue posible el levantamiento de una sección estratigráfica como tal, por razón de la exposición y disposición de las rocas, se describió solamente el afloramiento según sus condiciones y se tomaron muestras para realizar secciones delgadas.

### ***1.B. Recolección de muestras***

Una vez descrita la constitución litológica en cada sitio, en los casos donde se hallaron afloramientos aislados y/o limitados y dependiendo de la calidad de estos, según el grado de meteorización, se tomaron de una a tres muestras con tamaño aproximado de al menos 10 cm x 10 cm, esto con la finalidad de realizar secciones delgadas y tener respaldo de estas.

En los casos donde fue posible realizar secciones estratigráficas, se extrajeron muestras de las unidades diferenciadas como constituyentes que podrían figurar posterior al análisis, como facies específicas. Dichas muestras se extrajeron con tamaño de al menos 10 cm x 10 cm y debían cumplir con un alto grado de consolidación para poder crear las secciones delgadas.

Las brechas constituyentes de la Fm. Puerto Carrillo propiamente, se encuentran en estratos amalgamados y muy consolidados, por lo que la mejor manera de analizar en conjunto su constitución completa (clasto - matriz) es por medio de petrografía microscópica, en algunos casos, donde se halló un grado de consolidación menor en una unidad o estrato

específico, se delimitó una cuadrícula demarcando con una cinta distintiva un área de 1 m x 1 m como la mostrada en la Figura 12 o bien, de 50 cm x 50 cm (según su extensión), de la cual se extrajeron los clastos mayores a 10 cm y se registró *in situ* la composición, tamaño, redondez, características especiales que se encuentren en cada clasto.

A partir de esta demarcación cuadricular (Figura 12) también se extrajeron, muestras de gravas (menores a 10 cm en conjunto con matriz) para el estudio composicional y textural posterior, detallado en la siguiente “sección de procesamiento de muestras”.



*Figura 12. Cuadrícula de análisis de brecha in situ ubicada cerca del estratotipo en 1091205.238 N / 337331.249 E.*

## **II Fase: Procesamiento de muestras**

A partir del trabajo de campo, se obtuvieron dos tipos de materiales, uno corresponde con el extraído de las cuadrículas de estudio demarcadas, el cual contiene varias fracciones de clastos, incluyendo las fracciones finas constituyentes de la matriz. El otro tipo de material, hace referencia a las muestras de mano correspondientes con rocas ígneas, o sedimentarias, pero con un grado de consolidación que permite la creación de secciones delgadas.

A continuación, se especifican los detalles de cantidades de muestras, codificaciones, ubicación y procesamiento realizado a cada una de las muestras correspondientes a los dos tipos de materiales de rocas procesados.

### ***Muestras de material inconsolidado extraído de cuadrículas de estudio***

En total, se analizaron siete cuadrículas *in situ*, codificadas como PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 las cuales se ubicaron en afloramientos pertenecientes al estratotipo. Las muestras PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 pertenecen a un afloramiento en Quebrada Bonita de Santa Elena de Belén de Nosarita (1106020.978 N / 336635.847 E). Para el caso de PC3-D2-A2 y PC3-D2-A2.1 su ubicación corresponde con Playa Muertos (107803.653 N / 391199.066 E) y por último, la muestra PC3-D3-A1 se estudió de Playa Órganos (1085414.529 N / 401884.756 E).

Posteriormente, a partir del material extraído de las cuadrículas, se procedió a la separación de los componentes clásticos de cada material brechoso en 5 fracciones de tamaño. Para esto el proceso inició con la colocación de las muestras en un recipiente con agua, esto con la finalidad de disgregar sus componentes.

Seguidamente, las muestras se tamizaron en fracciones de grava media (diámetro de 9.5 mm, tamiz N°3/8”), grava fina (diámetro de 2 mm, tamiz N°10), arena gruesa (diámetros de 0.850 mm, tamiz N°20), arena gruesa (diámetro de 0.250 mm, tamiz N°60) y arena fina (diámetro de 0.150 mm, tamiz N°100) correspondiente con las clasificaciones posteriores a Wentworth (1922) detalladas en The Planetary Society (2022) como grava media, grava fina, arena gruesa, arena media y arena fina respectivamente.

La fracción de gravas de 9,5 mm a 2 mm fue analizada macroscópicamente con ayuda de lupa, y se analizó la totalidad de la cantidad de clastos de cada muestra, dicho análisis consistió en la determinación del tamaño del eje mayor y menor de cada clasto, así como la esfericidad y redondez (Figura 8), el grado de meteorización y la composición – clasificación litológica. A partir de las fracciones de grava media con tamaño de 9.5 mm y hasta arena fina (0.150 mm), su estudio se realizó a través de la observación de 250 granos por cada fracción, utilizando el microscopio estereoscópico, (Figura 13), con la finalidad de determinar la variedad de tipos de litologías y cuáles son los componentes litológicos y/o minerales correspondientes.



*Figura 13. Proceso de análisis de clastos menores a 9.5 mm utilizando estereoscopia.*

Cabe destacar, que de las siete muestras estudiadas en campo y de las cuales se extrajo material, no todas completaron el proceso de análisis de las 6 fracciones de tamaños, ya que se encontraron 2 muestras de material brechoso con un grado de meteorización tan alto que se pudieron observar los remanentes mayores a 10 cm en campo, sin embargo, el resto de componentes de la matriz se disgregó completamente posterior al tratamiento con agua, correspondiendo en su totalidad con limos y arcillas.

### ***Muestras de roca con tamaños aproximados de 10 cm x 10 cm***

Estas muestras, corresponden con las rocas extraídas de las unidades conformantes de las secciones estratigráficas detalladas en campo, o bien de los remanentes litológicos hallados en los casos de afloramientos limitados.

En total, se extrajeron 52 muestras de este tipo en campo, sin embargo, de estas, se seleccionaron las rocas con el grado más alto de consolidación y más bajo de meteorización, de manera que se asegurara la preparación de secciones delgadas de la mejor calidad posible al ser enviadas al Laboratorio de Petrografía de la Escuela Centroamericana de Geología. Asimismo, se determinaron muestras con características distintivas como, por ejemplo, contacto entre unidades, variaciones en los tipos de brechas, proporción matriz-clasto en la medida de lo posible equitativo, esto para el estudio y descripción tanto de clastos como del análisis y conteo de minerales indicadores de la matriz. Por lo que, a partir de dicha selección, se generaron 32 secciones delgadas, continuar con el procesamiento de descripción petrográfica a detalle y clasificatorio de este tipo de muestras a partir de observaciones bajo el microscopio de luz polarizada.

La ubicación geográfica y codificación de cada una de las muestras correspondientes con las secciones delgadas, se encuentran detalladas en la sección “II.B. RESULTADOS PETROGRÁFICOS” en donde se muestran los resultados de cada muestra analizada según los puntos de estudio.

De acuerdo al tipo y la composición litológica de las muestras obtenidas, se agruparon en tres secciones y se siguieron los siguientes formatos para sus descripciones:

### **Brechas de origen sedimentario**

Para las rocas con este tipo de litología la descripción se realizó en dos fases, una correspondiente con la caracterización de la matriz, específicamente: porosidad, tamaños de grano, grado de redondez y disposición de minerales y clastos, madurez textural y composicional, presencia de fósiles, descripción de la composición mineralógica y de alteración, porcentaje de componentes clasificatorios, conteo de minerales indicadores establecidos en la Tabla V. y descripción general de la muestra, tanto macro como microscópicamente.

Para realizar el conteo de los minerales indicadores, dependiendo de la abundancia de matriz, se estudió toda la cantidad posible de campos de visión (Figura 14) en una magnificación de 20X en un microscopio de luz polarizada convencional marca Nikon Eclipse E400 pol y dentro de estos campos visuales se contó la totalidad de minerales indicadores libres en la matriz, contabilizándose en promedio 169 minerales por muestra.

Una vez realizados los conteos de puntos de cada sección delgada analizada de areniscas y lutitas arenosas, se representaron los resultados de los tipos de cuarzos, feldespatos y lútricos en diagramas ternarios de Dickinson et al. (1983) para la ubicación de muestras en zonas clasificatorias de proveniencia geotectónica. Los diagramas ternarios de zonas de proveniencia son generados utilizando el software libre estadístico *Rstudio*, específicamente los diagramas *QtFL for provenance* y *QmFLt for provenance* del paquete desarrollado por Garnier-Villareal (2022).



**Figura 14.** Ejemplo de esquema de campos de visión de análisis para la identificación y clasificación de minerales en la matriz de la muestra de brecha D2-PC-U4.1 en sección delgada.

La segunda fase del este análisis de brechas de origen sedimentario correspondió con la descripción conteo y clasificación a detalle de cada uno de los clastos según el apartado de “*Clasificación de rocas ígneas*” del marco teórico.

### **Brechas de origen volcánico**

Para este tipo de brechas se realizó una descripción completa de la muestra, considerando especificaciones de la matriz, su abundancia y la de los clastos, así como el detalle de su composición, sin embargo, el tipo de matriz de estas rocas al no ser de origen sedimentario, no se encuentran en las mismas condiciones, ni con los componentes requeridos para una clasificación de la Tabla V.

Los clastos constituyentes de la muestra fueron descritos individualmente, los reconocibles y con extensión de al menos 3 campos de visión fueron clasificados según sus

composiciones modales y diagramas de clasificación considerados en el presente proyecto de investigación.

### **Muestras de origen diverso**

Los otros tipos de muestras registradas, tales como lutitas, areniscas e hipoabisales se describieron de manera general, considerando la disposición de sus componentes, tamaños de grano, texturas particulares, así como la composición modal de estas para su clasificación según su litología y los sistemas contemplados en las secciones de clasificación en el marco teórico del presente escrito. La totalidad de las muestras también fueron registradas gráficamente a través de microfotografías y escaneado completo de sección.

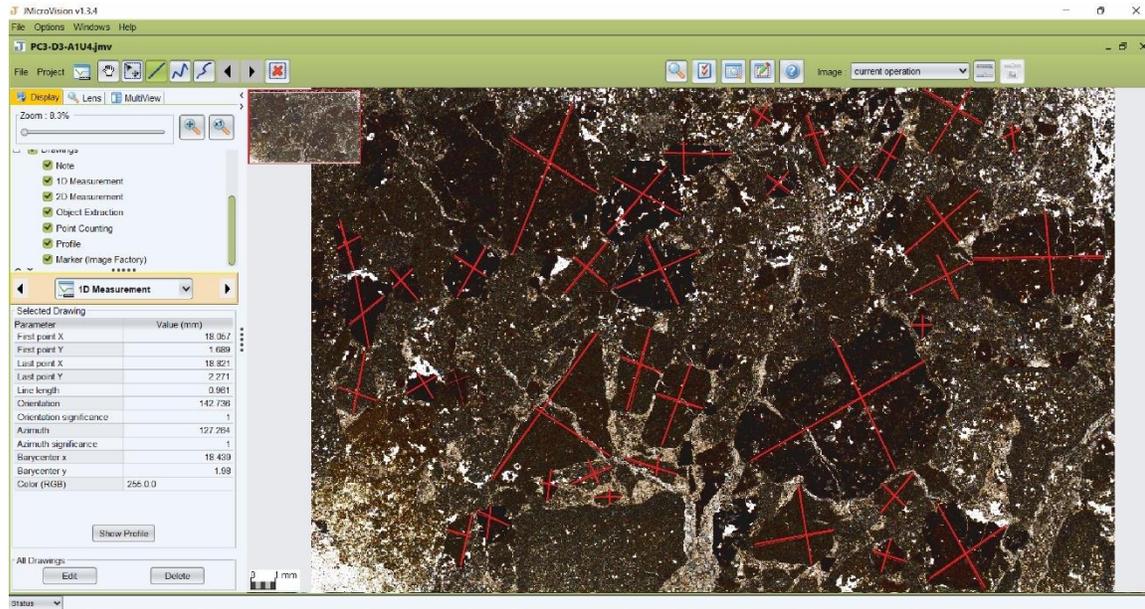
## **III Fase: Análisis de resultados**

### ***III.A. Análisis geoestadístico y definición de petrofacies***

Para el caso de las brechas, partir de los registros de secciones delgadas escaneadas, fue posible el conteo de tamaños de granos y clastos para la determinación de sus clasificaciones y caracterización determinado por valores matemáticos y representaciones estadísticas.

En dicho proceso se utilizó como apoyo, el *software* de análisis digital “*JMicrovision*”, en el cual se introdujeron cada una de las imágenes correspondientes con brechas. Inicialmente se configuró su escala, así como la función “1D Measurement” se midió y registró el eje mayor y menor de cada uno de los clastos (Figura 15). Lo cual permitió la creación de las curvas de frecuencias y obtención los valores matemáticos (media, desviación estándar y coeficiente de asimetría) contemplados para la clasificación utilizada en la presente investigación.

Asimismo, con cada una de las brechas registradas en secciones delgadas, se realizó una clasificación composicional y textural a través del microscopio convencional, lo cual ha sido representado en gráficos composicionales y texturales en la sección de análisis geoestadístico.



*Figura 15. Ejemplo de parte del proceso de medición de clastos de la muestra PC3-D3-A1U4 utilizando en el software JMicrovisión.*

A partir de las descripciones de las secciones delgadas, se hace una clasificación de litotipos según características petrográficas texturales y composicionales. Asimismo, se realiza el análisis geoestadístico de cada muestra de brechas que contempla la clasificación litológica, así como valores de análisis matemático (valor de la media, desviación estándar y valor de asimetría) y clasificaciones del sorteo y asimetría granulométrica. Estos resultados se integran con las descripciones de elementos estratigráficos registrados en campo, mediante una matriz organizada por composiciones, estructuras, tipos de depósitos y demás tendencias identificadas, con la finalidad de reconocer características comunes entre depósitos para el establecimiento de litofacies y petrofacies.

## CAPÍTULO II: RESULTADOS

---

### II. A. CONSTITUCIÓN FÍSICA – ESTRATIGRAFICA

En el área de estudio, la Formación Puerto Carrillo se encuentra en exposiciones puntuales, de poca extensión, los cuales no sobrepasan, los 155 metros continuos (aproximados por ubicación de puntos GNSS- considerando buzamiento aparente) y 278 metros con afloramientos discontinuos (aproximados por ubicación de puntos GNSS). Por esta razón los puntos de estudio se subdividieron por su ubicación en las hojas topográficas referentes. Cabe destacar que el presente estudio se centró en los afloramientos cercanos al estratotipo, cercanos entre sí y accesibles en el sector de la Península de Nicoya.

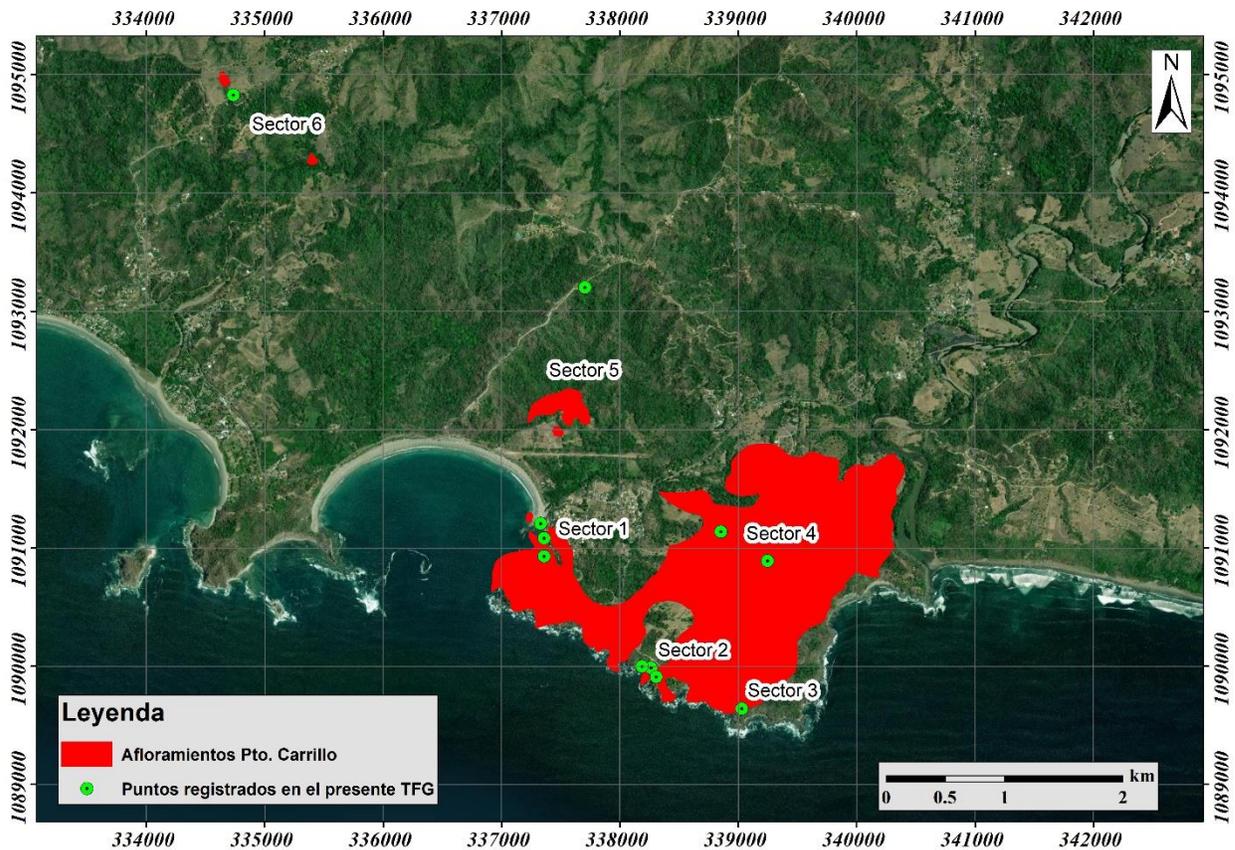
De acuerdo con los registros y según los hallazgos de estos en campo, se encontraron cuatro afloramientos completando una sección estratigráfica con varias unidades conformantes as cuales contienen depósitos brechosos, sin embargo, también se hallaron afloramientos de brechas aisladas, remanentes o bien, no se halló afloramiento rocoso como tal, por lo que en esta unidad se describen a continuación también la constitución física hallada.

Vale la pena retomar, de manera sucinta, que el trabajo de campo consistió inicialmente en la verificación y registro del punto de ubicación (coordenadas) de cada afloramiento, descripción general del afloramiento, así como la caracterización litológica.

Los sitios de estudio, divididos por sectores, tal como se presenta a continuación, fueron registrados en el presente estudio como puntos específicos, sin embargo, se denominan sectores, ya que se observaron los alrededores de dichos afloramientos en busca de la totalidad de la extensión y consideración de las condiciones de los afloramientos.

## *Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en la hoja topográfica Cerro Azul*

De acuerdo con los afloramientos registrados previamente en la hoja topográfica Cerro Azul, se organizaron los trabajos e indagación de campo, en seis sectores (Figura 16).



*Figura 16. Ubicación de afloramientos previos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en la hoja topográfica Cerro Azul, los cuales son destacados con color rojo. Fuente: elaboración propia considerando a Denyer et al. (2014). Metadatos: Datum CR05, época 2005.83. Proyección CRTM05.*

### **Sector 1**

El Sector 1, corresponde con el sitio establecido como estratotipo por Sprechmann (1982) en bahía Puerto Carrillo, formando parte de la costa y en el cual, se halló el afloramiento de mayor extensión con contenido brechoso y estratificado.

Como se observa en la Figura 16, en el Sector 1, se muestran tres puntos registrados, de los cuales, el que se encuentra al más al sur, localizado específicamente en las coordenadas 1090928.525 N / 337360.500 E, corresponde con el punto límite accesible desde bahía Puerto Carrillo y a su vez con la base de la sección estratigráfica aflorante, la cual se compone de basaltos dispuestos de manera masiva con apariciones esporádicas de brechas volcánicas conformadas por fragmentos de basaltos angulosos y subangulosos en una matriz verdosa correspondiente con vidrio volcánico alterado en una abundancia de aproximadamente un 3% (Figura 17).



**Figura 17.** Afloramiento del máximo punto accesible en el estratotipo y figurante como base de la sección estratigráfica. **17.A:** vista frontal dirección Este. **17.B:** vista lateral dirección Norte. **17.C:** dirección frontal vista Sur.

El siguiente punto que se observa intermedio en el Sector 1 de la Figura 16, corresponde con el punto final de la sección estratigráfica continua del estratotipo constituido por estratos amalgamados decimétricos de brechas finas y medias en contactos erosivos y gradacionales irregulares el cual se ubica específicamente en las coordenadas 1091082.180 N / 337361.181 E (Figura 18).



*Figura 18. Afloramiento de punto final del registro de sección estratigráfica continua en el estratotipo. 18.A: vista general dirección Sureste. 18.B: vista detalle de estratos brechosos.*

La configuración estratigráfica del afloramiento continuo del estratotipo se detalla a continuación en las columnas estratigráficas presentadas en las Figuras 19, 20 y 21.

Buzamiento predominante de secuencia : N46°W/20°

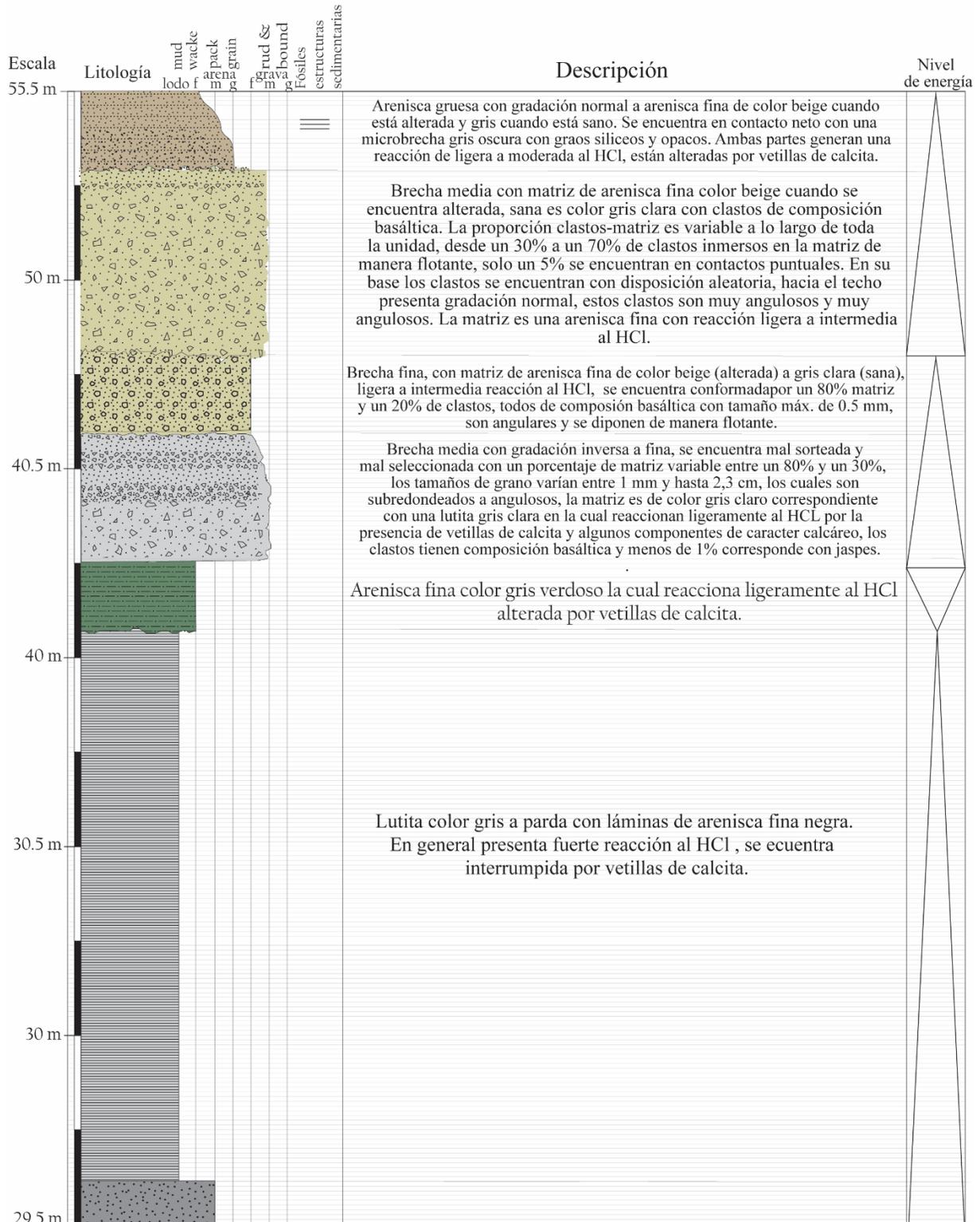


Figura 19. Techo de la sección estratigráfica estratotipo de la Formación Puerto Carrillo.



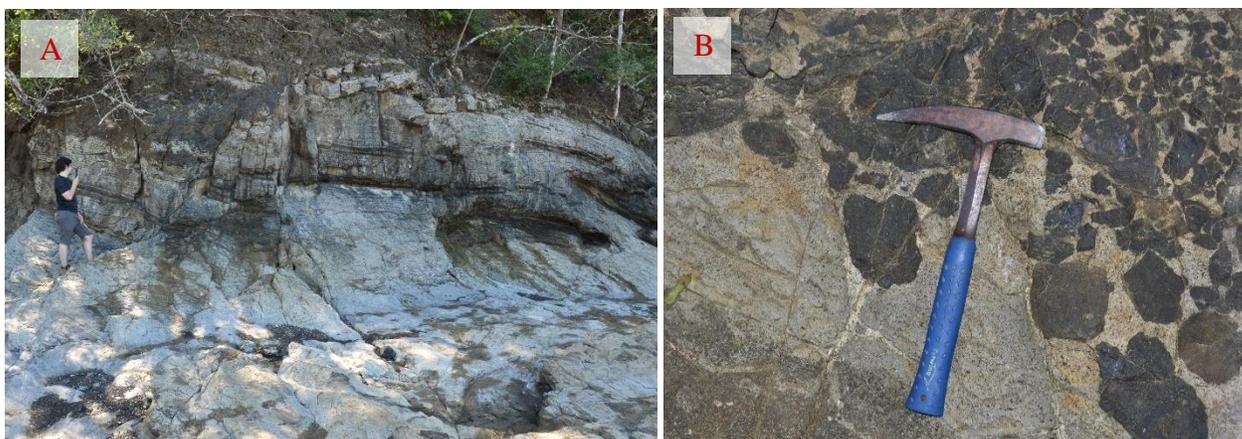
**Figura 20.** Parte media de la sección estratigráfica estratotipo de la Formación Puerto Carrillo.



El registro litológico inicial y final de la sección estratigráfica fue mostrado en las figuras 17 y 18. A continuación, en las Figuras 22 y 23, se muestran más detalles de la sección estratotipo representada previamente.



**Figura 22.** Afloramientos de unidades estratigráficas del estratotipo de Fm. Puerto Carrillo. **22.A:** fragmentos decimétricos de cherts rojos en autobrecha basáltica. **22.B:** contacto entre autobrecha y lutita calcárea. **22.C:** vista frontal de lutita calcárea. **22.D:** detalle de lutita gris parda con láminas negras. **22.E:** brecha fina calcárea (20% clastos – 80% matriz).



**Figura 23.** Afloramientos de unidades estratigráficas del estratotipo de Fm. Puerto Carrillo. **23.A:** observación general de secuencias superiores, lutita gris parda con láminas de arenisca negra. **23.B:** contacto entre brecha fina y brecha gruesa con gradación normal, y matriz calcárea.

En el punto ubicado al norte entre los tres del Sector 1, se observó un afloramiento discontinuo con respecto a la secuencia del estratotipo. Dicho afloramiento se extiende en aproximadamente 2.5 metros de altura y longitudinalmente a lo largo de 8 metros (ver Figura 24) y litológicamente corresponde con una autobrecha volcánica constituida aproximadamente en un 30% de matriz como máximo, esto considerando que su alto estado de meteorización puede afectar dicha estimación, la composición de esta es de vidrio muy alterado con coloraciones verdosas y fragmentos de decimétricos angulosos de basaltos.



**Figura 24.** Afloramiento aislado en las cercanías del estratotipo, ubicado en las coordenadas 1091205.238 N / 337331.249 E.

De manera discontinua, en dirección SW, exactamente, en la plataforma de la playa se encuentra nuevamente aflorante la misma litología correspondiente con la autobrecha volcánica de matriz verdosa de vidrio con fragmentos de lava, en general muy meteorizada (Figuras 25 y 26), se extiende a lo largo de 22 metros aproximadamente y es sobreyacida irregularmente en un contacto erosivo por intercalaciones de lutitas y areniscas finas de color beige-blancuzco de composición calcárea.



*Figura 25. Afloramiento discontinuo sobre plataforma de autobrecha volcánica sobreyacida por lutitas calcáreas en bahía Puerto Carrillo.*



*Figura 26. Detalle de autobrecha volcánica muy meteorizada sobre plataforma en las cercanías del estratotipo Puerto Carrillo.*

## Sector 2

Desde el Sector 1, se recorrió la sección expuesta hacia el Sureste, en este se confirmó que los tres puntos específicos registrados en el Sector 2, corresponden con afloramientos masivos de basaltos y basaltos en almohadilla y no con brechas (Figura 27).



*Figura 27. Afloramientos del Sector 2 de la hoja topográfica Cerro Azul. 27.A: Afloramiento de basaltos masivos. 27.B: exposiciones de basaltos en almohadilla altamente meteorizados.*

Buscando completar el área registrada como Fm. Puerto Carrillo en el SE del estratotipo, se indagó hacia el Sector 3, punto registrado como máximo acceso dentro de una propiedad privada en la que no halló más contenido brechoso.

## Sector 4

En el sector 4, se registraron dos puntos en los cuales las exposiciones litológicas observadas principalmente contiguo a las calles y como parte de estas, correspondieron a lutitas intercaladas con areniscas finas con coloraciones gris muy claro a blancuzcas y amarillentas blancuzcas de contenido calcáreo y muy fisibles (Figura 28).



*Figura 28. Exposiciones remanentes litológicas del Sector 4 de la hoja topográfica Cerro Azul.*

### **Sector 5**

Se destaca como afloramiento (área roja, Figura 16) hasta alcanzar el punto señalado al norte de dicho afloramiento, sin obtener resultados de la aparición de brechas.

### **Sector 6**

De igual manera, se recorrió la carretera desde Samara con dirección hacia Santo Domingo, en búsqueda de afloramientos brechosos, sin embargo, la litología hallada principalmente corresponde a basaltos que al meteorizar asemejan conglomerados (Figura 29).

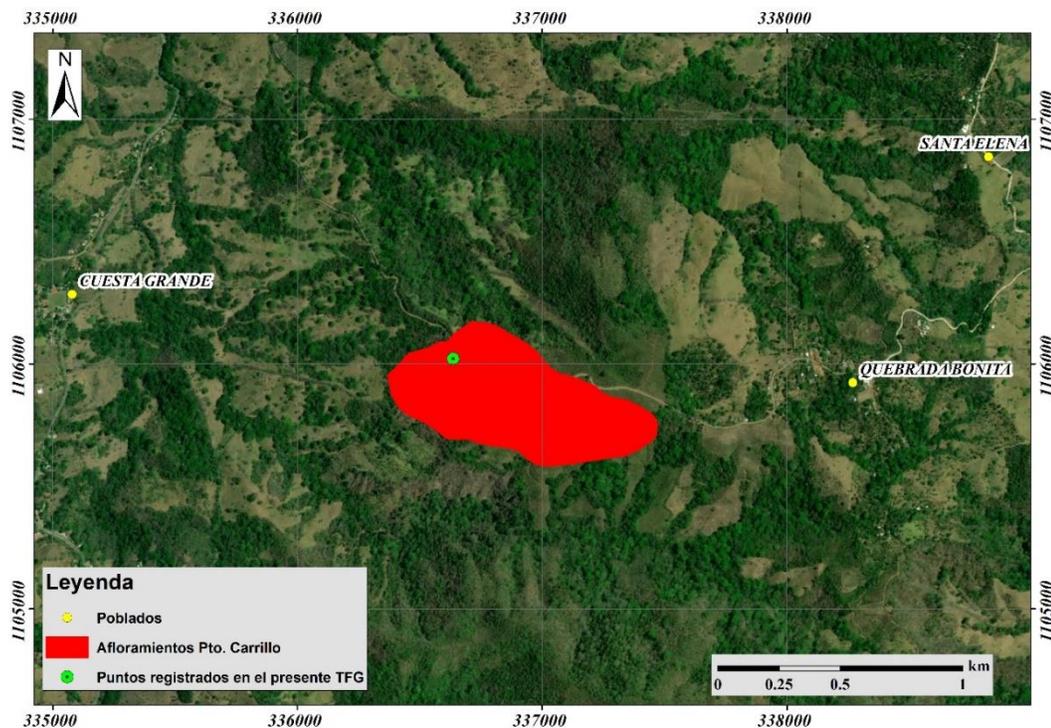


*Figura 29. Basaltos masivos con meteorización semejante a conglomerados.*

## *Afloramiento de la Formación Puerto Carrillo en la hoja topográfica Matambú*

En la hoja topográfica Matambú, se registra solamente un afloramiento (Figura 30) entre Cuesta Grande y Quebrada Bonita de Santa Elena de Belén de Nosarita, en un corte contiguo al camino, se halló el afloramiento de un depósito conglomerádico (Figura 30 con color verde).

Dicho afloramiento se extiende longitudinalmente por aproximadamente 50 m y 20 m de altura. Se encuentran clastos de basalto alterado subangulares y subredondeados de tamaño centimétrico y decimétricos, inmersos en una matriz arcillo-limosa, en general el afloramiento presenta un alto grado de meteorización (Figura 31). Además, fue posible distinguir un fallamiento inverso con componente dextral.



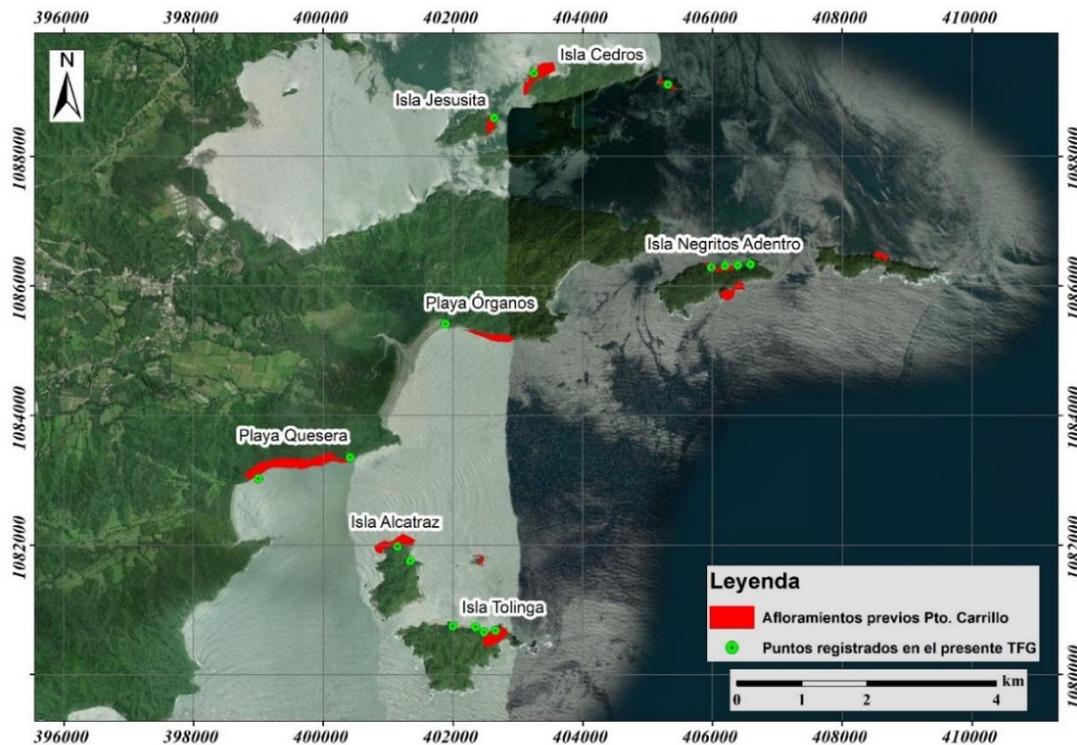
**Figura 30.** Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en la hoja topográfica Matambú. **Fuente:** elaboración propia considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.83. Proyección CRTM05.



**Figura 31.** Afloramiento registrado como Puerto Carrillo en Quebrada Bonita de Belén de Nosarita. 30.A: vista general. 30.B: detalle de afloramiento.

### ***Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en las hojas topográficas Golfo y Tambor***

En el límite Sur de la hoja topográfica Golfo, se ubican afloramientos previamente asignados a la Fm Puerto Carrillo, específicamente en isla Cedros e isla Jesusita. Asimismo, en el límite norte de la hoja topográfica Tambor (Figura 32), se visitaron sitios con registros previos de exposiciones brechosas, el trabajo de campo para esta zona se realizó de manera vía marítima, obteniéndose los siguientes resultados subdivididos por sitios específicos.



**Figura 32.** Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en el norte de la hoja topográfica Tambor y sur de la hoja Golfo. **Fuente:** elaboración considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.83. Proyección: CRTM05.

## Isla Cedros

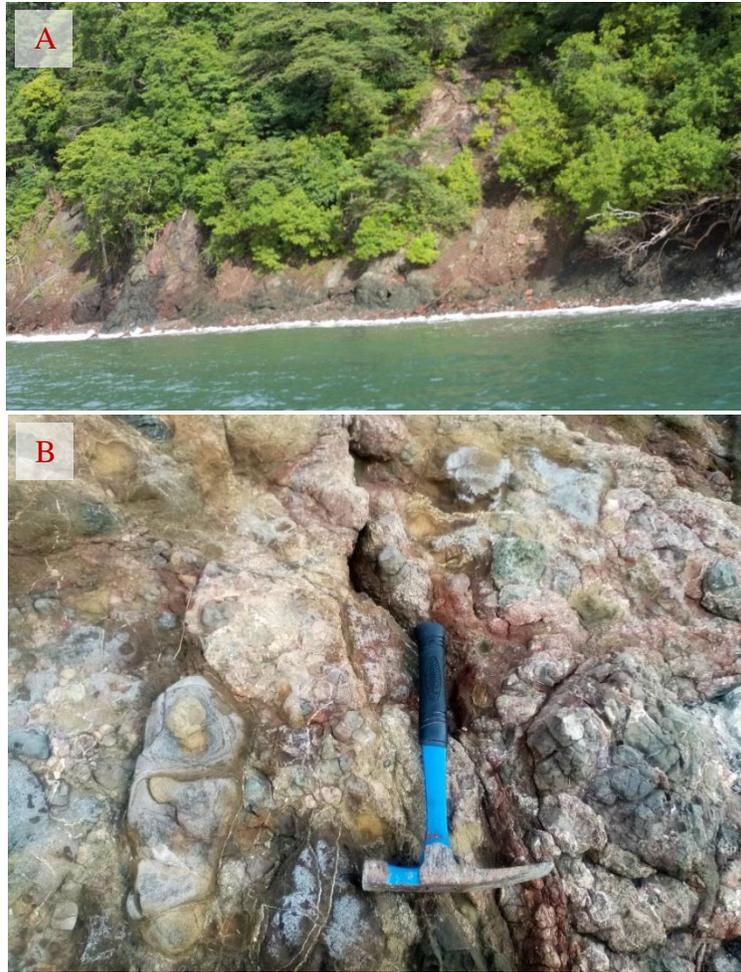
En el punto 1089282.230 N / 403249.145 E se hallan exposiciones litológicas constituidas de basaltos masivos y con parches, emplazados en autobrecha, la cual se compone de una matriz rojiza de composición silícea microcristalina alcanzando un 10% de la conformación litológica en promedio, sin embargo, se hallan partes con mayor proporción que amalgaman fragmentos de basalto vesicular de textura afanítica porfirítica (plagioclasas y cuarzos) (Figura 33).



*Figura 33. Exposiciones litológicas en isla Cedros. 33.A: variaciones de la matriz en la autobrecha. 33.B: detalle de la constitución basáltica.*

## Isla Jesusita

En isla Jesusita (coordenadas 1088598.082 N / 402633.059 E) similar al hallazgo litológico en isla Cedros, se registra afloramiento masivo de autobrecha basáltica, con un grado de alteración mayor. Se constituye de una matriz variable entre un 20% y un 50% de composición silícea microcristalina de coloraciones rojizas y amarillas, asimismo, se hallan segmentos decimétricos de basaltos en almohadilla, esto haciendo énfasis especialmente en las constituciones del tipo brechoso. De manera general la principal exposición de rocas que se encuentra son basaltos masivos en contacto difuso y con apariciones esporádicas de fragmentos de *cherts* (Figura 34).



*Figura 34. Exposiciones litológicas de isla Jesusita. 34.A: vista general de afloramientos. 34.B: detalle litológico de autobrechas basálticas alteradas.*

### **Isla Negritos Adentro**

De los afloramientos registrados previamente en la Reserva Biológica Islas Negritos (Figura 32), fue posible visitar isla Negritos Adentro, en la cual, se estudiaron y describieron dos puntos. En uno de dichos sitios perteneciente a isla Negritos Adentro, específicamente en la ubicación 1086331.419 N / 406587.224 E, se observó una secuencia sedimentaria conformada por una brecha monomítica con matriz de granulometría fina (lutita y arenisca fina) de composición calcárea con clastos basálticos, la cual subyace en contacto erosivo a

una brecha de origen ígneo que a su vez es sobreyacido por una secuencia estratificada de lutitas y areniscas finas calcáreas (Figuras 35 y 36).

Coordenadas del punto: 1086331.419 N / 406587.224 E

Buzamiento de brechas: Nf / 43°

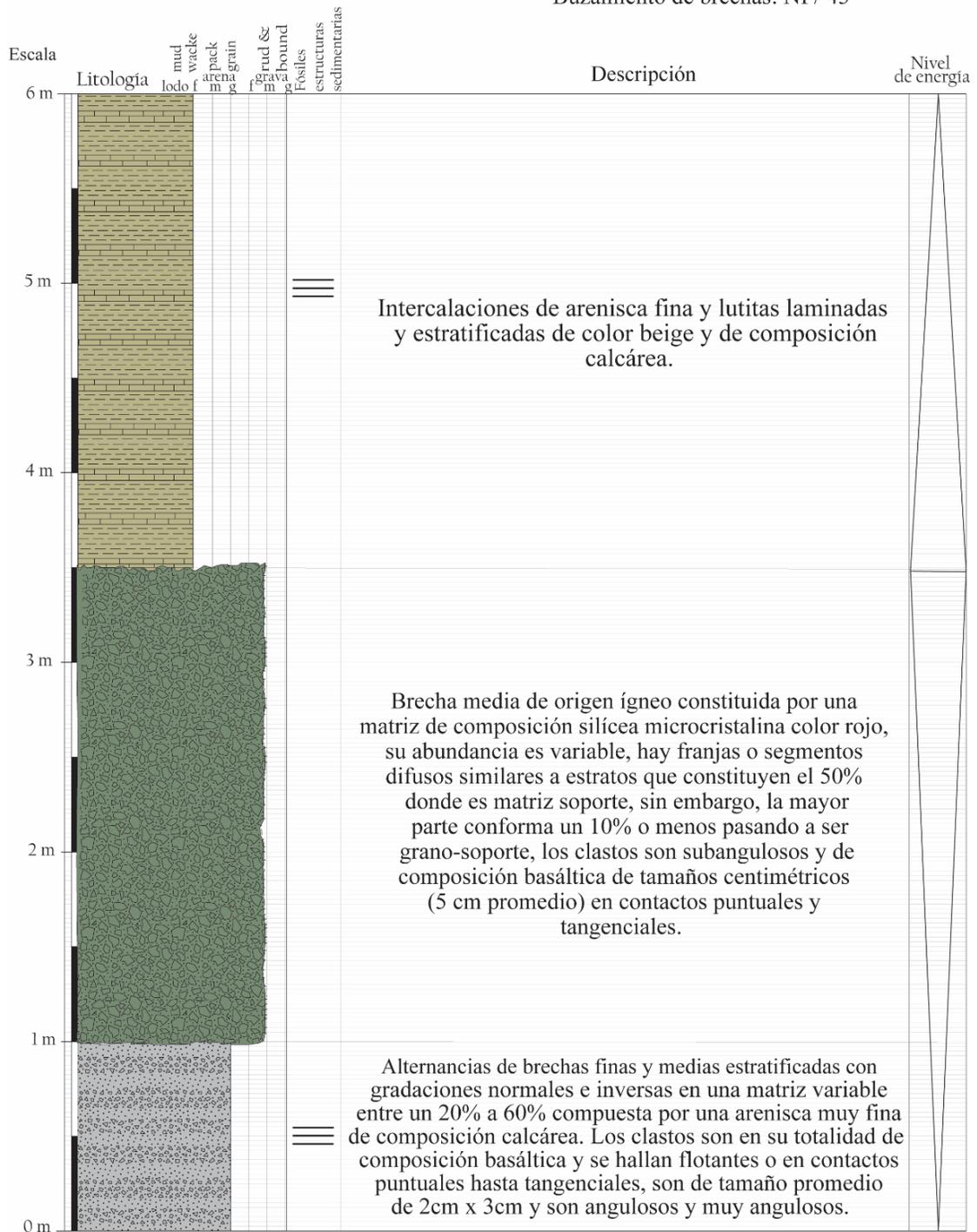


Figura 35. Segmento estratigráfico levantado en isla Negritos Adentro.



*Figura 36. Exposiciones litológicas en isla Negritos Adentro. 36.A: vista general de la sección estratigráfica representada en la figura 32. 36.B: detalle de la brecha constituyente de la base de la sección. 36.C: detalle de brecha volcánica.*

## **Playa Órganos**

En playa Órganos, en el punto 1085414.529 N / 401884.756 E, se describió una secuencia litológica que contiene lutitas, areniscas y brechas (Figura 37).

Coordenadas del punto: 1085414.529 N / 401884.756 E

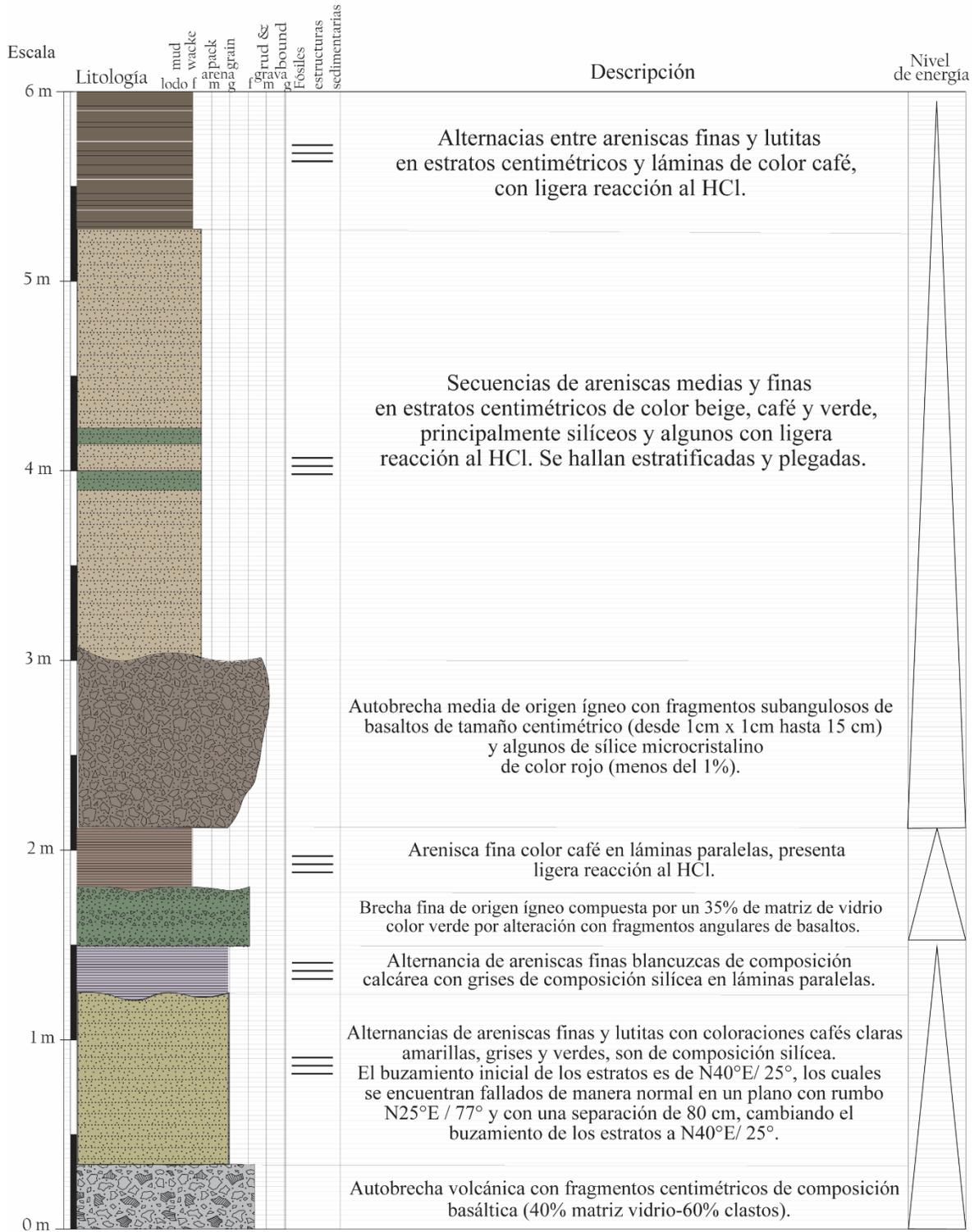


Figura 37. Configuración estratigráfica hallada en playa Órganos.

De manera general, parte de la configuración estratigráfica de playa Órganos (Figura 38). Con transparencia de color gris se observa la exposición de brechas masivas, seguidamente con transparencia verde se ubican estratos de areniscas amarillas y verdosas las cuales están estratificadas y plegadas, por último, se señala con coloración beige las secuencias del techo de la sección estratigráfica compuesta por areniscas finas y lutitas laminadas (Figuras 37- 40).



*Figura 38. Vista general de una parte de la exposición litológica de playa Órganos.*



*Figura 39. Unidades de la sección estratigráfica de playa Órganos. 39.A: Brecha base de la sección estratigráfica. 39.B: Areniscas finas y lutitas alternantes de composición silíceo y calcáreo sobreyacentes a la brecha.*



**Figura 40.** Unidades de la sección estratigráfica de playa Órganos. **40.A:** Brecha fina verdosa ubicada en el 1.5 metros de la sección. **40.B:** Autobrecha media de origen ígneo sobreyacente a la brecha verde.

### Playa Quesera

El afloramiento de la Fm. Puerto Carrillo en playa Quesera registrado previamente (Figura 32), es parte del Refugio de Vida Silvestre Curú y fue recorrido vía marítima siguiendo la tendencia mostrada en sentido este-oeste, en búsqueda de afloramientos brechosos.

Las litologías observadas son en la base, basaltos masivos y ocasionalmente en forma de almohadilla, sobreyacido por secuencias sedimentarias rojizas ocasionalmente intralava, las cuales a su vez están subyaciendo a secuencias de areniscas estratificadas y laminadas de color beige-blancuzcas (Figuras 41 y 42).



**Figura 41.** Base de exposición litológica observada en playa Quesera. **41.A:** basaltos masivos. **41.B:** basaltos masivos y en almohadilla.



**Figura 42.** Exposiciones geológicas de playa Quesera. **42.A:** contacto entre basaltos masivos y cherts intralava. **42.B:** techo de las exposiciones litológicas observadas.

### Isla Alcatraz

La isla Alcatraz fue visitada específicamente en el punto 1081976.559 N / 401145.411 E, el cual se encuentra como parte de la exposición geológica reportada previamente como Fm. Puerto Carrillo. El hallazgo en este sitio corresponde con un autobrecha de basalto masivo con *intracherts* dispuestos de manera difusa en fragmentos centimétricos y hasta bloques métricos (Figura 43).

La isla fue rodeada encontrando que la autobrecha basáltica está sobreyacida por una secuencia sedimentaria de *cherts* rojos y estos a su vez, por estratos centrimétricos y laminares de areniscas y lutitas beige blancuzcas de composición calcárea (Figura 44).



**Figura 43.** Autobrecha basáltica de isla Alcatraz. **43.A:** recolección de muestra de autobrecha. **43.B:** detalle de autobrecha basáltica intracherts.



**Figura 44.** *Secuencias sedimentarias sobreyacientes a la autobrecha basáltica. 44.A: vista general de las secuencias, en el frente areniscas y lutitas calcáreas y en el fondo cherts rojos. 44.B: detalle del contacto entre lutitas calcáreas y chert rojizos.*

### **Isla Tolinga**

En el sitio señalado previamente por Denyer et al. (2014) como afloramiento de la Formación Puerto Carrillo en la isla Tolinga (ver Figura 32), se observó una secuencia sedimentaria conformada en la base por una lutita silicificada color gris verdoso con interdigitaciones de lutita bituminosa ( Figura 45) y *cherts* rojos, sobreyaciendo a esta en contacto erosivo, se encuentra una lutita silicificada con intraestratos deformados de *cherts* así como de manera lenticular deformados y nodulares (Figura 46). Seguidamente, se encuentra estratificaciones de lutitas y areniscas calcáreas color blanco amarillento intercalado con lutitas bituminosas, presenta alteración de óxidos (Figura 47), lo cual se continúa observando en los alrededores de este afloramiento.



**Figura 45.** *Base estratigráfica de secuencia hallada en punto registrado previamente como Fm. Puerto Carrillo. 45.A: lutita silicificada gris verdosa. 45.B: detalle de interdigitaciones de lutitas bituminosas y cherts.*



*Figura 46. Lutita silicificada con intraestratos y nódulos de cherts.*



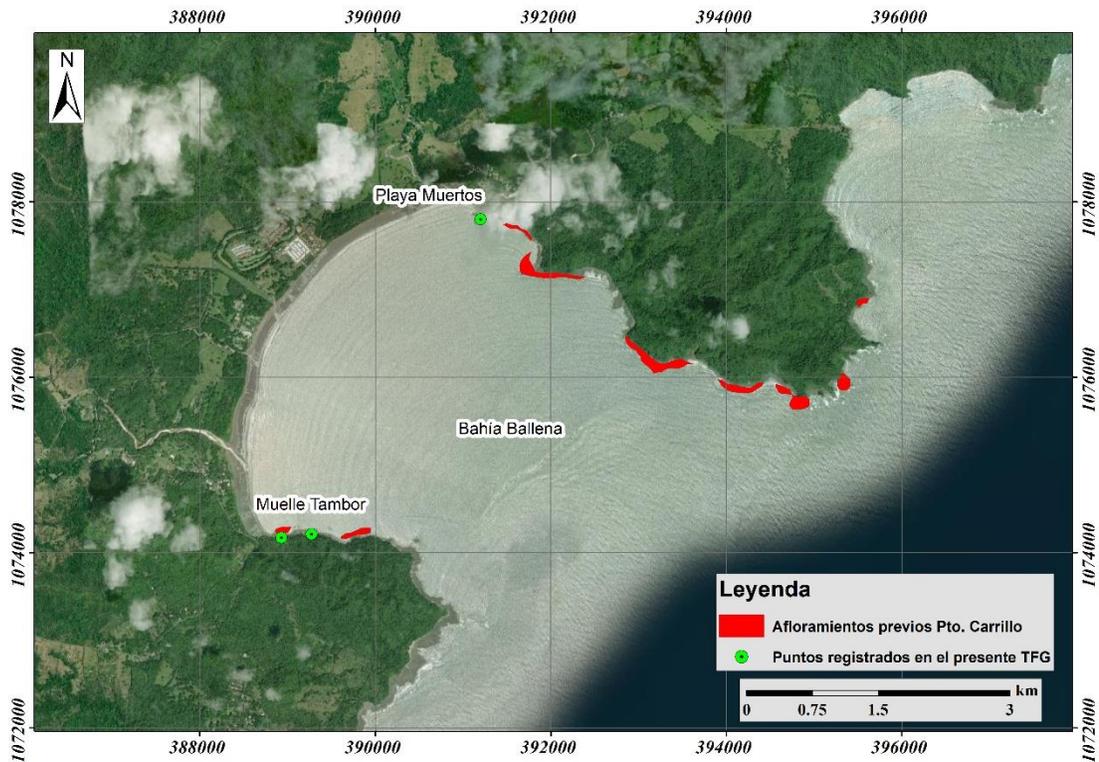
*Figura 47. Lutitas y areniscas calcáreas con apariciones esporádicas, difusas e irregulares de lutitas bituminosas y cherts alteradas por oxidación.*

### ***Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en las hojas topográficas Río Arío y Tambor***

En la hoja topográfica Río Arío, se registran dos sitios aflorantes de la Formación Puerto Carrillo, uno de estos es en el Refugio de Vida Silvestre Romelia (esquina sureste de la hoja), y el otro en los alrededores del muelle de Tambor (Playa Tambor, extremo Este).

Asimismo, en el sector Oeste de la hoja topográfica Tambor, limitando con la hoja Río Arío se registran afloramientos de la Fm. Puerto Carrillo en Playa Muertos de Pochote.

En el presente trabajo de investigación se estudiaron los afloramientos de bahía Tambor y Playa (Figura 48).



**Figura 48.** Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en el sureste de la hoja topográfica Río Arío y oeste de la hoja Tambor. **Fuente:** elaboración considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.83. **Proyección:** CRTM05.

## Playa Muertos

En el punto 1077803.653 N / 391199.066 E de playa Muertos, sobre la plataforma en la playa, se presenta una secuencia constituida por lutitas cafés claras con fragmentos esporádicos de centimétricos y decimétricos de cherts rojos, amarillos y verdes, sobreyacidos por una autobrecha de origen ígneo constituido por una matriz de vidrio verde y fragmentos de basaltos (Figura 50), sobre esta, en el techo se encuentran nuevamente lutitas, estas están muy meteorizadas y son de composición silíceas (Figura 49). En general, la secuencia buza con tendencia S25°W/37°.

Coordenadas: -84°59' 19.169 / 9°44'44.103"

Punto: Playa Muertos, contiguo a Pochote

Buzamiento de secuencia : S25°W/37°



Figura 49. Exposición litológica hallada en playa Muertos.



*Figura 50. Brecha de origen ígneo hallada en playa Muertos compuesta por una matriz de vidrio verdoso con fragmentos de basalto.*

## **Muelle Tambor**

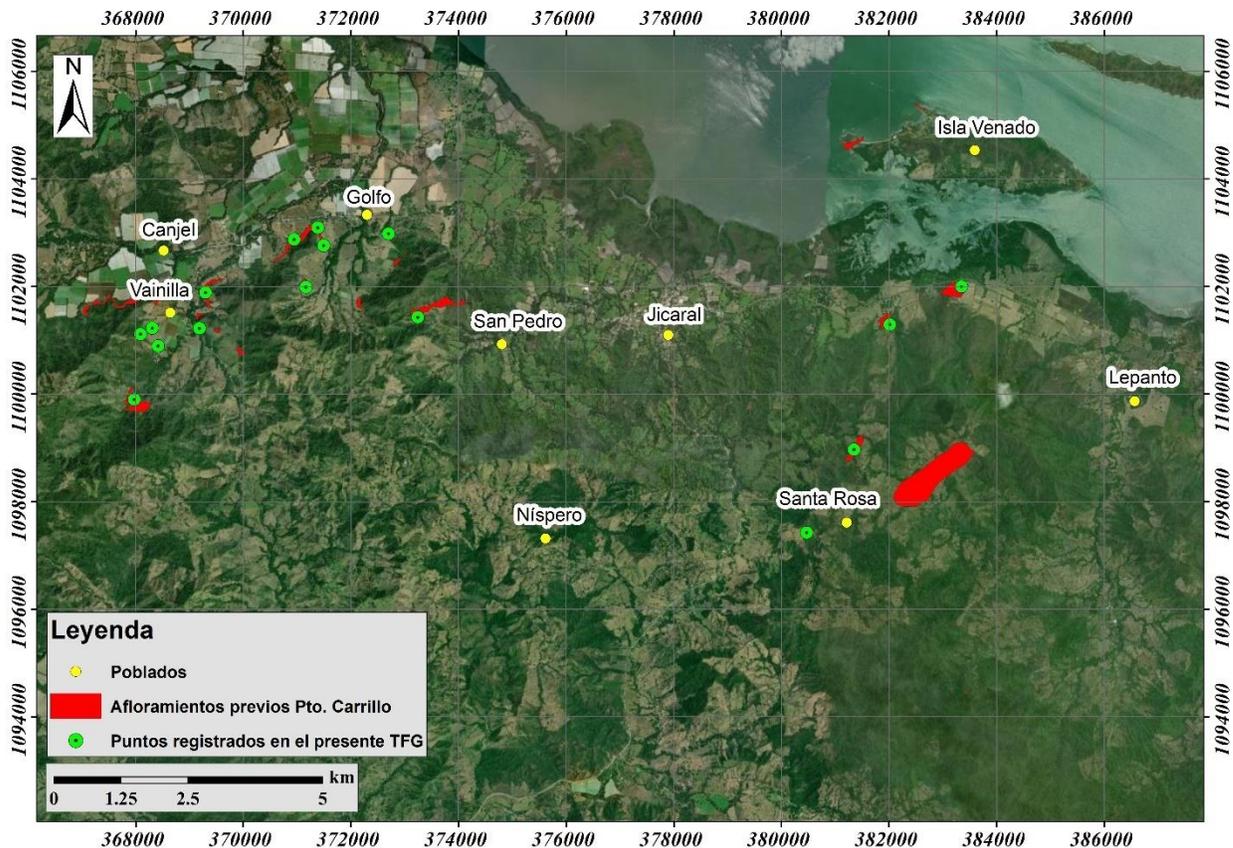
Se recorrió el borde de la playa en donde han sido registrados las exposiciones de la Fm. Puerto Carrillo en Tambor, sin embargo, el hallazgo litológico corresponde en su totalidad con la exposición de basaltos en almohadilla meteorizados y bloques de *cherts* con coloraciones naranjas (Figura 51).



*Figura 51. Exposiciones litológicas en el sur de playa Tambor. 51.A: exposición general de basaltos y bloques de cherts, vista hacia el muelle al Este. 51.B: detalle de los basaltos meteorizados.*

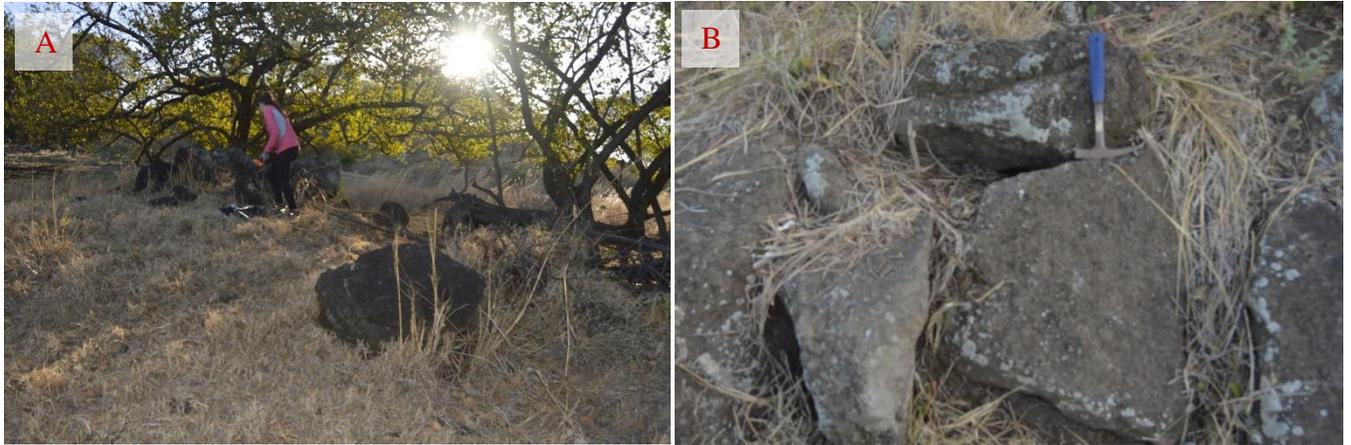
## *Afloramientos de la Formación Puerto Carrillo en la hoja topográfica Venado*

En la hoja topográfica Venado también se han registrado una serie de afloramientos de manera dispersa asignados a la Formación Puerto Carrillo (Figura 52).



**Figura 52.** Ubicación de afloramientos registrados de la Fm. Puerto Carrillo en la hoja topográfica Venado. **Fuente:** elaboración considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.83. Proyección: CRTM05.

En unas colinas contiguas a la carretera 21 que comunica Lepanto con Jicaral, específicamente en el punto 1101999.337 N / 383348.561 E se encontraron grupos de bloques dispersos de tamaños centimétricos y métrico, remanentes de brechas completamente alteradas (Figura 54), matriz soporte de composición calcárea, clastos no identificables macroscópicamente con coloraciones verdosas, de tamaño centimétrico y en contactos puntuales, planos y flotantes.



**Figura 54.** Hallazgos de litologías remanentes en colinas contiguas a carretera 21 Lepanto-Jicaral. **54.A:** vista general de bloques dispersos. **54.B:** detalle de bloques de fragmentos de brechas.

En dirección Suroeste al punto anterior, en el sitio con coordenadas 1101290.782 N / 382018.161 E, dentro de una finca de propiedad privada las exposiciones corresponden prácticamente a material convertido a suelo, por su alto grado de meteorización. Se halló un bloque remanente de brecha completamente alterada y arcillitizada (Figura 53).



**Figura 53.** Hallazgo de investigación en el punto 1101290 N / 389018.161 E. **53.A:** vista general del punto. **53.B:** litología comúnmente hallada, con alto grado de meteorización. **53.C:** remanente de brecha completamente alterada, matriz blancuzca con clastos rojizos y verdes.

El afloramiento de mayor extensión registrado en la hoja topográfica Venado (Figura 52), no pudo ser accesado al encontrarse en propiedad privada inaccesible, así como los que se encuentran en el medio entre Canjel y Vainilla.

En el punto más al sur del poblado de Vainilla, si fue posible acceder, ya que se encuentra también como parte de una finca, en este sitio (1101117.448 N / 368090.157 E), se encontró la exposición de lutitas cafés muy fisibles y meteorizadas, las cuales no reaccionan al HCl y presentan pátinas rojas y oxidaciones (Figura 55).



*Figura 55. Exposición litológica hallada en el punto sur del poblado de Vainilla.*

Por otra parte, en el resto de los sitios registrados previamente como aflorantes de la Formación Puerto Carrillo (Figuras 56, 57, 58), fueron indagados sin resultados de exposiciones litológicas brechosas.



*Figura 57. Registro de búsqueda de afloramientos brechosos registrados en Vainilla.*



*Figura 56. Registro de búsqueda de afloramientos brechosos registrados en Golfo.*



*Figura 58. Registro de búsqueda de afloramientos brechosos registrado en el punto entre Golfo y San Pedro. Hallazgo de remanentes de cherts y areniscas finas rojizas.*

Por último, en la búsqueda de los afloramientos brechosos en la hoja topográfica Venado se visitó el punto registrado al norte de Santa Rosa (Figura 51), el más cercano al afloramiento de mayor área en esta hoja (punto 1097424.267 N / 382018.161 E), se observó, únicamente sobre el camino y en las cunetas, remanentes de una brecha muy alterada constituida por una matriz blanca arcillosa con alteraciones rojizas, clastos milimétricos y centimétricos de color negro (Figura 59).



*Figura 59. Hallazgo de remanentes litológicos brechosos al norte de Santa Rosa. 59.A: vista general de los bloques remanentes en carretera. 59.B: detalle de los remanentes brechosos hallados en los bloques.*

## II. B. RESULTADOS PETROGRÁFICOS

---

Cabe destacar que la presente sección se muestra los resultados descriptivos concisos y clasificatorios de las láminas delgadas analizadas; para los datos completos, descripciones, conteos y fotografías se pueden consultar en los anexos 1, 2, 3 y 4, los resultados petrográficos completos de las muestras recolectadas en la hoja topográfica Cerro Azul se documentan en los anexos 1, los resultados obtenidos de muestras que se recolectaron entre las hojas topográficas Golfo y Tambor se encuentran en los anexos 2, las descripciones petrográficas completas de litologías ubicadas entre las hojas topográficas Río Arío y Tambor se incluyen en los escritos del anexo 3 y los resultados petrográficos de muestras extraídas de sitios ubicados en la hoja topográfica Venado se encuentran en el anexo 4.

### ***Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Cerro Azul***

El estudio concentrado en las litologías brechosas pertenecientes a la Formación Puerto Carrillo evidenció diferencias en sus constituciones sedimentológicas para una misma unidad, es decir, existen destacables variaciones en las proporciones de abundancia de matriz con respecto a los clastos, así como los tipos de contactos y sus tamaños. Sin embargo, su composición es uniforme.

Considerando la Figura 19, en la cual se registran las secuencias culminantes de las litologías aflorantes en bahía Puerto Carrillo, específicamente a partir del metro 40, se estudiaron petrográficamente las muestras con código D2-PC-U4.2, D2-PC1-U4.1, D2-PC1-U4.3, D2-PC1-U2 (CORTE A, B, C y D), D2-PC1-U1.

#### **Muestra D2-PC-U4.2**

Tal como se muestra en la sección estratigráfica (Figura 18), en el metro 40, se registró una lutita color gris pardo con laminaciones irregulares de arenisca fina color gris oscuro, es de composición calcárea (reacción intermedia a fuerte al HCl) y se encuentra en contacto erosivo con respecto a una brecha fina color gris verdoso constituida en un 30% de matriz y un 70% de clastos angulares y subangulares prismáticos con tamaños desde 1.5mm x 1 mm hasta 1.7 cm x 0.8 cm, la matriz ha sido reemplazada por óxidos y zeolita, solamente

algunos litoclastos reaccionan ligeramente al HCl, la composición de estos es predominantemente basáltica (Figura 60).

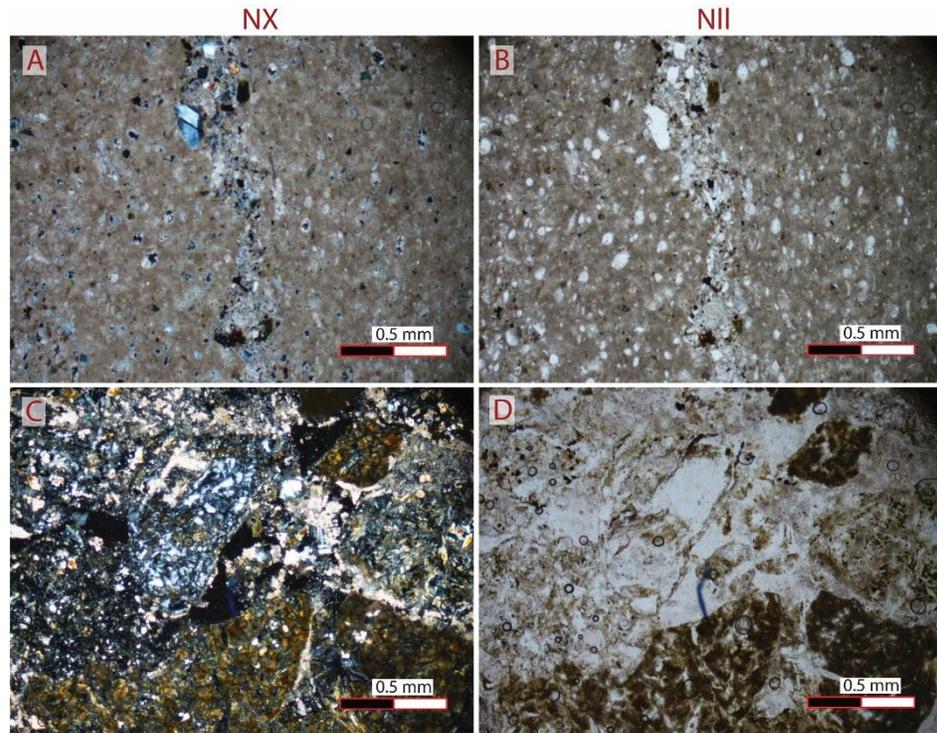
- La brecha fina, es del tipo epiclástica monomítica, meteorizada y muy alterada, se distingue aproximadamente un 15% de matriz compuesta por calcita en forma mineral de tamaño fino (0.15 x 0.13 mm), así como tamaño microcristalino (micrita). Esta brecha se encuentra matriz soportada, los contactos entre los litoclastos son de tipo planos y cóncavos-convexos.

Los litoclastos que se encuentran como componentes de la brecha fina corresponden principalmente a relictos de clastos de origen ígneo, los cuales se encuentran total o parcialmente alterados por óxidos y reemplazados por calcita, sin embargo, estos se distinguen por texturas características, son hipocristalinas y en muy baja proporción holocristalinas de grano fino, compuestas básicamente por plagioclasas y clinopiroxenos dispuestos en una textura variolítica, en los que la plagioclasa se encuentra en formas aciculares agregados radialmente con los clinopiroxenos en medio, estos corresponden con aproximadamente el 90% de los clastos. Asimismo, se encuentran algunos clastos, en menor proporción (10%) con la misma composición, pero dispuestos de manera ortofídica con cristales de tamaño fino de clinopiroxenos. La proporción de minerales libres es muy baja  $\approx 5\%$ , de estos, el tamaño promedio en el que se encuentran es de 0.08 mm x 0.08 mm. Los clastos se encuentran con tamaños desde 0.11 mm x 0.09 mm hasta 0.6 cm x 0.3 cm. Se encuentran espacios vacíos por disolución mineral, abrasión y fracturas sin rellenar en al menos un 10%.

Los minerales libres que se encuentran son plagioclasas, clinopiroxenos, así como alteraciones o secundarios de calcita, zeolitas y clorita. En esta muestra no se observaron microfósiles.

- La lutita, microscópicamente es clasificada composicionalmente como un *mudstone* (micrita y microesparita) la cual se está interrumpida por laminaciones (0.22 mm de ancho) con formas irregulares de arenisca muy fina en la cuales hay una concentración de minerales como plagioclasa, clorita, óxidos, augitas, cuarzo, glauconita, así como bioclastos. La composición de la muestra es variable a lo largo de la sección, se encuentra constituida en un 80% hasta un 90% por micrita y

microesparita, el porcentaje restante corresponde con bioclastos de foraminíferos el cual es variable entre un 20% y un 10%, dentro del cual también ocasionalmente se subdivide en hasta un 5% correspondiente con minerales libre principalmente plagioclasas y óxidos.



*Figura 60. Microfotografías de la muestra con código D2-PC1-U4.2. A y B: fracción de la muestra constituida por lutita, en el centro de la imagen se observa una lámina de arenisca. C y D: vista general de la fracción de la muestra correspondiente con la brecha fina.*

### **Muestra D2-PC1-U4.1**

Continuando con la secuencia (Figura 18), sobreyaciendo las unidades analizadas en la muestra D2-PC1-U4.2, se encuentra la litología de la cual se tomó la muestra D2-PC1-U4.1, macroscópicamente esta corresponde con una brecha media, constituida en un 60% de matriz y un 40% de clastos, ese 60% a su vez, corresponde con una brecha fina con 45% matriz de lutita color beige (alterada) y gris oscura (sana), con reacción moderada al HCl y 15% de clastos con tamaños promedio de 2 mm x 1.5 mm de composición basáltica, los cuales se encuentran de manera flotante en la matriz y son angulosos.

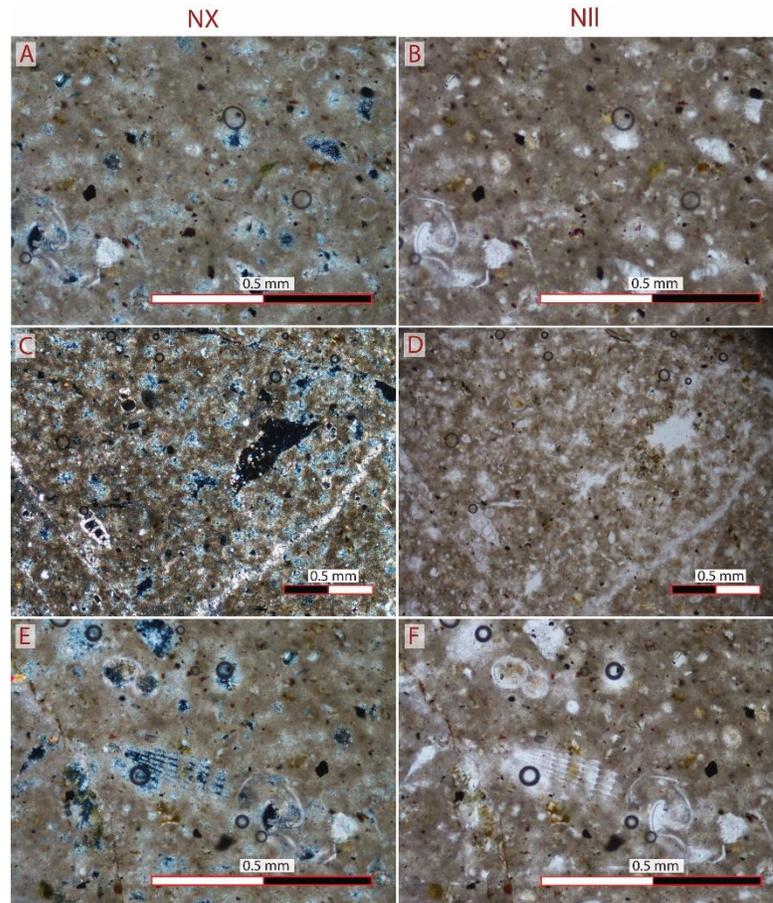
El 40% correspondiente con los clastos de la brecha media, son de tamaño centimétrico, angulares principalmente y algunos subangulares. En promedio presentan tamaño de 5 cm, son de origen ígneo, basáltico y otros, por su alteración se designan como lava indiferenciada, por su alto grado de meteorización. La muestra (Figura 61), está cortada por una serie de vetillas milimétricas de calcita. Los tipos de contactos que se encuentran son variados, flotante, puntuales y cóncavos convexos.



*Figura 61. Muestra de roca de mano a partir de la cual se extrajo la sección delgada con código D2-PC1-U4.1*

Microscópicamente, la lámina se describe como una brecha media, en la cual, los clastos observables abarcan un 70% y la matriz, un 30%. Los clastos se encuentran principalmente de manera flotante, sin embargo, también se encuentran en contacto puntual y uno de tipo cóncavo-convexo. Algunos clastos de origen ígneo presentan fracturas rellenas con calcita o zeolitas.

La matriz, corresponde con una roca carbonatada del tipo *wakestone*. Es homogénea, no se observan estructuras sedimentarias ni orientaciones preferenciales de componentes (Figura 62).



**Figura 62.** Campos visuales de la matriz de la muestra D2-PC1-U4.1. *A, B, C, D:* vista general en la que se observan bioclastos inmersos en matriz de micrita-microesparita, así como la porosidad secundaria y algunas fracturas rellenas de calcita cristalina. *E y F:* detalle de bioclastos de foraminíferos y radiolarios.

La fábrica de dicha matriz se constituye de un esqueleto conformado principalmente por con bioclastos, específicamente de foraminíferos y radiolarios (concentraciones variables, entre 15% y hasta 25%). En proporción baja (3%) y de manera esporádica se hallan minerales de clinopiroxeno (augita), plagioclasa, cuarzo y calcita.

En la mayor parte de la matriz no se encuentra porosidad, sin embargo, hay secciones de la lámina en las que se encuentran algunos espacios vacíos en medio de la muestra (10%), así como en medio de partes de los microfósiles (Figura 62).

En cuanto al tamaño de grano de la matriz, la mayor parte corresponde con material microcristalino, específicamente micrita, así como el cemento de calcita. Sin embargo, los

minerales libres que se encuentran en promedio tienen tamaño de 0.12 mm x 0.04 mm. Y en su mayoría son angulosos y muy angulosos.

Inmersos en la matriz, se presentan bioclastos, específicamente fragmentos de foraminíferos y radiolarios, estos se encuentran recristalizados a calcita. En total, abundan hasta un 10% de la matriz, de estos, la mayoría (8%) corresponden a foraminíferos. Es importante destacar que en la matriz de esta muestra se hallaron nanofósiles, coccolitos, específicamente corresponden con especímenes del género *Watznaueria* spp. *Watznaueria barnesae*. (Bathonense-Maastrichtense) (Figura 63). Identificados por MSc. Felipe Vallejo Hincapié y Estefanía Ángulo, nanofosilistas del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES), Universidad de Caldas, Colombia.

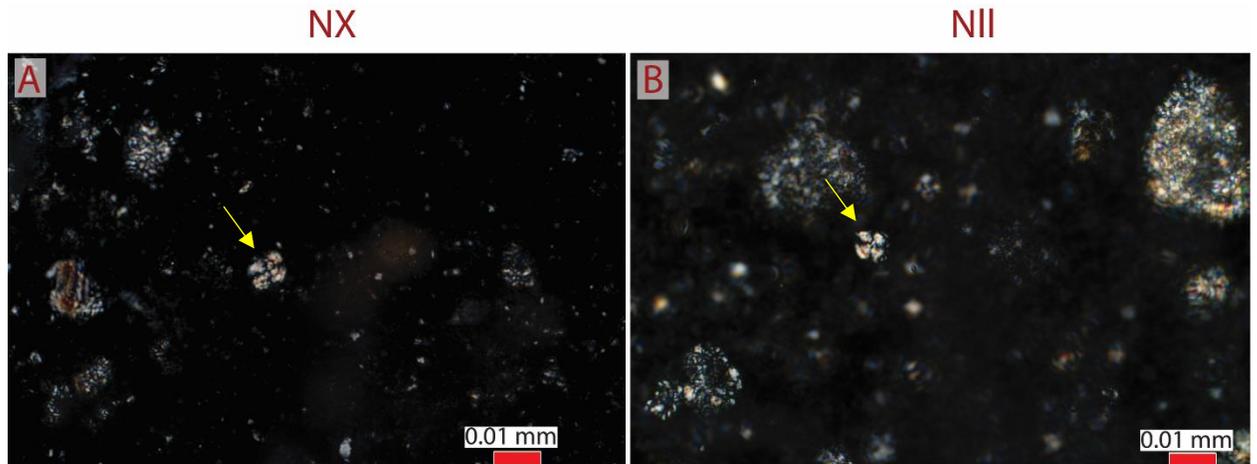


Figura 63. Microfotografías de dos nanofósiles hallados en la muestra PC2-D1-U4.1, los cuales son señalados con una flecha amarilla.

Los minerales libres de la matriz se constituyen por los siguientes:

-Plagioclasa: cristales principalmente xenomórficos angulares con calcita (micrita) dispersa en los bordes, con tamaño promedio de 0.07 mm x 0.05 mm.

-Cuarzo: se encuentra del tipo monocristalino y policristalino, son xenomórficos angulares con tamaño promedio de 0.1 mm x 0.1 mm, en su mayoría se encuentran con bordes de calcita microcristalina esparcida.

-Clinopiroxeno (augita): cristales xenomórficos con tamaño promedio de 0.11 mm x 0.08 mm, sus bordes también se hallan alterados por calcita.

Los minerales de alteración y accesorios hallados fueron:

-Calcita: corresponde con el mineral más abundante, conformando la matriz (micrita), así como cemento, reemplazando fragmentos de bioclastos, rellenando espacios vacíos y fracturas.

-La segunda alteración que más se presenta son óxidos tanto de los minerales como en la matriz e intersticios, y ocasionalmente en acompañamiento con clorita.

- Zeolita: se encuentra con formas aciculares rellenando espacios vacíos y fracturas de vetillas, las cuales alcanzan incluso 1 mm de ancho en promedio.

-En poca proporción (alcanzando como máximo un 1%) se encuentran minerales de glauconita de manera dispersa, son xenomórficos, con texturas granulares y con tamaños promedio de 0.05 mm x 0.02 mm, asimismo, se encuentran en medio de las vetillas de zeolitas. Los clastos con tamaño mayor a 1 cm que se encuentran en la brecha media son todos de composición basáltica caracterizados de la siguiente manera:

Clasto No.1: Textura hipocristalina, hipidiomórfica, compuesta por plagioclasa acicular, en agregados radiales principalmente y en agregados subparalelos, también se observan augita xenomórfica con una matriz de textura ortofídica. Muy alterado por óxidos de hierro, arcillitización, calcita y zeolita.

Clasto No. 2 y clasto No.3: Textura hipocristalina, xenomórfica, con tamaño promedio de 0.07 mm x 0.05 mm, compuesto por fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno. La plagioclasa presenta forma acicular dispuesta de manera aleatoria, en medio de las plagioclasas se encuentra augita xenomórfica, en general, se encuentran en una textura ortofídica. Se encuentra muy alterado por óxidos de hierro. Asimismo, se presentan mineralizaciones secundarias de calcita y zeolita.

### **Muestra D2-PC1-U4.3**

Seguidamente, sobreyaciendo estratigráficamente a la unidad estudiada en la muestra D2-PC1-U4.1 (Figura 18) como una brecha fina, se presenta la unidad de la cual se extrajo la muestra D2-PC1-U4.3, la cual contiene una sección de un bloque de basalto perteneciente

a la brecha media anterior y corresponde con un contacto erosivo con una brecha fina con matriz de lutita, sobreyacida de igual manera por una lutita con laminaciones deformadas.

Microscópicamente, la lámina se identificó como una brecha media compuesta en un 45% por una matriz correspondiente con una lutita arenosa de composición calcárea, el restante 55% es abarcado por litoclastos en su totalidad de origen ígneo, las cuales tienen tamaños mínimos de 1mm x 1mm y máximos observables de 1.2 cm x 1.0 mm, estos se encuentran principalmente flotantes, aunque algunos son contactos cóncavos convexos.

En general, a partir del estudio petrográfico se determina que la muestra corresponde con una brecha media epiclástica monomictica. Sin embargo, sus partes conformantes se describen por separado a continuación.

La matriz corresponde con una *wackestone*. El 60% se constituye de micrita, su cementación es de calcita, el 15% corresponde con bioclastos de foraminíferos y radiolarios, el 12% corresponde con minerales feldespáticos el restante 3% se constituye por un conjunto de minerales indeterminados por alteraciones de óxidos, uralitización, piroxenos y secundarios como glauconita. La porosidad máxima es de un 10%. El tamaño de sus componentes va desde 0.06 mm hasta 0.125 mm, predomina el material microcristalino de calcita, y algunos minerales libres con tamaño promedio de 0.05 mm x 0.05 mm con formas angulares y muy angulares, también se encuentran fragmentos de foraminíferos y radiolarios, los cuales se encuentran recristalizados a calcita. En total, abundan hasta en un 15% de la matriz, de estos, la mayoría (10%) corresponden a foraminíferos.

Los clastos con tamaño mayor a 1 cm que fueron descritos y analizados composicionalmente y corresponden en su totalidad con basaltos, diferenciados texturalmente de la siguiente manera:

- Textura hipocristalina con minerales de tamaños de 0.20 mm x 0.15 mm y 0.25 mm x 0.02 mm (formas aciculares), característica textura microspínifex (estructuras plumosas) compuesta principalmente por clinopiroxenos y plagioclasas, también se encuentran remanentes de olivino xenomórfico, los cuales son xenomórficos. En general, se encuentran reemplazada por óxidos, así mismo se encuentran rellenos de zeolitas y glauconita.

- Textura hipocristalina (0.06 mm x 0.05 mm) con textura ofítica (plagioclasas dispuestas al azar con augitas en los intersticios y opacos), plagioclasa con formas laminares alargadas y tabulares. Alteraciones a óxidos con hábito fibroso.

**Muestras D2-PC1-U2, PC2-D1-12U2 (Corte A), PC2-D1-12U2 (Corte B), PC2-D1-12U2 (Corte C), PC2-D1-12U2 (Corte D).**

En el metro 50 de la sección estratigráfica del estratotipo (Figura 18), se presenta una brecha media, en la cual la proporción de clastos-matriz es muy variable, así como el tipo de contactos y tamaños de clastos, razón por la cual se analizaron cinco secciones delgadas (D2-PC1-U2, PC2-D1-12U2 (Corte A), PC2-D1-12U2 (Corte B), PC2-D1-12U2 (Corte C), PC2-D1-12U2 (Corte D) extraídas de 3 muestras de roca de mano (Figura 64), esto para abarcar y determinar las diferencias petrográficas que pudiesen presentarse.

En general, los resultados composicionales son consistentes y correspondientes con brechas medias epiclásticas monomíticas.



**Figura 64.** Muestras macroscópicas de brechas medias penúltimas de la sección estratigráfica tipo. **A.** Muestra de mano a partir de la cual se extrajeron las secciones delgadas con código PC2-D1-12U2 (Corte A) y PC2-D1-12U2 (Corte B). **B.** Muestra de mano a partir de la cual se extrajeron las secciones delgadas PC2-D1-12U2 (Corte C), PC2-D1-12U2 (Corte D).

En esta unidad el porcentaje de la matriz puede variar entre un 30% a 40% generalmente; sin embargo, puede alcanzar un 70%, por tanto, el porcentaje restante corresponde con litoclastos. La matriz en todos los casos es de color beige cuando se encuentra alterada y gris cuando está sana, es de composición calcárea, evidente también en

la presencia de vetillas y bordes de recristalización de los clastos con respecto a la matriz. En promedio los clastos presentan tamaños entre 2.00 cm y 3.00 cm, sin embargo, también se hallan de tamaños milimétricos y ocasionalmente decimétricos. En su totalidad son muy angulares y angulares en contactos variados, puntuales, planares y cóncavos-convexos.

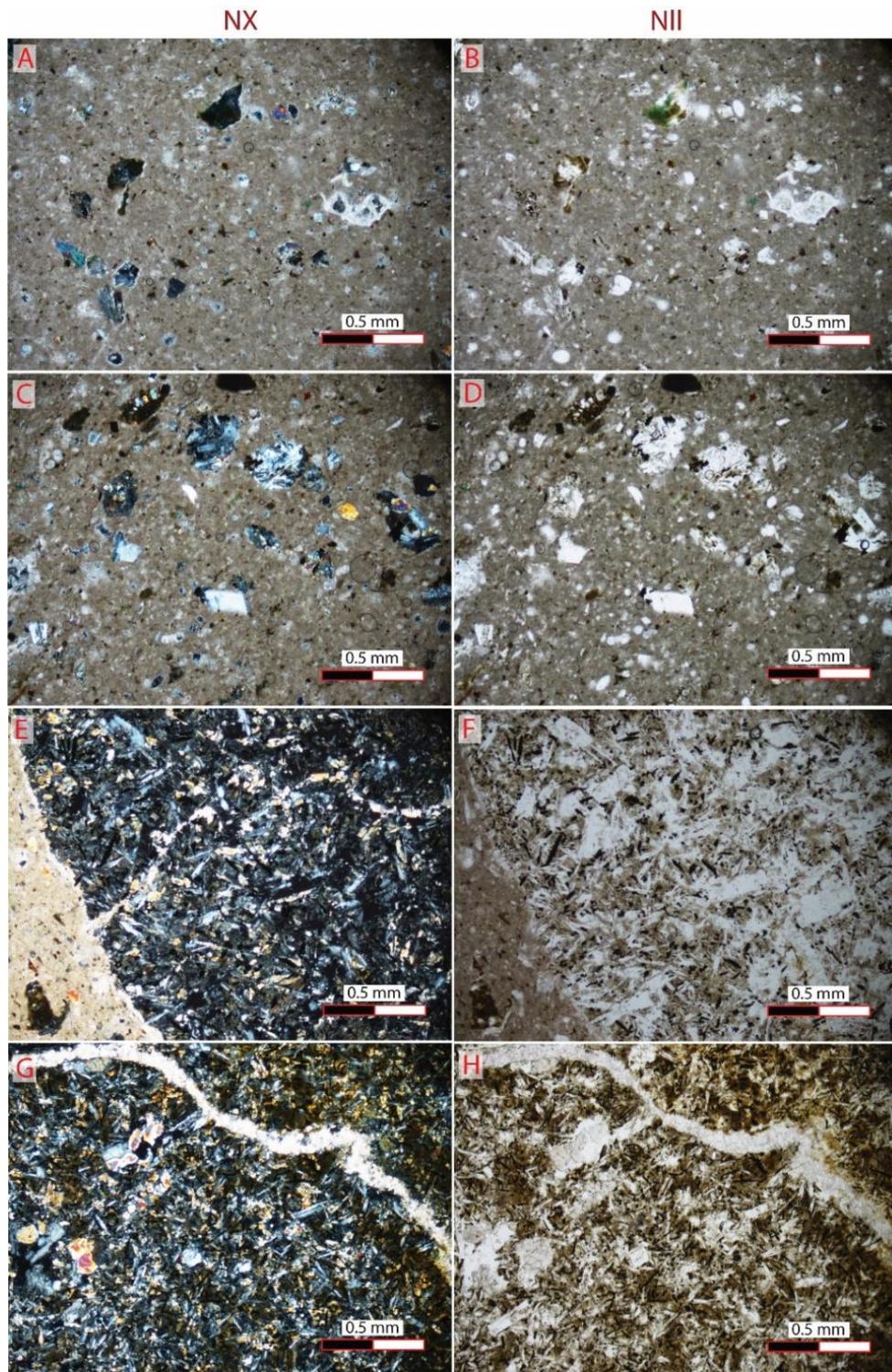
Microscópicamente, las diferencias en cuanto a las relaciones clastos-matriz es más evidente, se presentan variaciones del porcentaje entre el 15% de matriz y 85% de clastos, hasta un 80% de matriz y un 20% de clastos. Asimismo, varía su granulometría desde lutitas arenosas hasta areniscas finas. Composicionalmente si comparten una matriz constituida por micrita, con cemento de calcita cristalina, ocasionalmente silicificada en algunos puntos, correspondientes principalmente *con wackestone*, (Figuras 65, 66 y 67).

Los clastos en su totalidad, son de composición basáltica, pero con las siguientes texturas distintivas que se describen a continuación (Figuras 65, 66 y 67).

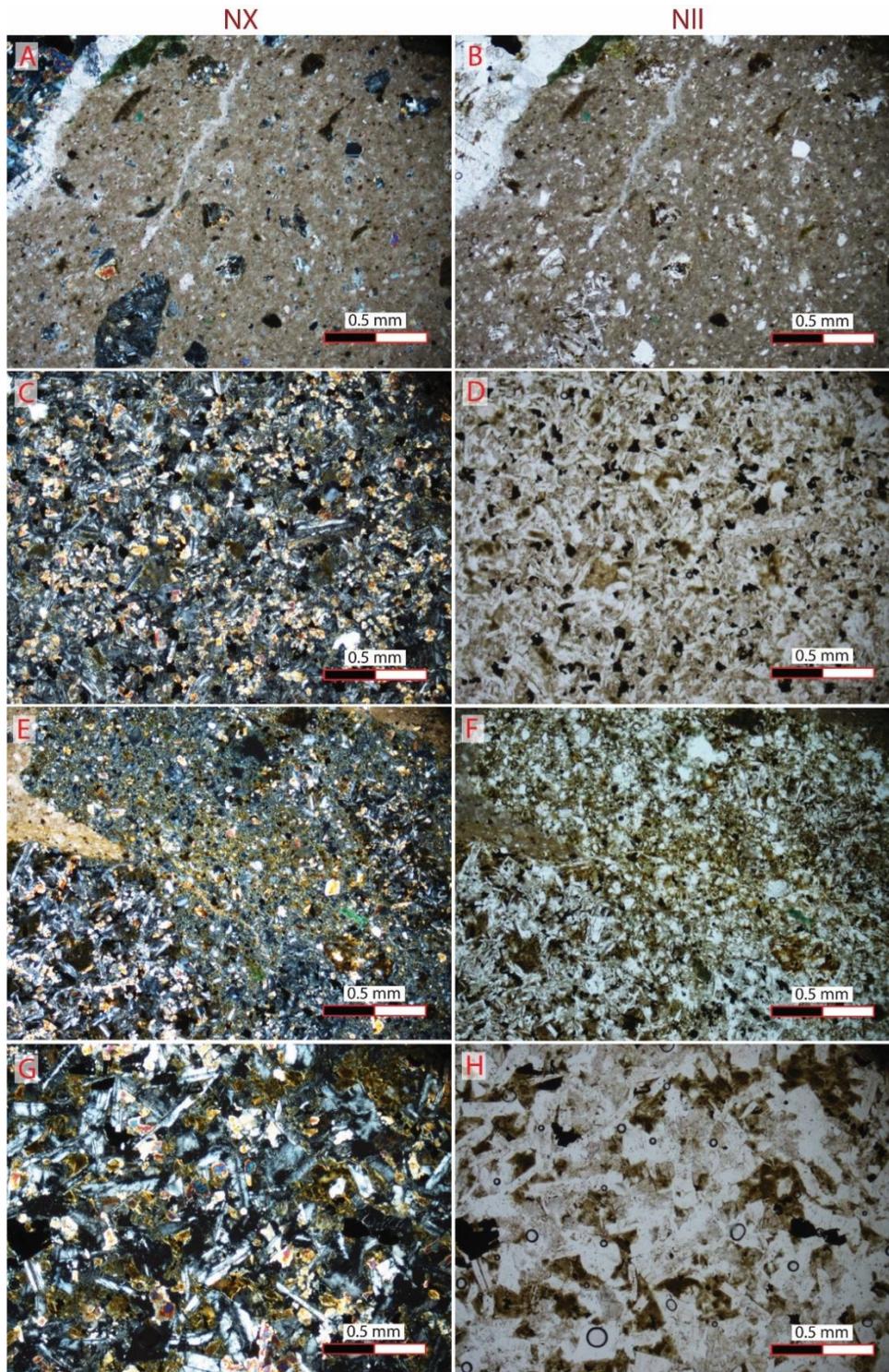
- Textura hipocristalina hipidiomórfica con minerales de tamaño promedio de 0,15 mm x 0,05 mm, se compone de cristales aciculares hipidiomórficos de plagioclasa dispuestos en sentido radial divergente formando en conjunto con minerales de augita xenomórfica en medio, una textura variolítica-microspínifex. También se presentan opacos con formas alargadas y plagioclasa en medio.
- Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica seriada, minerales con tamaño promedio de 0.05 x 0,02 mm y máximos de 0,21 x 0.08 mm. Se compone de fenocristales de plagioclasa con forma hipidiomórfica tabular y acicular, acompañadas con augitas.
- Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica con tamaños de 1-5 mm, compuesto por plagioclasa y augita disponiendo una textura de tipo ortofídica. (Plagioclasa alargadas con rellenos de augita, alteraciones de óxidos de hierro, calcita, sericita y clorita).
- Textura hipocristalina con minerales de tamaño 0.3 mm x 0.22 mm, con textura basáltica (plagioclasas sin orientación preferencial en combinación con augitas). Se compone básicamente de 15% de opacos, 42.5% de clinopiroxenos y 42.5% de plagioclasas. En general, se encuentra con alteraciones de sericita y óxidos.

- Textura hipocristalina glomeroporfirítica conformada en un 80% de matriz compuesta por vidrio, plagioclasa y augita con tamaño promedio de 0.02 mm x 0.02 mm, en general se halla muy alterada por sericitación y oxidación (incluso opacos). El 20% restante corresponde con conjuntos de fenocristales de augita, plagioclasa y opacos.
- Textura hipocristalina xenomórfica porfirítica compuesta principalmente por augita, plagioclasa y minerales opacos correspondiente con pseudomorfos de olivino completamente reemplazados a opacos, los cuales se disponen con formas aciculares, de manera radial divergente en direcciones aleatorias.

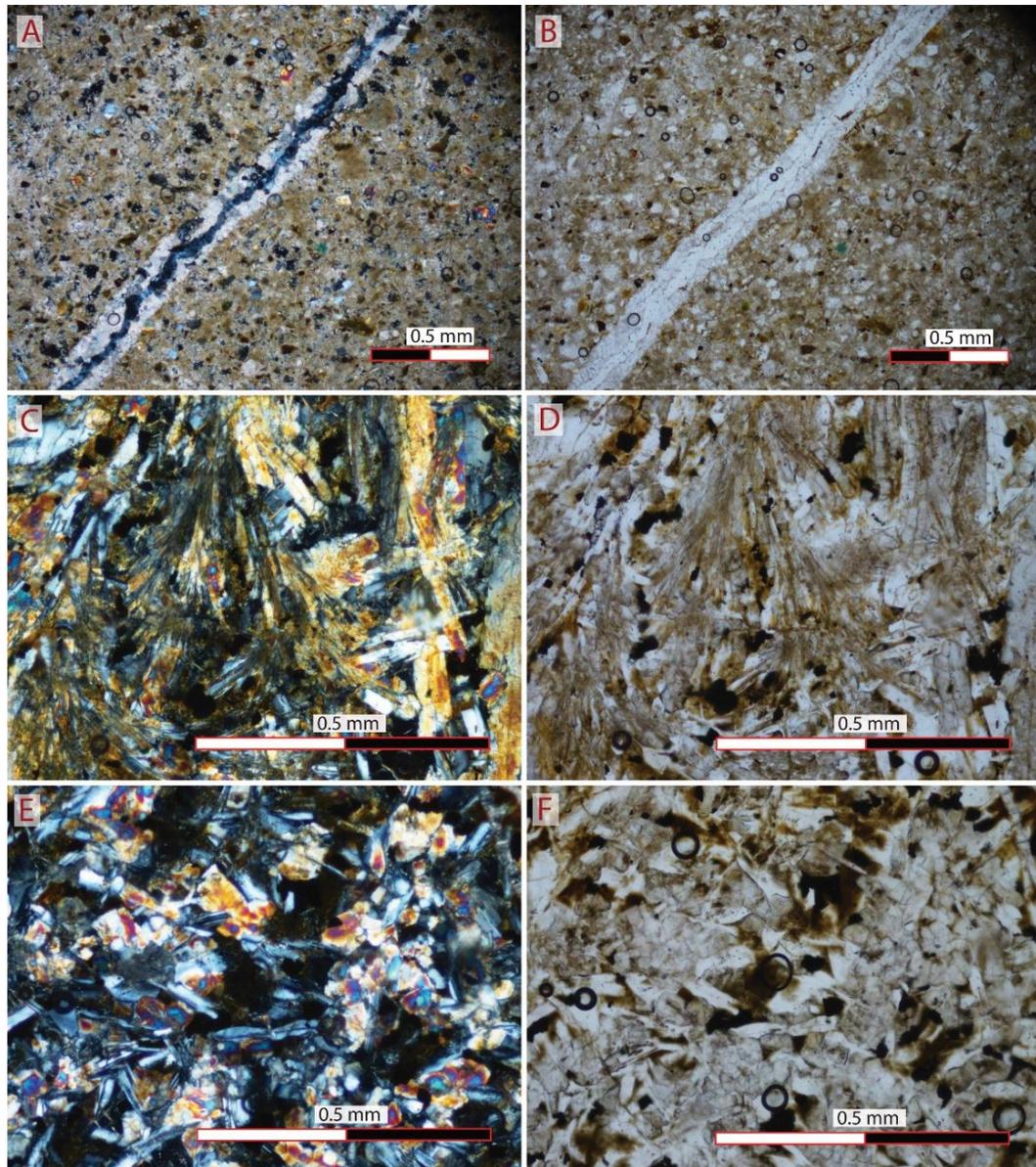
La mayoría de los clastos presentan los anteriores tipos de texturas, sin embargo, cabe mencionar que se identificó un clasto de tipo sedimentario.



**Figura 65.** Microfotografías de la muestra PC2-D1-12U2 (Corte A). **A, B, C y D:** vista general de la matriz, en las cuales se observa su conformación de micrita en donde se hallan inmersos bioclastos, minerales libres y fragmentos de litoclastos. **E y F:** corresponde con un clasto que presenta textura hipocrystalina hipidiomórfica. **G y H:** litoclasto basáltico con textura hipocrystalina hipidiomórfica.



**Figura 66.** Microfotografías de la muestra PC2-D1-12U2 (Corte B). **A y B:** vista general de la matriz clasificada como wackestone en la que se observan minerales libres y litoclastos principalmente. **C y D:** clasto con textura hipocristalina. **E y F:** en la parte superior se observa un litoclasto de origen sedimentario. **G y H:** clasto con textura basáltica.



*Figura 67. Microfotografías de la muestra D2-PC1-U2. A y B: matriz atravesada por una fractura rellena de zeolita con borde de reacción de calcita mineral, asimismo, se observan minerales libres como augita, plagioclasa y glauconita. C y D: clasto con característica textura microspinifex. E y F: clasto con textura basáltica.*

### **Muestra D2-PC1-U1**

Por último, en la secuencia estratigráfica de la sección tipo, se identificó una arenisca fina gris verdosa de composición calcárea, en contacto neto con una arenisca muy gruesa o

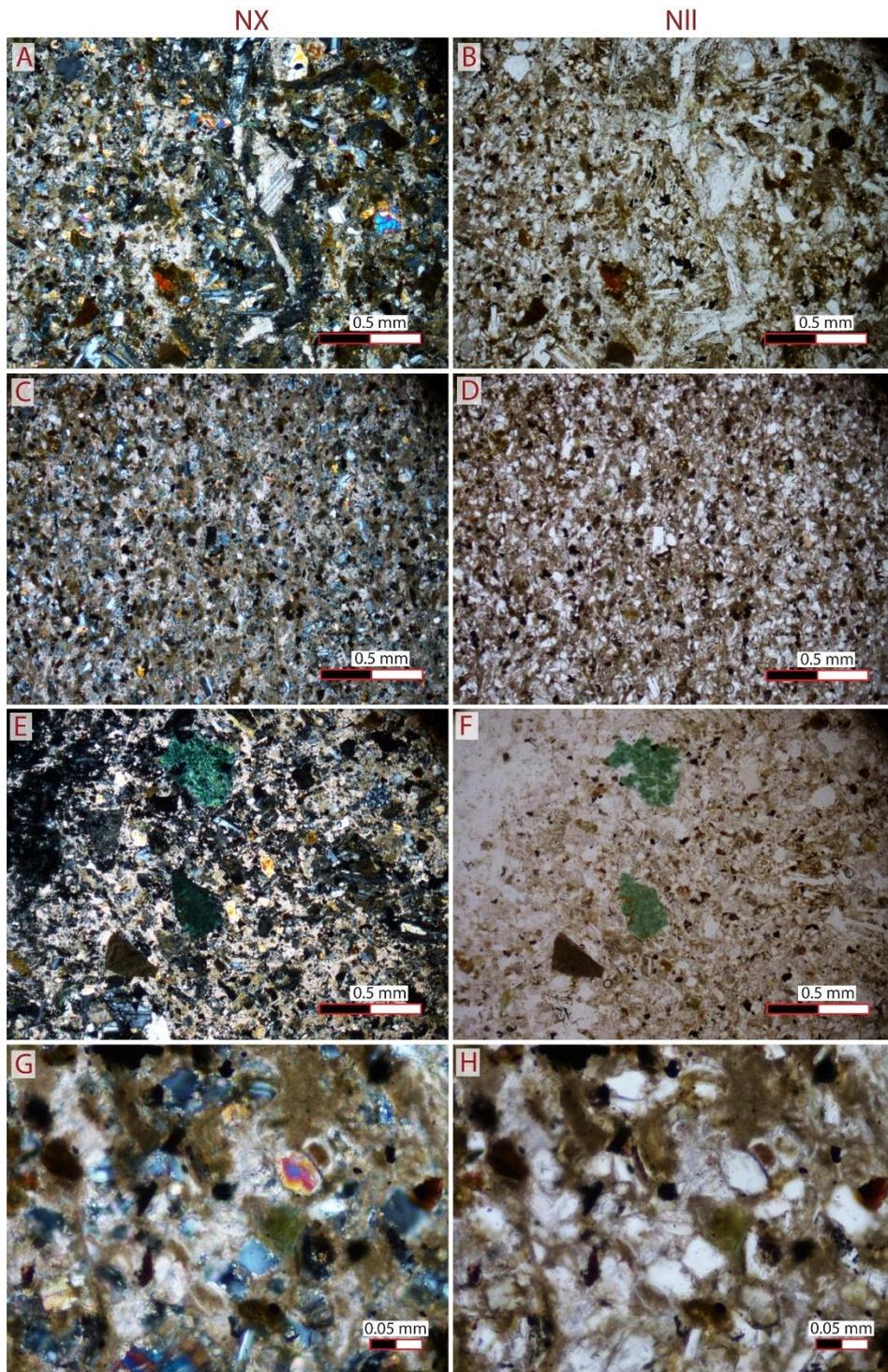
microbrecha color gris oscuro a verdoso con gránulos silíceos y opacos, ambas partes generan una reacción de ligera a media al HCl.

Microscópicamente, la lámina se compone de una arenisca muy fina y una arenisca gruesa, las cuales se encuentran en contacto de tipo neto y fueron clasificadas como *wackestone* en contacto con una litarenita feldespática.

La *wackestone*, contiene gránulos de composición variable, dentro de las que se encuentran plagioclasa, cuarzo, augita, alteraciones de estos últimos a uralita, zeolita y glauconita, los contactos entre sí son flotantes en un 60% de matriz composición calcárea (micrita), misma que su cemento. Los contactos son principalmente flotantes y se encuentran algunos puntuales. Se encuentran algunos fragmentos de foraminíferos, su porcentaje alcanza como máximo el 1% y aparecen de manera esporádica en la sección de la arenisca fina.

La litarenita feldespática presenta gradación por lo que el contenido de la matriz varía así se encuentra desde un 40% hasta un 60%. La matriz de esta arenisca gruesa, corresponde con una arenisca media grano soportado principalmente y arenisca fina matriz soportada, también se encuentran algunos contactos puntuales entre granos y unidos por un cemento de calcita. Se encuentran agregados subparalelos de laminillas de feldespatos a lo largo de toda la sección delgada. Es común la concentración de fenocristales de plagioclasa en conjunto con fenocristales de augita. Ocasionalmente se presentan fragmentos de foraminíferos. La mayoría de los litoclastos se encuentran completamente alterados, resultando pseudomorfos conformados por óxidos de hierro (hematita), sin embargo, es posible distinguir en algunas que presentaban texturas variolíticas y bastónicas. Principalmente se encuentran líticos de origen volcánico con texturas variolíticas, doleríticas, así como vidrio volcánico, en menor proporción de origen sedimentario (calcilitita).

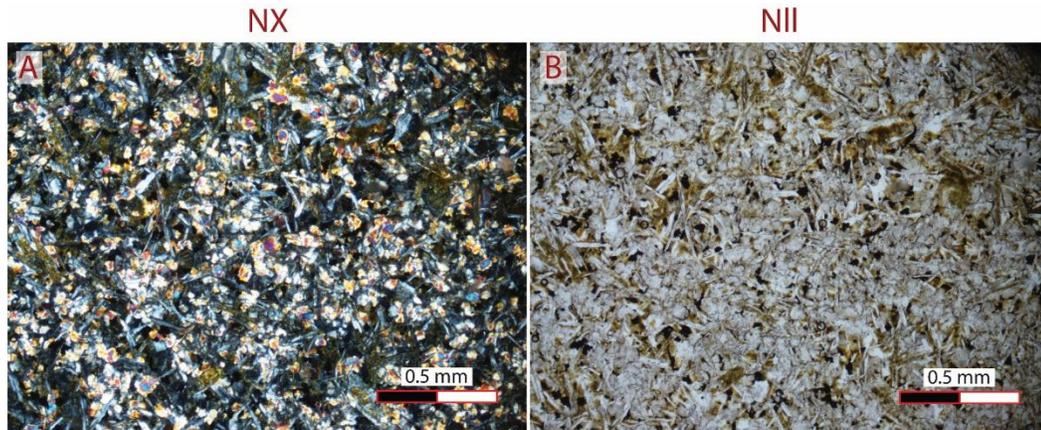
Se estima que un 10% de la microbrecha (o arenisca muy gruesa) presenta espacios vacíos, así mismo se encuentran fracturas sin relleno mineral. Los líticos son principalmente angulares y algunos subangulares. Presenta gradación, por lo que varía el tamaño de grano y la proporción de matriz (Figura 68).



**Figura 68.** Microfotografías de la muestra D2-PC1-U1. **A, B, E y F:** corresponde con la visualización de la arenisca gruesa en la cual se observan minerales de calcita mineral, augita, plagioclasa y se destaca la presencia de glauconita. **C, D, G y H:** corresponde con el detalle de la wackestone.

Tal como se mostró en la sección anterior, del registro litológico en el sector 6, ubicado en la hoja topográfica Cerro Azul (Figura 16), este corresponde con afloramiento de basalto meteorizado de manera similar a conglomerados. De dicho sitio se extrajo la muestra adjuntada en el anexo 1 con código PC2-D3-13-1 que corresponde con un basalto con la siguiente descripción:

Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica, con tamaños promedio de 0.11 mm x 0.10 mm, sin embargo, se hallan fenocristales de 0.55 mm x 0.07 mm. Se compone de plagioclasa, augita, minerales opacos y vidrio, dispuestos en una textura basáltica en la cual las plagioclasas halladas aleatoriamente contienen augitas en sus intersticios. Presenta alteración a sericita, óxidos de hierro y zeolita (Figura 69).



*Figura 69. Microfotografía de la muestra PC2-D3-13-1.*

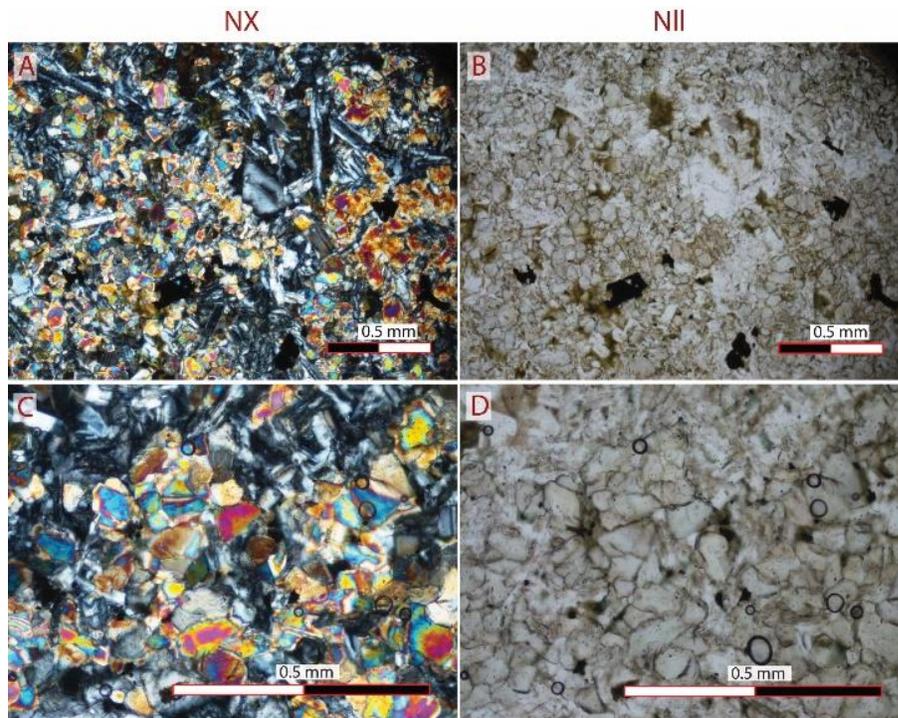
### ***Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.***

En esta sección, se muestran los resultados analizados a partir de las muestras extraídas en sitios puntuales ubicados principalmente en las islas (Figura 30).

La totalidad de las descripciones de las muestras extraídas en esta zona se incluyen en el anexo 2.

## Isla Cedros

En isla Cedros se extrajo la muestra con código PC5-IC-2, correspondiente con una roca hipocrystalina con textura glomeroporfirítica seriada. Presenta formas variadas, xenomórficas, hipidiomórficas y en menor proporción idiomórficos e identificada como basalto (Figura 69).



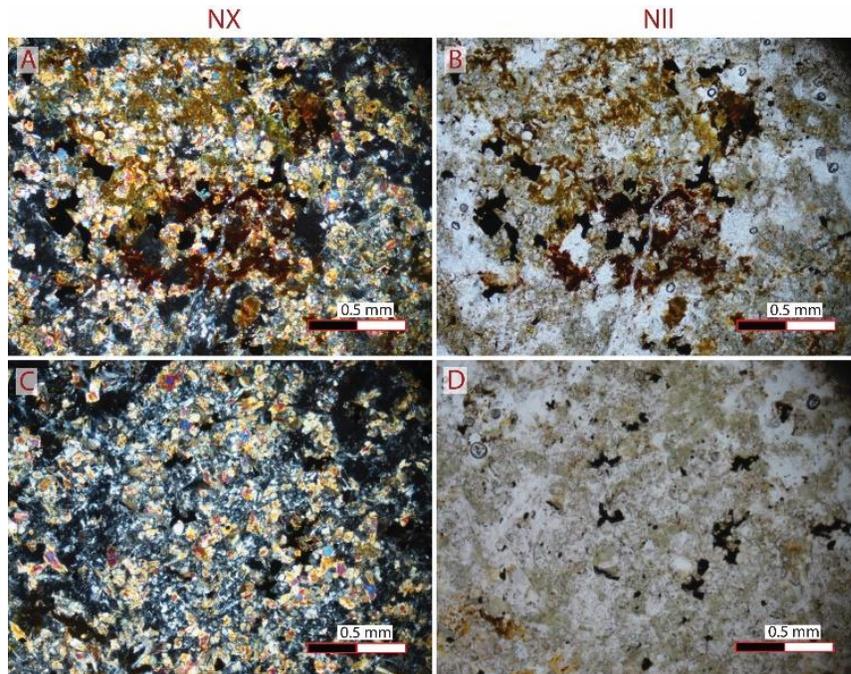
*Figura 70. Microfotografía de la muestra PC5-IC-2.*

## Isla Jesusita

Tal como se menciona en la sección de estratigrafía, en el punto registrado como Formación Puerto Carrillo en la isla Jesusita, la litología es similar a la de isla Cedros, correspondiente con una autobrecha de composición basáltica con un mayor grado de alteración, comprobándose esto en el análisis petrográfico realizada a la muestra PC5-IJ-1 (Figura 71) y se describe como: una roca de origen volcánico, muy meteorizada al menos el 50% de sus componentes han sido desprendidos, también estos mismos espacios vacíos en algunos sectores de la muestra, han sido rellenados con principalmente con zeolita y también cuarzo microcristalino tipo sílex.

Se compone de pseudomorfos de clinopiroxeno xenomórficos reemplazados a clorita. Tienen tamaño promedio de 0.08 mm x 0.1 mm, y se encuentran en aproximadamente un 59%.

Se observaron remanentes de plagioclasa principalmente xenomórfica, y tabular con tamaño promedio de 0.12 mm x 0.08 mm. Abarcarían aproximadamente un 30%. Un 3% corresponde con minerales opacos.



*Figura 71. Microfotografía de la muestra PC5-IJ-1.*

### **Isla Negritos Adentro**

En la secuencia estratigráfica registrada en isla Negritos (Figura 35) se describieron dos conjuntos de brechas, las cuales fueron analizadas microscópicamente, obteniéndose como resultado dos brechas epiclásticas de tipo monomícticas.

En la base de dicho afloramiento se extrajo la muestra con código PC5-IN-2.1 la cual, macroscópicamente corresponde con una brecha fina a media, ya que, el tamaño de sus componentes es muy variable, se hallan clastos con tamaño menor a 0.5 mm hasta 3 cm x 1.7 cm. Asimismo, la abundancia de su matriz varía desde un 30% hasta un 70% la cual corresponde con una lutita de color beige de composición calcárea, presenta alta reacción al

HCl, aleatoriamente, se encuentran concentraciones de clastos de tamaño milimétrico (desde arenisca media) con bordes difusos (Figura 72).



*Figura 72. Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.1.*

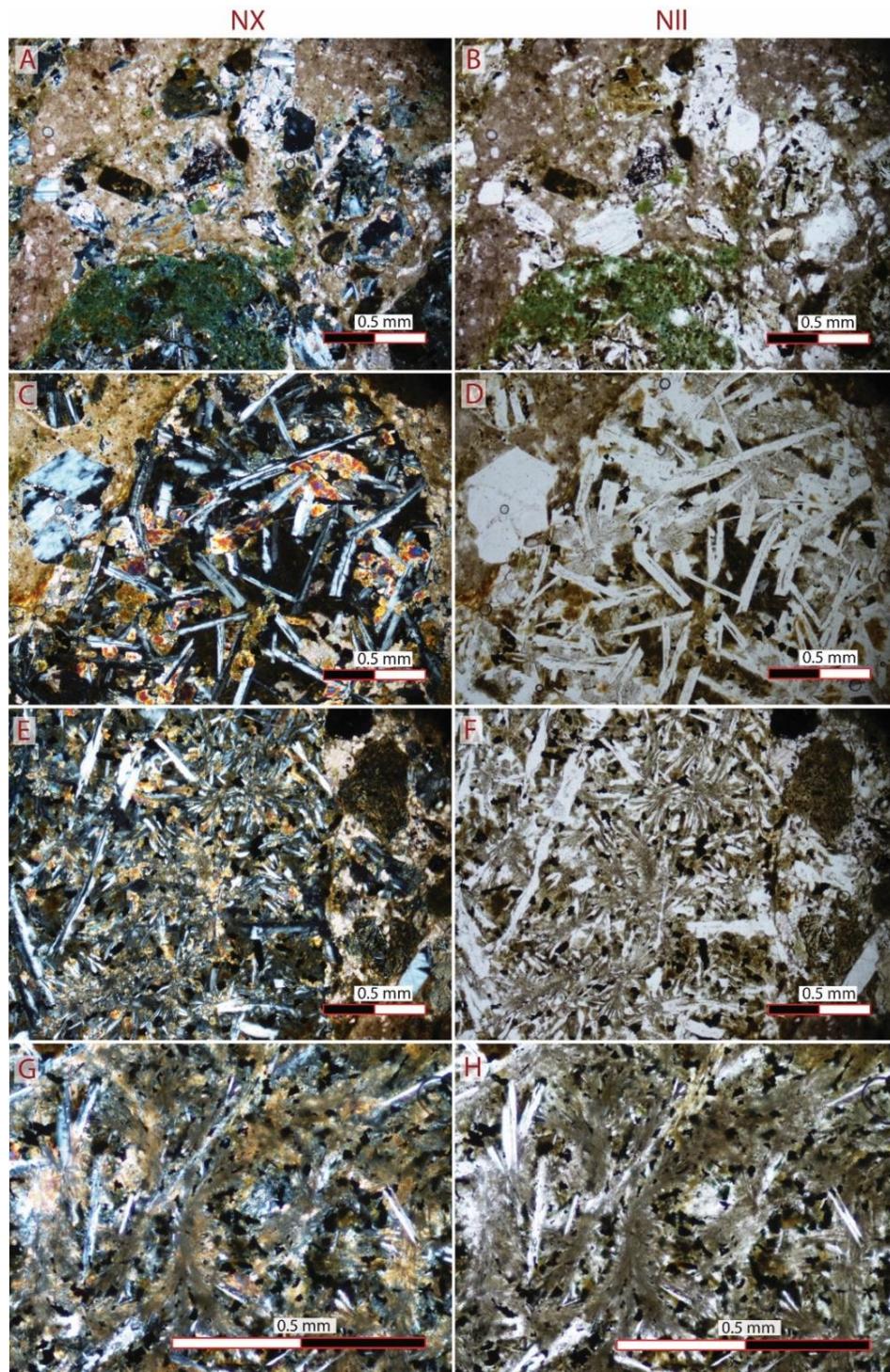
Microscópicamente (Figura 72), la matriz se compone de minerales microcristalinos de calcita (micrita) con minerales inmersos de plagioclasa, cuarzo, augita, fragmentos de vidrio y minerales alterados a óxidos y en proceso de uralitización. Su abundancia es variable entre 20% hasta un 60%. En general el material está alterado principalmente por óxidos en fracturas.

Los clastos de acuerdo con su composición corresponden en su totalidad con basaltos presentando los siguientes tipos de texturas:

-Textura hipocristalina, con tamaño de mineral promedio de 0.15 mm x 0.04 mm. Presenta plagioclasas con formas aciculares, dispuestas de manera aleatoria con augita en sus intersticios, asimismo, este clinopiroxeno se halla en estructuras plumosas.

- Textura hipocristalina, con minerales de plagioclasa y augita de tamaño de 0.37 mm x 0.10 mm dispuestos en una textura basáltica (plagioclasa sin orientación preferencial con clinopiroxenos en sus intersticios) con vidrio alterado con coloraciones verdes y/o cafés.

Continuando en orden estratigráfico, se recolectó la muestra con el código PC5-IN-2.2 (Figura 74) y corresponde con una brecha media constituida en un 20% de matriz correspondiente con una lutita color beige cuando está sana, sin embargo, está principalmente alterada con un característico rojo-vino con pátinas color verde lima, esta es de composición calcárea.



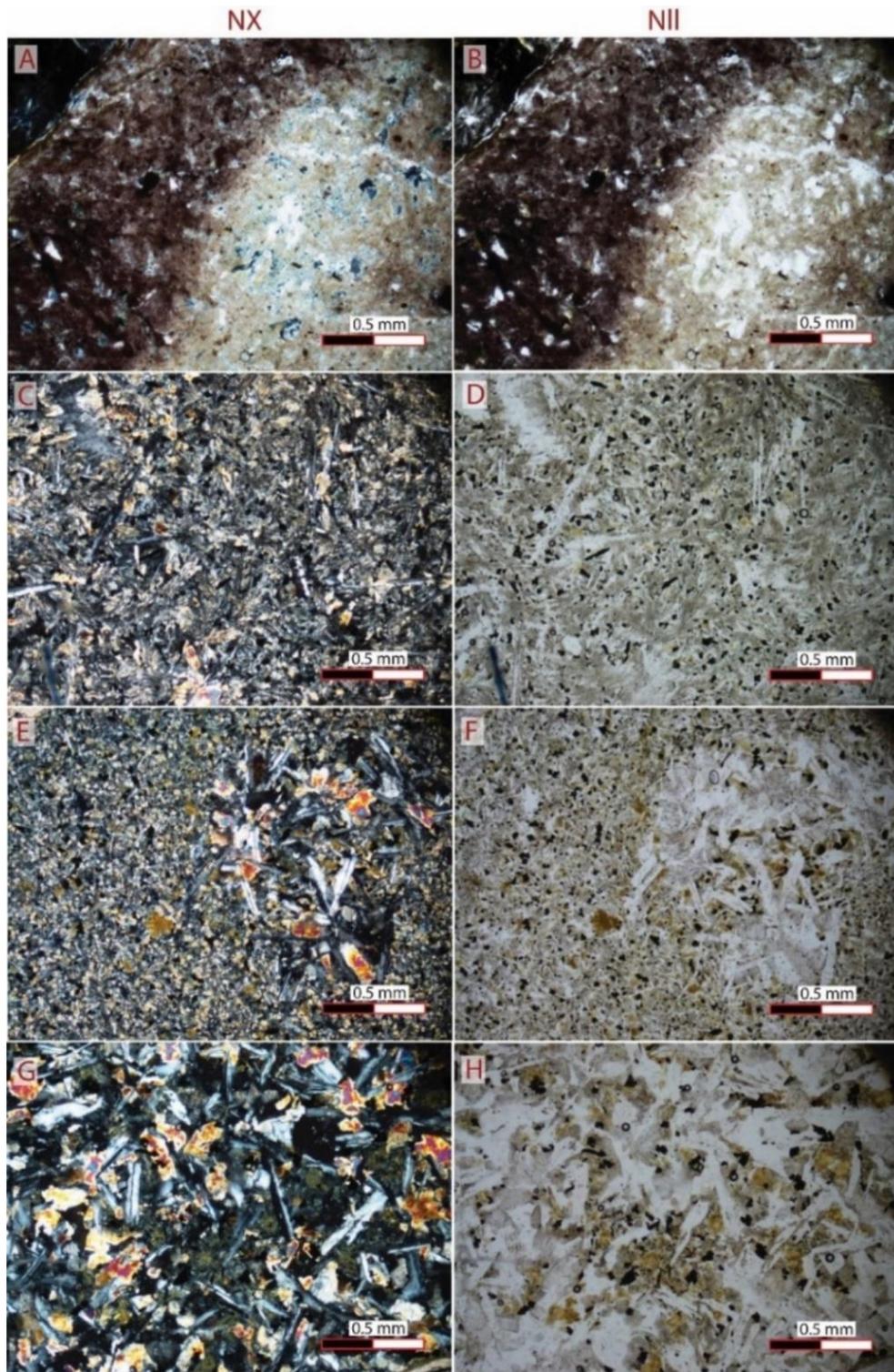
**Figura 73.** Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.1. **A-B:** vista general de la muestra en la que se observa parte de la muestra constituida por wackestone con clastos alterados a calcita. **C-D:** Clasto con textura basáltica. **E-F:** clasto con textura particular con plagioclasas dispuestas en forma radial o divergente. **G y H:** detalle de clasto con clinopiroxenos en estructura plumosa.



**Figura 74.** Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.2 a.

Microscópicamente, la muestra PC5-IN-2.2a, corresponde con una brecha media compuesta por una matriz calcárea conformada por micrita y microesparita principalmente, sin embargo, también contiene calcita cristalina. Asimismo, el cemento y bordes de reacción de los clastos en la matriz se constituyen de calcita cristalina. Se encuentra alterada por oxidaciones de particular coloración marrón-rojizo de hierro, mostrada en la Figura 75. El desprendimiento de clastos disolución de componentes de la matriz, provocó un 15% de porosidad secundaria. Los clastos son subredondeados y subangulares, y principalmente su configuración es clasto soporte. Todos son de composición basáltica y presentan texturas *microspinifex*, glomeroporfiríticas y basálticas (Figura 75).

Continuando en el orden estratigráfico de la sección registrada en isla Negritos, se analizó la muestra de brecha con el código PC5-IN-2.2b. La cual corresponde también con una brecha epiclástica monomítica, la muestra extraída (Figura 75), esta se caracteriza por ser una brecha media compuesta en un 15% de matriz y 85% de clastos. Clasto soportado, la matriz se distingue una granulometría muy fina color verdosa de la cual en algunas secciones genera reacción al HCl (principalmente en los bordes de los clastos) y en otras no, asimismo, con segmentos de matriz constituidos completamente por óxidos y se distingue también una sección de la matriz correspondiente con *chert*. Los clastos se encuentran con tamaños desde 1 mm x 1mm hasta 1.6 cm x 2.95 cm, de composición ígnea en su totalidad correspondientes con fragmentos de color gris oscuro con textura porfirítica de la cual se distinguen opacos. Los contactos que más se presentan con tangenciales-planares, sin embargo, también se observan algunos puntuales y cóncavos-convexos. El 40% de los clastos presenta un núcleo de alteración (oxidación de hierro) reconocible por su coloración rojiza.



**Figura 75.** Microfotografía de la muestra PC5-IN-2.2 a. **A-B:** vista de la matriz alterada por oxidaciones de particular coloración marrón-rojizo. **C-D:** clasto con textura microspinitex. **E-F:** clasto con textura glomeroporfirítica. **G-H:** clasto de basalto.



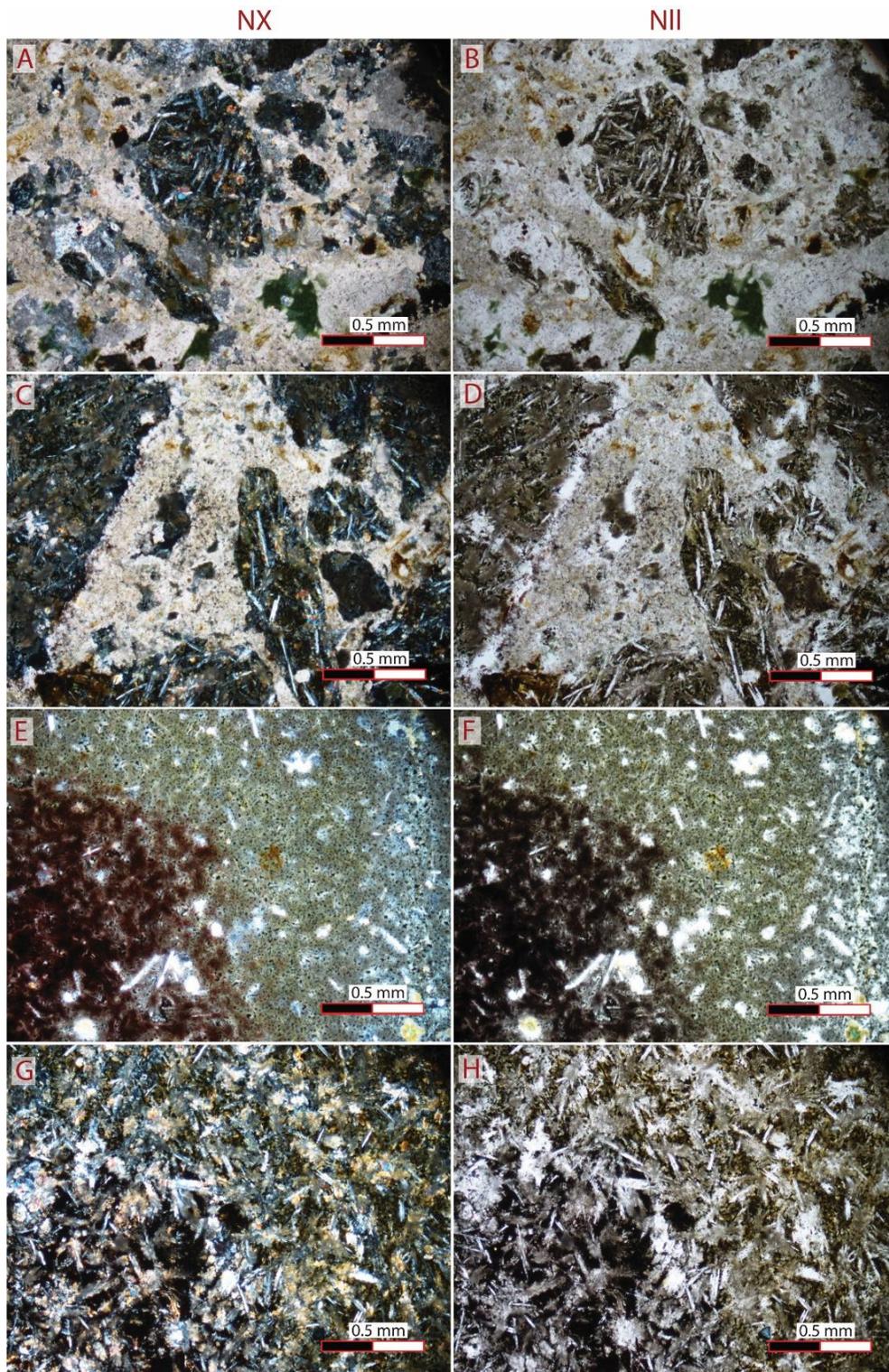
*Figura 76. Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.2b.*

Microscópicamente, la matriz se compone en su totalidad de calcita, la cual se encuentra principalmente de manera cristalina, aunque una baja proporción (máximo 10%) se encuentra como microcristales (micrita-microesparita). Asimismo, el cemento corresponde con calcita cristalina. Además de la matriz, presenta rellenos y bordes de reacción de clastos compuestos de calcita cristalina.

La mayoría de los espacios vacíos producto de la porosidad primaria, se encuentran rellenos por microesparita – micrita y calcita mineral. Sin embargo, tienen algunos espacios de fracturas y desprendimientos de clastos por abrasión sin relleno alcanzando como máximo un 1%.

Los clastos tienen proporciones similares clastos tanto subangulosos, como subredondeados.

La brecha se encuentra granosoportada, en los cuales los clastos mantienen contactos planares-tangenciales principalmente. Generalmente, los clastos se encuentran fragmentados y en medio de las fracturas se hallan rellenos de calcita cristalina, la composición de estos es basáltica en la totalidad de los clastos que se hallaron y los cuales además presentan un solo tipo de textura en particular con diferencias en sus grados de meteorización. Son de textura hipocristalina compuesta por plagioclasa, augita, vidrio, minerales opacos y remanentes de olivino, los cuales se disponen en una textura del tipo microspinifex. Los clastos presentan alteración diferencial entre su núcleo y borde de reacción, en su interior, la alteración tiene coloraciones marrones rojiza en sus intersticios (Figura 77).



**Figura 77.** Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.2b. *A, B, C y D:* vista general de la brecha en las que se incluye parte de la matriz y clastos con textura microspinitex. *E-F:* remanentes de clastos con alteración diferencial de óxidos. *G-F:* detalles de la textura microspinitex en los clastos.

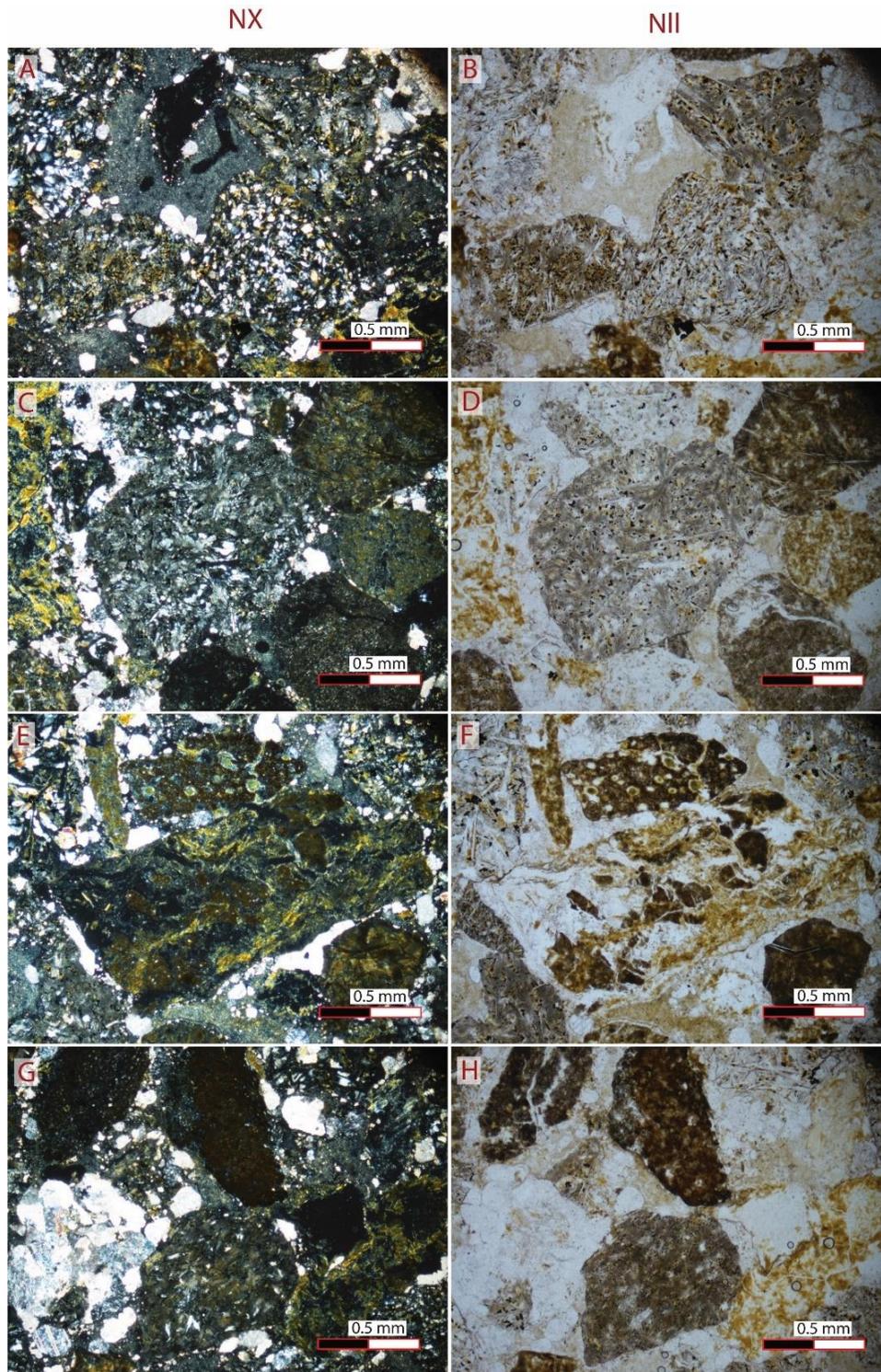
Por último, de manera aislada en isla Negritos, específicamente en el punto con coordenadas 1086288.711 N / 405983.769 E, se tomó la muestra con código PC5-IN-1 (Figura 78). Esta corresponde con una brecha fina compuesta en un 20% por matriz de granulometría muy fina con ligera reacción al HCl. Los clastos principalmente soportantes son subangulares con tamaño promedio de 1.5 mm x 1.5mm y presentan contactos puntuales, su composición es principalmente ígnea (textura afanítica) sin embargo, hay un porcentaje que no es reconocible macroscópicamente, por alteración.



*Figura 78. Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-1.*

Microscópicamente corresponde con una brecha fina con clastos de tamaño promedio de 1.5 mm x 1 mm constituida por un 15% a 20% de matriz, la cual ha sido reemplazada por calcita mineral, y en algunas secciones se halla constituida por micrita-microesparita. Presenta un alto grado de meteorización y alteración a óxidos.

Textural y composicionalmente se distinguieron cuatro tipos de litoclastos de origen ígneo: el tipo 1 son hipocristalinos con textura microspinifex en la cual los clinopiroxenos se disponen en estructuras de plumas y/o radiales divergentes, las cuales tienen tamaño promedio de 0.06 mm x 0.26 mm. El tipo 2, son hipocristalinos, constituidos en un 70 % por minerales de augita dispuesta de manera radial divergente y en estructuras plumosas. El tipo 3, hipocristalinos, compuestos en un 15% por vidrio alterado por oxidación, un 5% por minerales opacos, un 55% por augita xenomórfica con tamaño promedio de 0.06 mm x 0.08 mm, y, por último, se halla un 25% de feldespatos, corresponden con pseudomorfos de plagioclasa hipidiomorfa tabular alargada. Y el tipo 4 corresponde con clastos no reconocibles por su alto grado de oxidación y arcillitización (Figura 79).



*Figura 79. Microfotografías de las vistas generales de la configuración de la muestra PC5-IN-1. A-B, C-D: clastos con remanente textura microspinfex-variolítica. E-F y G-H: secciones de matriz con recrystalizaciones de calcita cristalina, también se hallan fragmentos de vidrio y clastos completamente oxidados.*

## Playa Órganos

Considerando la sección estratigráfica registrada en playa Órganos (Figura 36), se recolectaron en orden estratigráfico las siguientes muestras macroscópicas descritas y analizadas microscópicamente.

*Muestra con código PC3-D3-A1U2.1.*

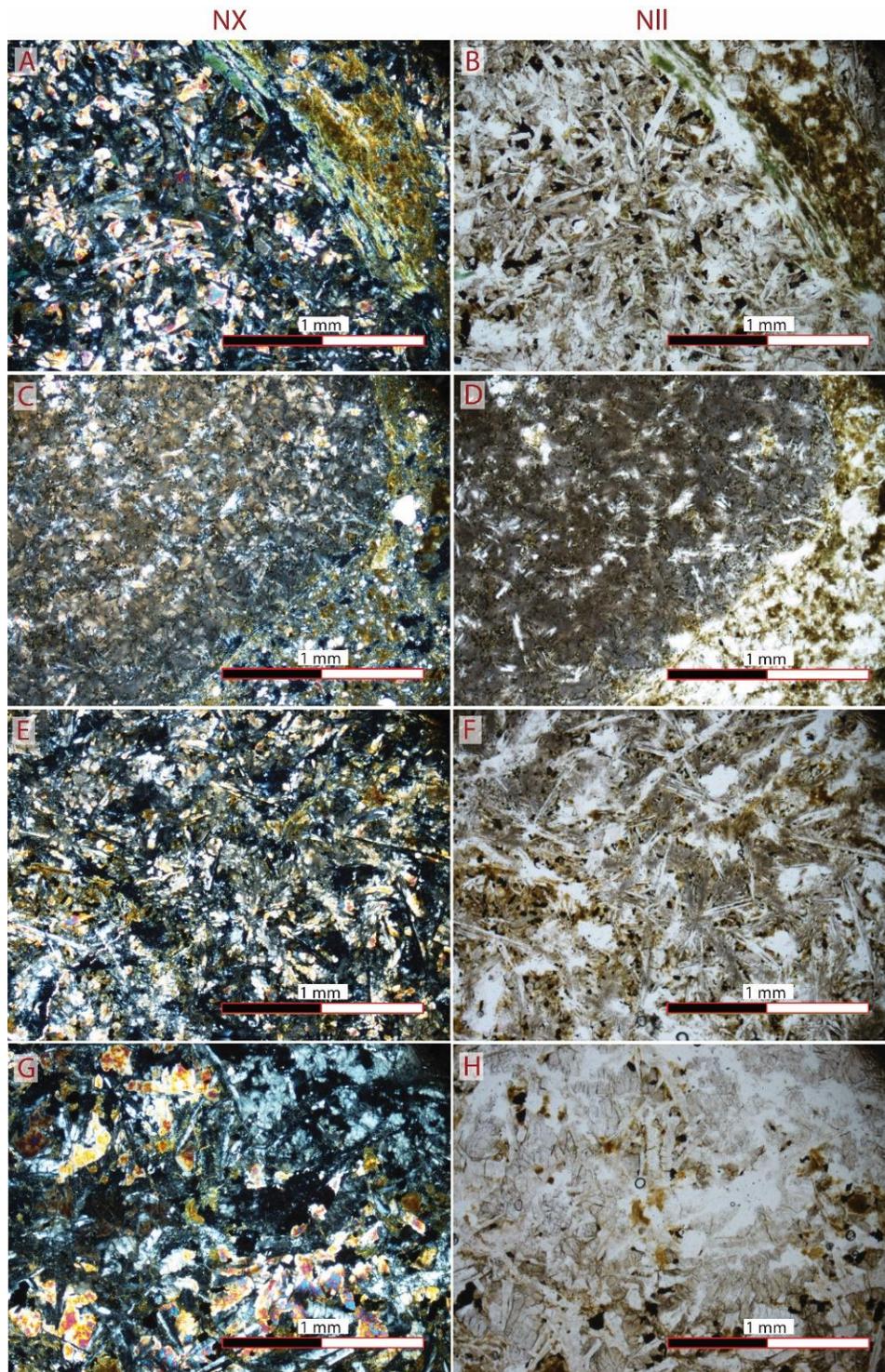
Corresponde con una brecha media constituida en un 90% de clastos y un 10% de matriz (Figura 80), se encuentra clasto soportado y su matriz no es distinguible macroscópicamente. Los tamaños de clastos se encuentran desde 3 mm x 4 mm hasta de 3.3 cm x 1.2 cm, estos son de composición basáltica en su totalidad), la mayoría presenta un borde de alteración blanco, asimismo, se hallan en contactos puntuales y tangenciales principalmente, aunque también se encuentran algunos cóncavos-convexos.



*Figura 80. Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U2.1.*

A partir del análisis microscópico, la muestra fue clasificada como una brecha alterada de origen volcánico, por su estado de meteorización. Fue posible distinguir que la matriz se constituye de vidrio volcánico con coloraciones cafés, generalmente oxidadas, con alteraciones de clorita y reemplazos a zeolita.

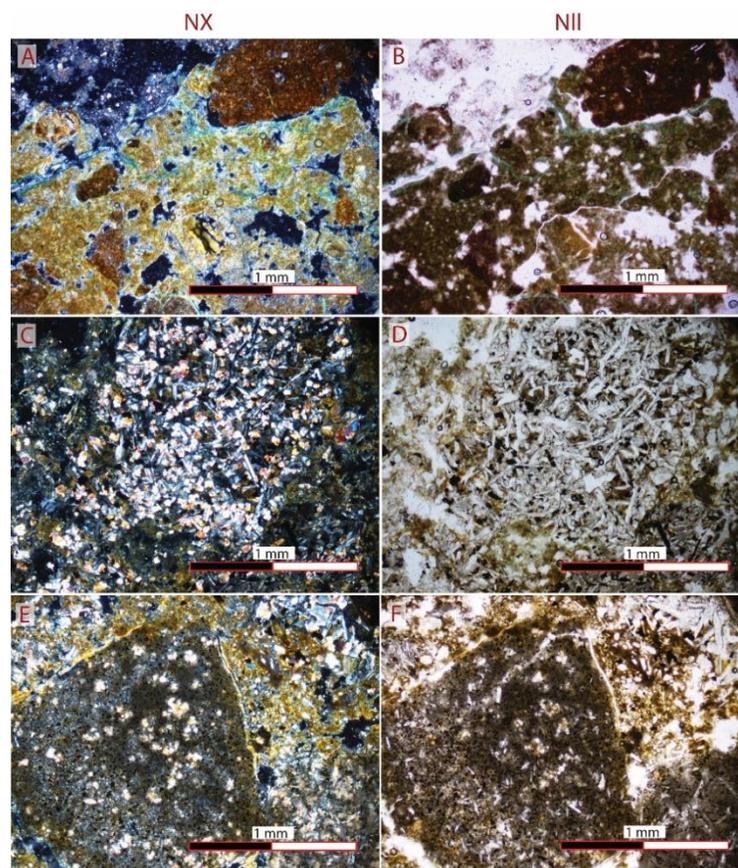
Los clastos se caracterizan por ser de composición basáltica con texturas glomeroporfíricas seriadas, basálticas, subofíticas y microspinifex (Figura 81).



**Figura 81.** Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U2.1. **A-B:** visual de una sección de matriz correspondiente con vidrio alterado y parte de un clasto con textura basáltica. **C-D:** sección de matriz y alteración diferencial en clasto remanente con textura microspinfex. **E-F:** detalle de clasto con textura microspinfex. **G-H:** remanente de clasto con textura subofítica.

*Muestra con código PC3-D3-AIU2.2.*

Corresponde con una brecha media alterada de tipo volcánica, conformada en un 15% de matriz la cual se encuentra completamente alterada a óxidos, presenta además coloraciones verdosas y se distinguen rellenos de zeolitas, no genera reacción al HCl, por otra parte, el restante 85% se constituye de clastos subangulosos y son de origen ígneo. Microscópicamente, se determinó que la matriz corresponde con una brecha fina constituida en un 30% de matriz y 70% de clastos (sin embargo, esta proporción es variable, en ocasiones, se encuentra en un 20% hasta máximo un 40%) la cual se compone de vidrio volcánico muy alterado. Los clastos se encuentran muy alterados, sin embargo, se distingue por sus texturas a que en su totalidad fueron de composición ígnea, son principalmente angulosos con tamaños desde los 0.5 mm x 0.23 mm hasta 1 mm x 0.53 mm. Y que los clastos presentan texturas hipocristalinas basálticas, microspinifex y remanentes con microlitos de augita (Figura 82).

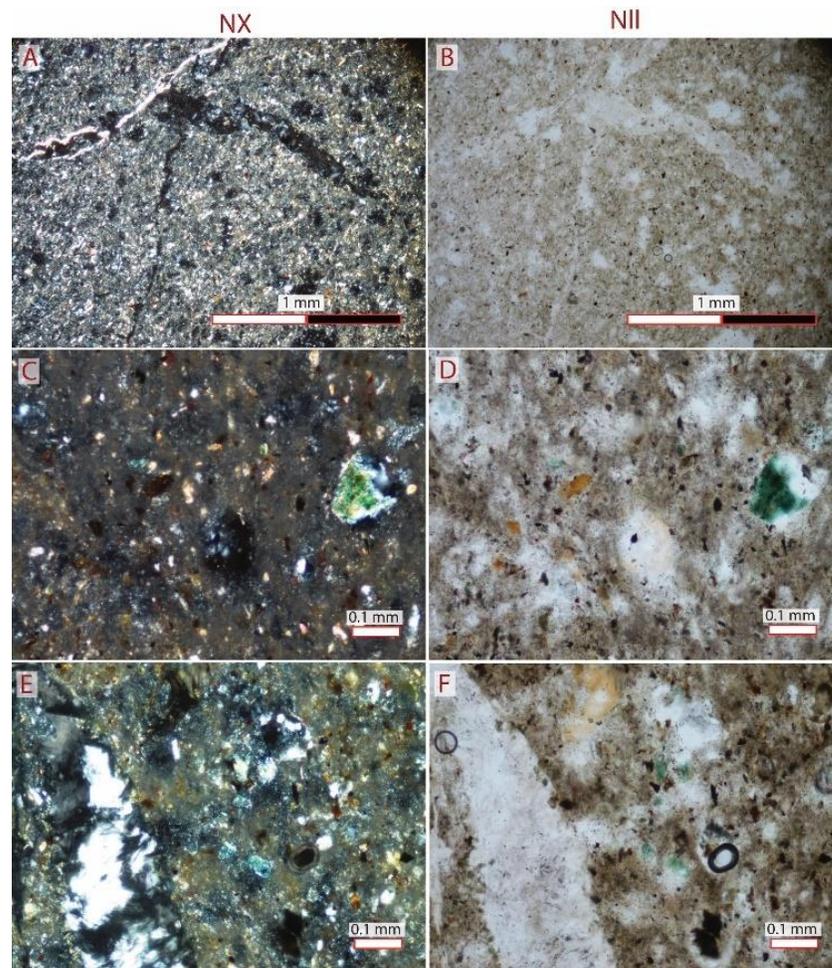


**Figura 82.** Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U2.2. **A-B:** vista general de la muestra en la que se observa remanente de la matriz alterada a clorita y clastos completamente oxidados. **C-D:** clasto con textura basáltica. **E-F:** clastos con textura remanente microspinifex.

*Muestra con código PC3-D3-A1U1.*

Corresponde con una lutita siliciclástica color gris oscuro cuando se encuentra sano y color café cuando está alterada, es de composición silícea y se encuentra interrumpida por vetillas de cuarzo, asimismo, se encuentra algunos granos de pirita diseminada.

Microscópicamente (Figura 83) se caracteriza como un barro arenoso impregnado con arcilla y granos de óxidos dispersos – flotantes, así como plagioclasa, augita, glauconita, óxidos, clorita, cuarzo, fragmentos de vidrio y opacos. Con vetillas de cuarzo policristalino, zeolita y calcita. Se configura por un 70% de matriz y un 30% de granos.



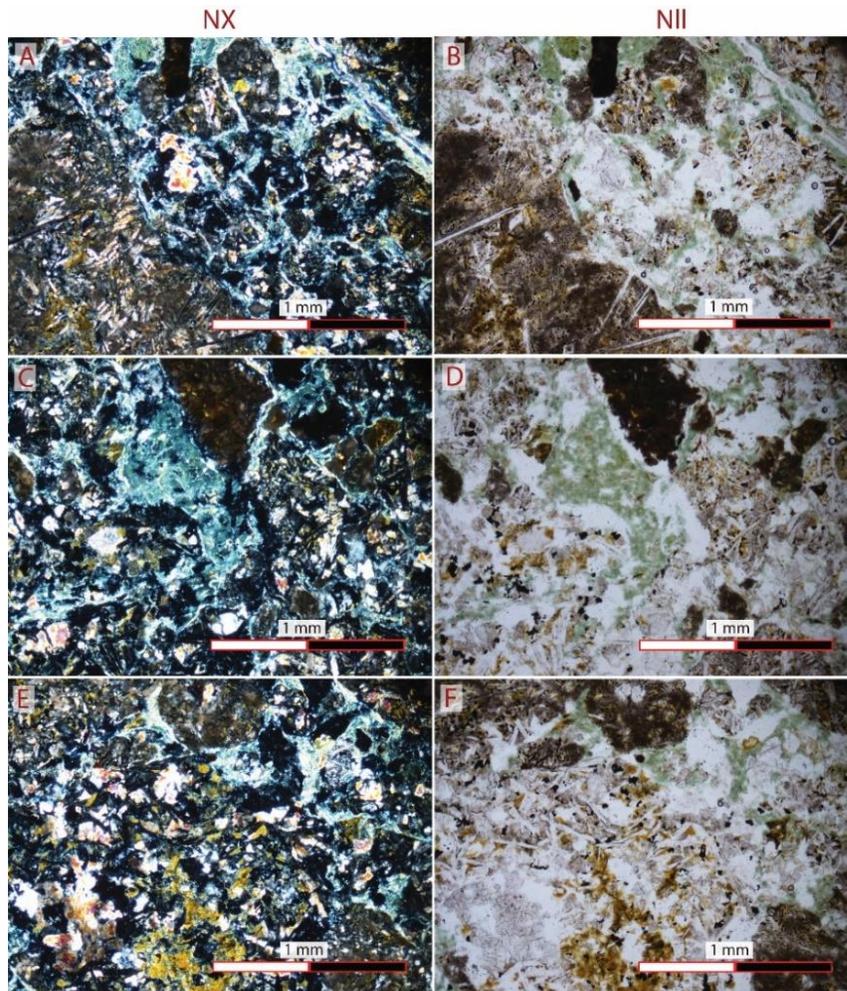
*Figura 83. Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U1.*

*Muestra con código PC3-D3-A1-CP.*

Macroscópicamente corresponde con una brecha fina constituida en un 60% de matriz y un 40% de clastos. La muestra se encuentra muy alterada y meteorizada (poco

consolidada-deleznable), la alteración le generó una coloración verdosa, algunas vetillas son de composición calcárea, sin embargo, la matriz no reacciona al HCl. Se encuentra clasto soportado de manera bimodal (existe una pequeña fracción con granulometría más fina soportado por la matriz). Contactos principalmente puntuales y algunos planos. Sus formas son principalmente subangulares, con tamaño promedio de 0.7 cm x 0.45 cm y mínimos de 1 mm x 1 mm.

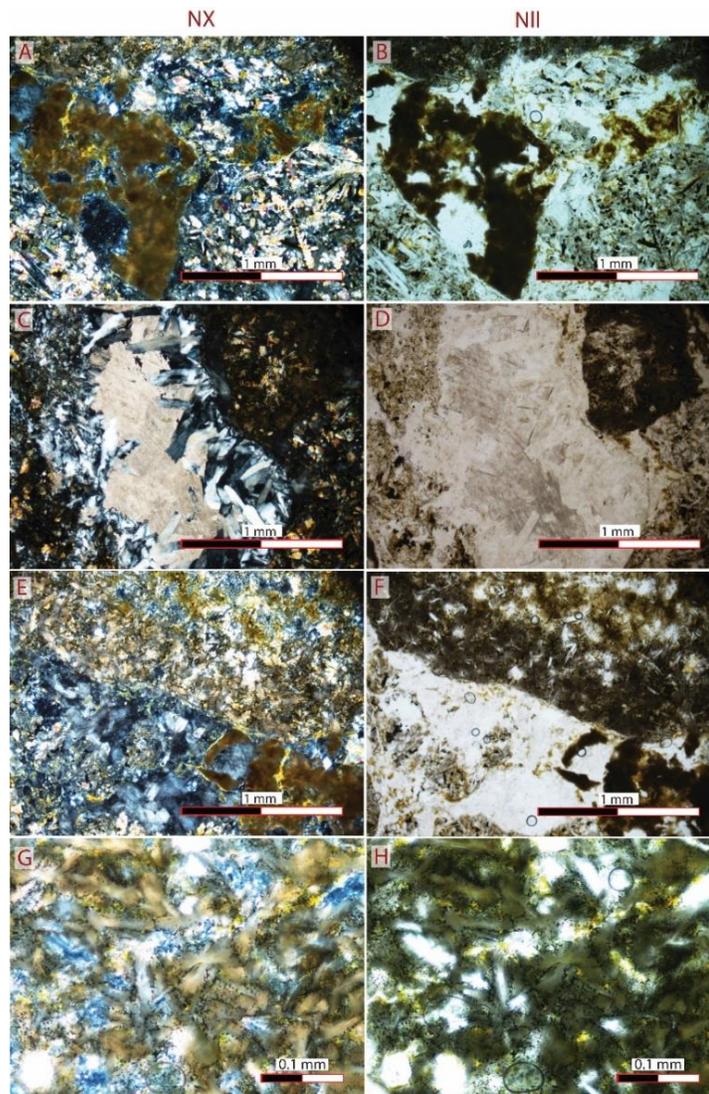
Microscópicamente (Figura 84), catalogada como brecha alterada de tipo volcánica se reconoce como una brecha media muy alterada. La matriz se encuentra completamente reemplazada por clorita en conjunto con minerales de alteración de óxidos y vetillas de calcita; Y representa un 40%, mientras que los clastos abundan en un 60%. Fue posible identificar litoclastos con remanentes texturas microspínifex y basálticas.



*Figura 84. Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-CP. A, B, C, D, E y F: corresponden con vistas microscópicas generales en las que se observa remanentes de matriz completamente alteradas a clorita, así como remanentes de clastos con texturas microspínifex y basálticas.*

*Muestra con código PC3-D3-A1-U3.*

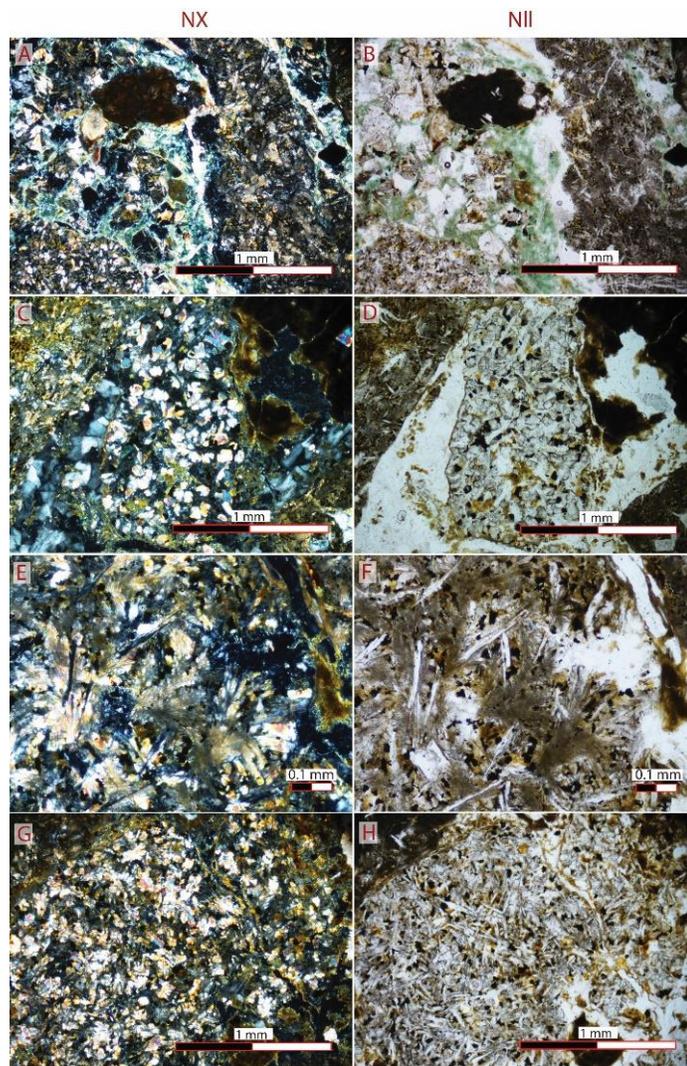
Debido a su alto grado de alteración, su descripción se basa en el análisis microscópico el cual permitió conocer que la muestra corresponde con una brecha fina a media constituida en un 15% de matriz y un 85% de clastos de origen ígneo, en su mayoría se encuentran fragmentados y oxidados. Se encuentran pseudomorfos de la matriz original, la cual correspondería con vidrio, sin embargo, la mayoría ha sido reemplazada por zeolita y calcita. La mayoría de los clastos están alterados completamente a óxidos con pseudotexturas radiales con minerales opacos en sus intersticios, asimismo, clastos con texturas reconocibles basálticas, y en estructuras plumosas de augita (Figura 85).



**Figura 85.** Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U3. **A-B:** visión general de la brecha en la que se observa clasto oxidado remanente. **C-D:** reemplazo de matriz por borde de zeolita con relleno de calcita cristalina. **E-F:** Remanente de clasto con textura microspinifex.

*Muestra con código PC3-D3-A1-U4.*

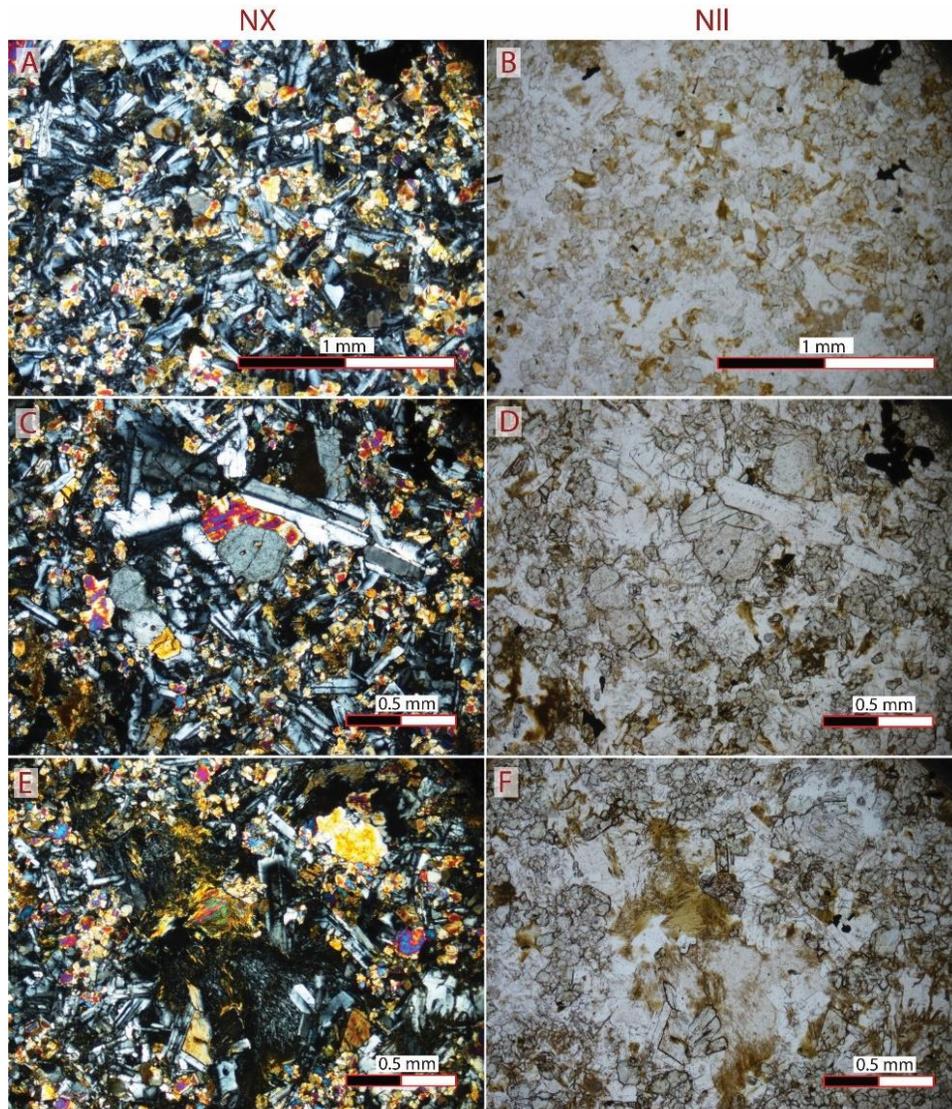
La muestra corresponde con una brecha alterada de origen volcánico. La matriz se encuentra completamente reemplazada por óxidos de hierro e hidróxidos en al menos la mitad de su proporción, la otra mitad se encuentra disuelta dejando espacios vacíos que han sido rellenados por minerales secundarios de calcita y zeolita. En algunos reemplazos de óxidos es distinguible la alteración de vidrio, por lo que se deduce que la matriz era vidrio el cual se encuentra ahora alterado a óxidos. Los clastos que contiene dicha brecha son de origen ígneo y presentan texturas microspínifex, basálticas y otras con un alto grado de oxidación en los que se reconocen remanentes texturas aciculares divergentes (Figura 86).



*Figura 86. Microfotografías de PC3-D3-A1-U4. En las imágenes A, B, C, D: se muestra la configuración general de la brecha con su remanente brecha constituida por vidrio principalmente reemplazado por óxidos y clorita. En E, F, G y H: se detallan clastos con textura microspínifex y basáltica respectivamente.*

*Muestra con código PC3-D3-A1-U5.*

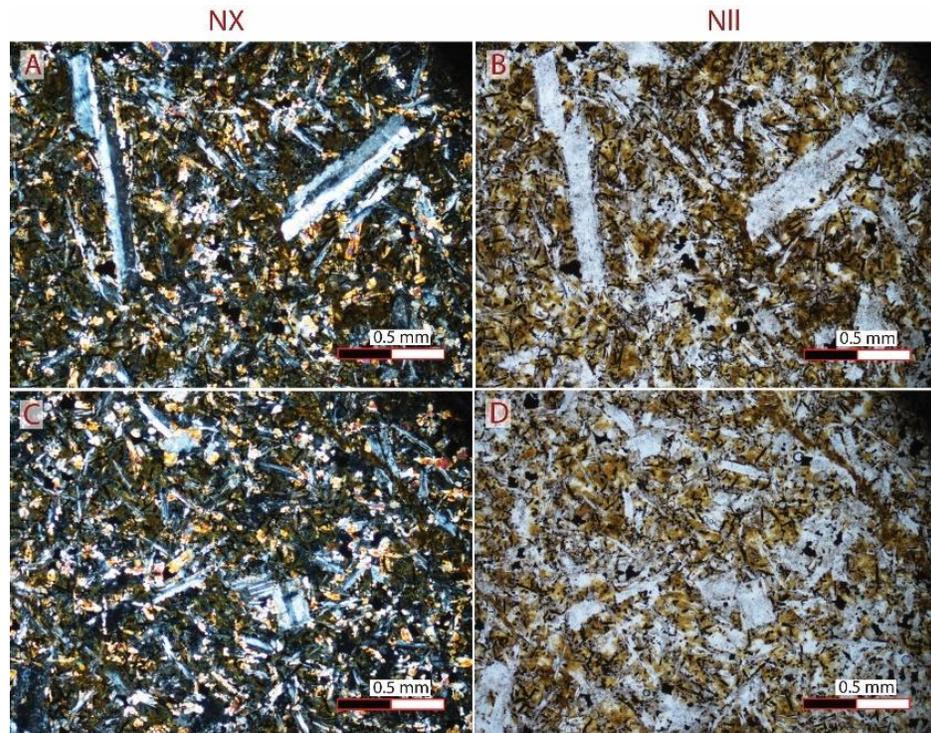
Finalmente, de la autobrecha registrada en la sección estratigráfica de Playa Órganos, se extrajo la muestra con código PC3-D3-A1U5. Corresponde con un basalto, descrito como roca hipocristalina, glomeroporfirítica seriada, con textura basáltica (plagioclasa dispuesta de manera aleatoria con piroxeno en sus intersticios) (Figura 87). De manera general, las formas que presentan son hipidiomórficas principalmente. La muestra presenta alteraciones de óxido, zeolita y arcillitización (sericita en feldespatos). Asimismo, presenta alteraciones de clorita y epidota en conjunto.



*Figura 87. Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U5. Basalto caracterizado con una textura basáltica, glomeroporfirítica seriada.*

## Isla Alcatraz

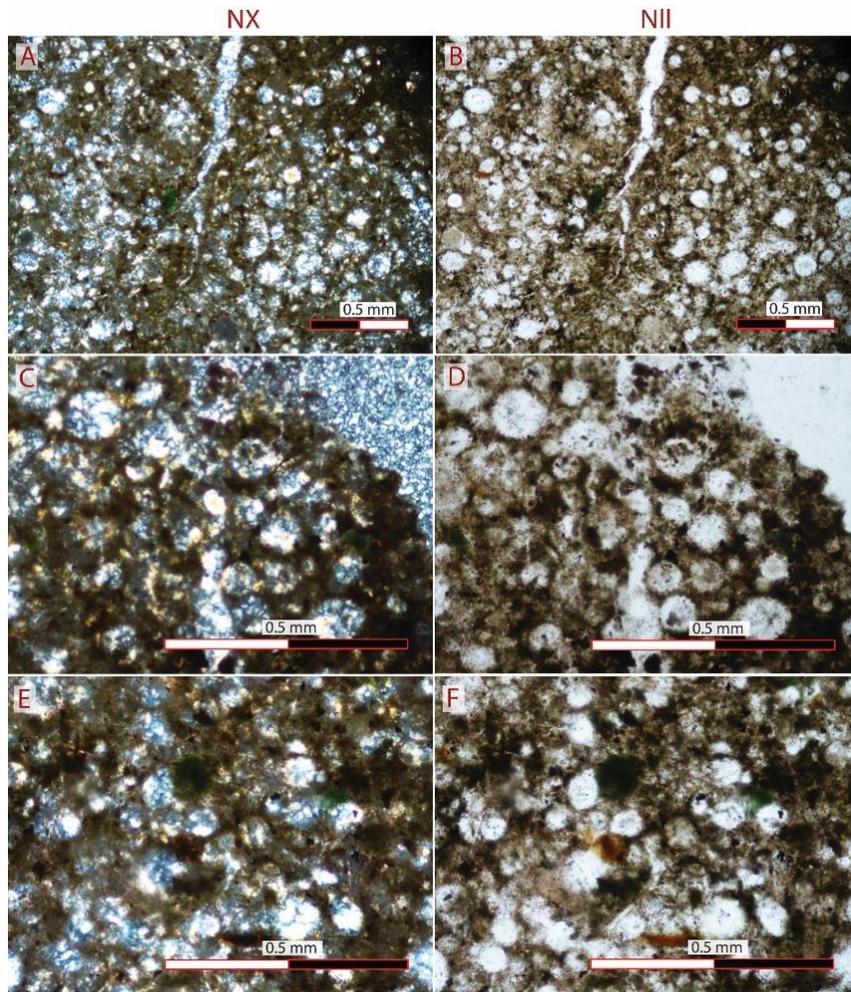
Del punto visitado en isla Alcatraz en el que se identificó una autobrecha basáltica con intrabloques de *cherts*, se extrajo la muestra PC5-IA-1, la cual corresponde con un basalto con textura hipocristalina glomeroporfirítica seriada con textura basáltica, plagioclasa dispuesta de manera aleatoria con augita en medio (Figura 88).



*Figura 88. Microfotografías de la muestra PC5-IA-1. A, B, C, D: vista general de la muestra con textura basáltica glomeroporfirítica seriada.*

## Isla Tolinga

En isla Tolinga, se extrajo la muestra PC5-Ito-1. Es una lutita silíceosa color gris pardo, se encuentra interrumpida por fragmentos alargados ondulados (de hasta 0.7 cm x 4.5 cm) de calcedonia color marrón-rojizo. El componente principal que contiene la lutita son bioclastos de radiolarios los cuales se encuentran en al menos un 70% y en su mayoría sellado con minerales microcristalinos de cuarzo, asimismo, componentes de glauconita, clorita, fragmentos de vidrio, arcillas, óxidos y opacos (Figura 89).



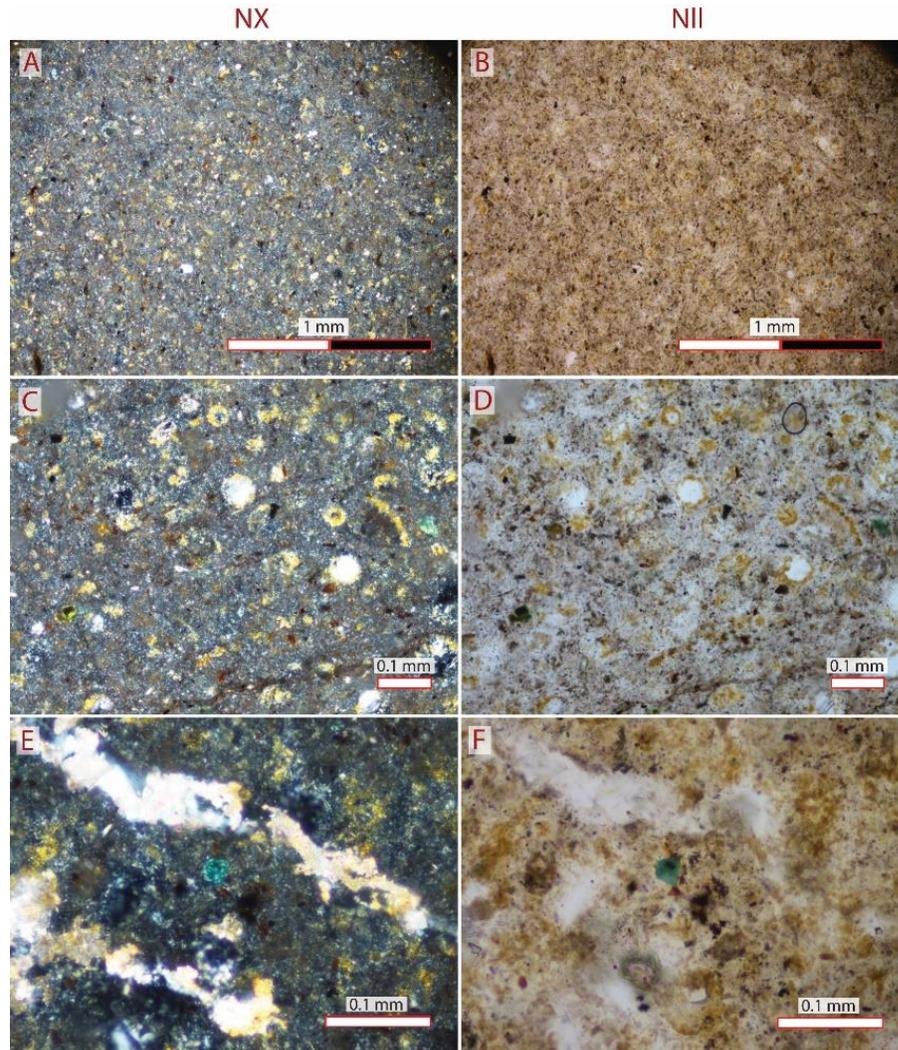
*Figura 89. Microfotografías de la muestra PC5-Ito-1. A-B: vista general de la muestra en la que se observa una fractura. C, D, E, F: detalle de la matriz y restos de radiolarios y rellenos de cuarzo policristalino.*

## ***Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados entre las hojas topográficas Río Arío y Tambor***

### **Playa Muertos**

De la exposición litológica registrada en playa Muertos (Figura 48) se extrajo de la base la muestra PC3-D2-A3A correspondiente con una lutita arenosa constituida por sílice microcristalino-amorfo, impregnada con alteración de óxidos y presenta vetillas de calcita. Del 80% al 90% de los minerales libres que se encuentran corresponden con minerales de

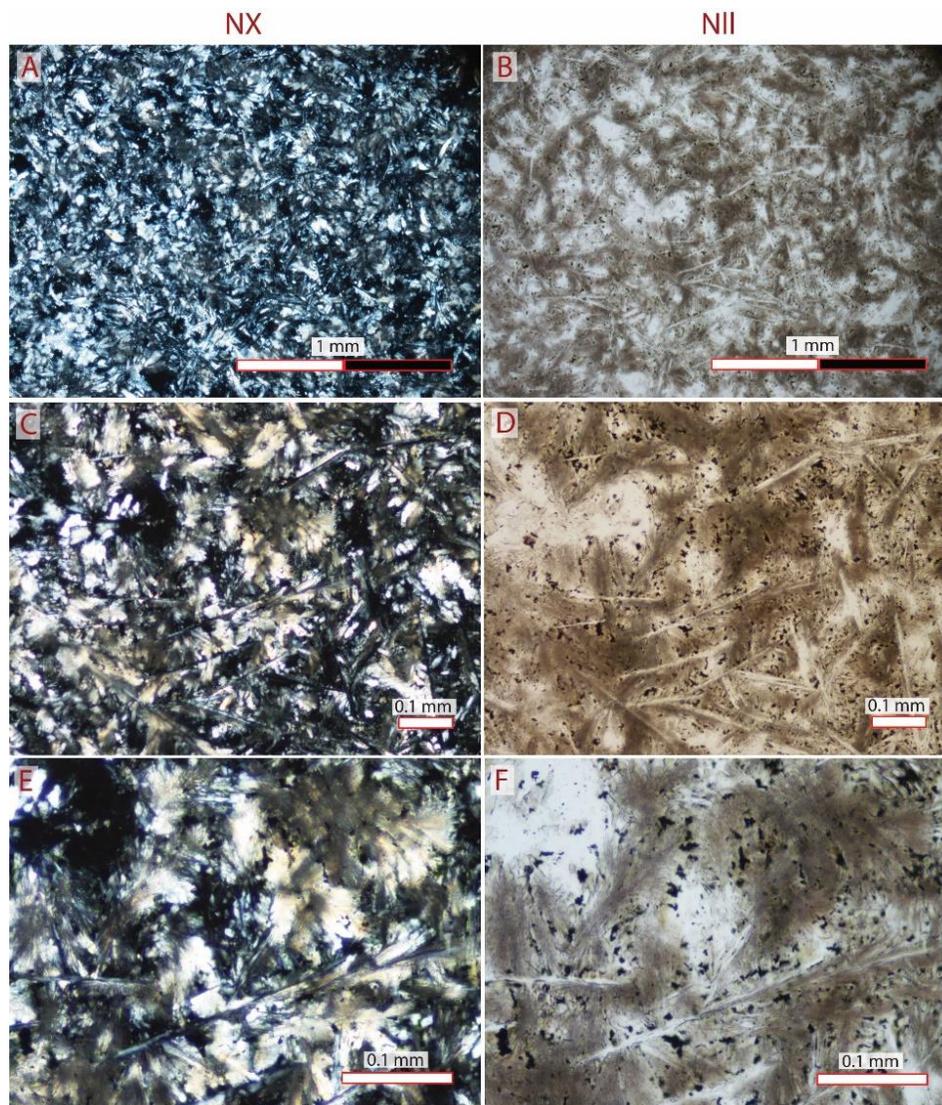
óxidos producto de alteraciones, el restante 20% - 10% es variable entre cuarzo policristalino, cuarzo monocristalino onduloso y no onduloso, así como plagioclasa. Con un porcentaje menor al 3% se encuentran minerales libres de clorita producto de la alteración de piroxenos, así como escasamente algunos de glauconita. Lo anterior puede observarse en la siguiente Figura 90.



**Figura 90.** Microfotografías de la muestra PC3-D2-A3A. *A-B: vista general de la muestra. C-D: detalle de los componentes granulares principalmente cuarzo monocristalino con bordes de óxidos. E-F: detalle de veta rellena de cuarzo policristalino y de mineral de glauconita.*

Posteriormente, (Figura 48) se encuentra sobreyaciendo una brecha del tipo volcánico con una matriz de vidrio y clastos de composición basáltica. (Se analizó petrográficamente la muestra PC3-D2-A2.2cl) (Figura 91), roca hipocristalina con textura

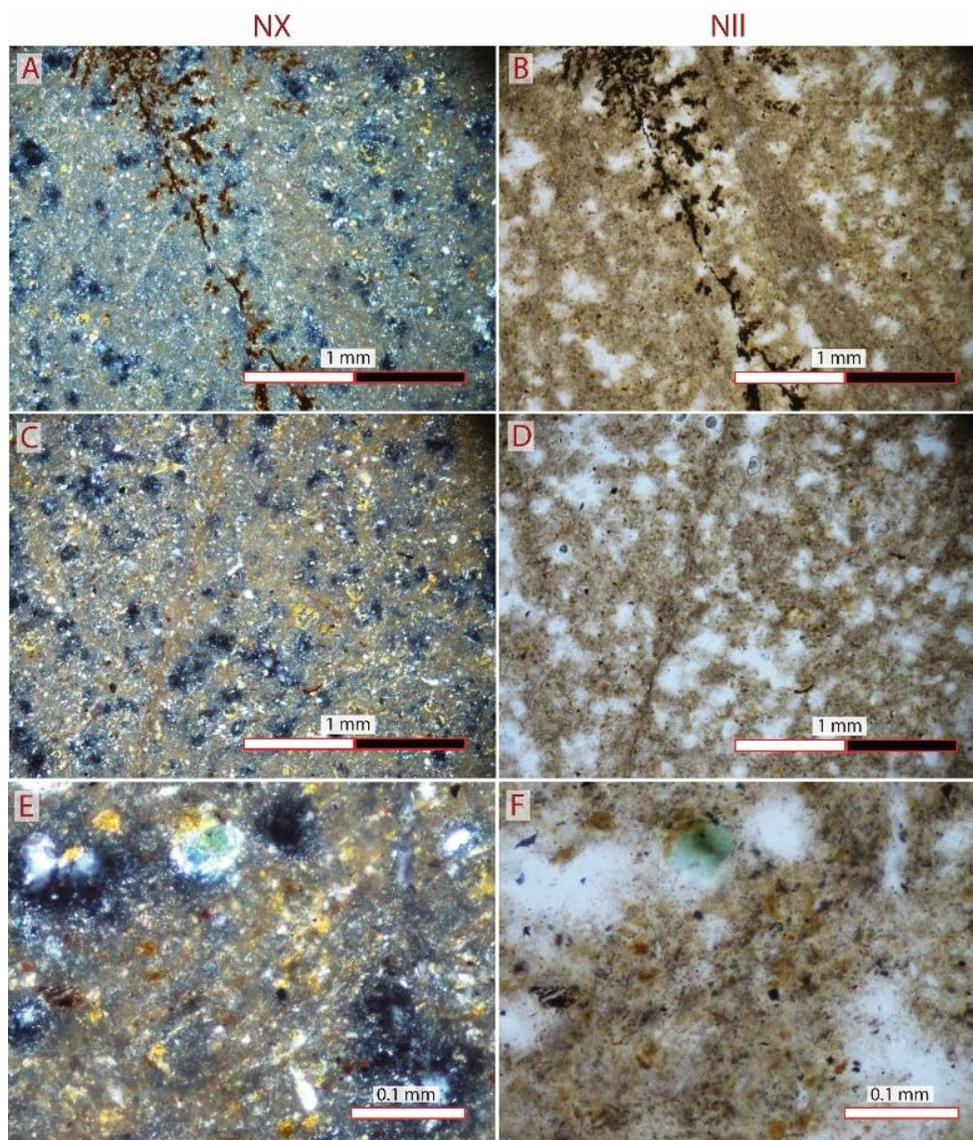
microspinfex, compuesta en su totalidad por clinopiroxenos, los cuales se disponen en estructuras plumosas, en medio de las cuales se detectó la presencia de minerales opacos y son interrumpidas por minerales aciculares distribuidos de manera aleatoria en distintas direcciones. Se encuentran algunos pseudomorfos, de los cuales únicamente se preserva su forma, no se descarta la posibilidad de que sean plagioclasas, sin embargo, no se encuentra ningún feldespato alterado que confirme esta posibilidad.



*Figura 91. Microfotografías de la muestra PC3-D2-A2.2 cl.*

Por último, en la sección registrada en playa Muertos se registró una lutita muy meteorizada de la cual también se extrajo una muestra, la PC3-D2-A3B, la cual a partir de su análisis microscópico permitió describirla como una lutita arenosa constituida por sílice

microcristalino-amorfo, alteración de óxidos y presenta vetillas de calcita. El principal componente que se encuentra en la sección corresponde con impregnaciones de óxidos alterando a la lutita (57%) las cuales se encuentran sobre cuarzo microcristalino amorfo original del cual se reconoce ahora un 20%, seguidamente en abundancia, corresponde con minerales de cuarzo monocristalinos, con y sin extinción ondulante así como policristalinos (15% en total) y como mínimos, plagioclasas (3%), augitas (2%), el restante 3% corresponde con un conjunto de minerales de alteración (hematita, clorita y glauconita) (Figura 92).



**Figura 92.** Microfotografías de la muestra PC3-D2-A3B. A-B: alteración de óxidos en estructura dendrítica común en esta muestra. C-D: vista general de la muestra. E-F: detalle de gránulos presentes en los que destacan cuarzo y glauconita.

## ***Resultados petrográficos de muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Venado.***

En el caso de los puntos estudiados en campo ubicados en la hoja topográfica Venado, los afloramientos fueron muy limitados y puntuales, por lo que a continuación se describen de igual manera, por cada sitio puntualmente (para descripciones completas ver Anexo 4).

Sobre carretera 21, en colinas a la derecha de la carretera en sentido Jicaral-Paquera, específicamente en las coordenadas 383348.561 E / 1101999.337 N se extrajo la muestra PC3-D3-A2, a partir de la cual se generan las láminas delgadas con código PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T, esto con la finalidad de extraer la mayor cantidad posible de información ya que la muestra se encuentra muy alterada y meteorizada, así como para la determinación de las variaciones que se puedan presentar al realizar cortes de roca en distintas direcciones. Macroscópicamente, es una brecha media constituida por un 15% de matriz y un 85% de clastos, clasto soporte. La matriz es de color blanca no genera reacción al HCl, su composición corresponde con un material arcilloso (posiblemente zeolita). Los clastos son principalmente subangulosos, abarcan tamaños desde 1 mm hasta 1.9 cm x 1.4 cm, en promedio mantienen 0.5 cm x 0.4 cm, su composición no es distinguible macroscópicamente, están completamente alterados con coloraciones violáceas, verdes y beige (Figura 93).



***Figura 93.*** Fotografía de la muestra PC3-D3-A2 a partir de la cual se generaron las láminas delgadas con código PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T.

A partir del estudio petrográfico esta muestra se clasifica como brecha alterada de origen volcánico. Corresponde con una brecha fina muy alterada y meteorizada de la cual se logra

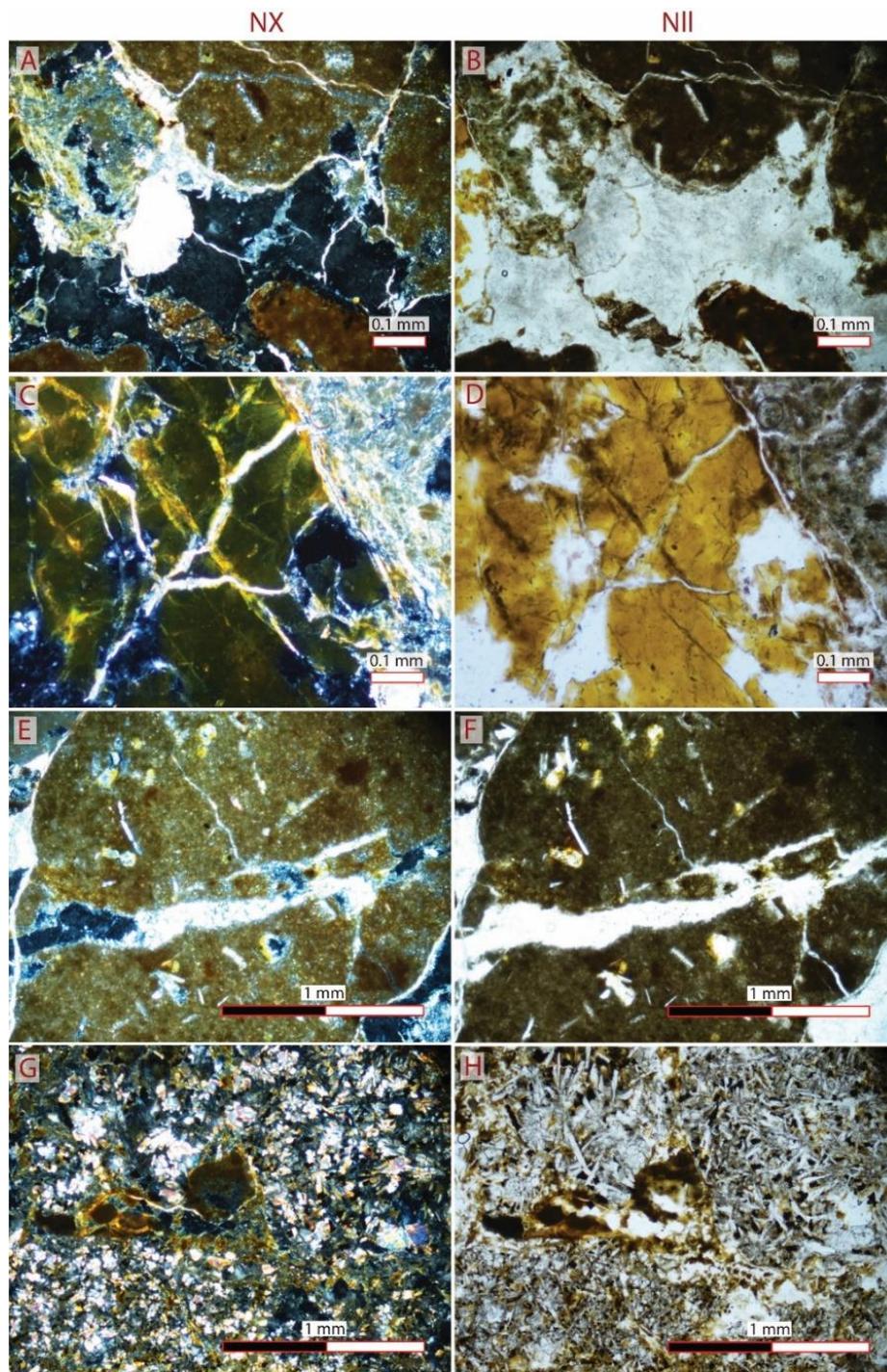
distinguir una abundancia de clastos del 70% en contraste con un 30% de matriz. Presenta una selección moderada, el soporte es variable, principalmente es matriz soportada, sin embargo, en algunas partes se encuentra clasto soportada, por tanto, los contactos entre clastos también son variables desde flotantes, puntuales y hasta planos. Los clastos se encuentran unidos por calcita mineral la cual ha reemplazado a la matriz original de la brecha. Asimismo, en medio de los clastos se encuentra una importante proporción de zeolita generada como relleno de espacios vacíos por la disolución de los componentes originales, las cuales a su vez son interrumpidas por vetillas de calcita. Los clastos distinguibles que se encuentran en su totalidad, son de origen ígneo – volcánico y silíceo, se encuentran de manera esquelética alterados por óxidos e hidróxidos con coloraciones rojizas, y café amarillentas, con texturas masivas y granulares, estos relictos han sido agrupados en los siguientes cuatro tipos (Figura 94):

-Tipo 1: relictos de origen volcánico, con coloraciones principalmente rojizas (en nícoles paralelos) y birrefringencia café de segundo orden (nícoles cruzados), presentan textura masiva de la cual se distinguen minerales alargados y aciculares de feldespato (plagioclasa) constituyentes de un 8% del clasto, con tamaños promedio de 0.03 mm x 0.23mm. Por abrasión, quedaron algunos espacios con las formas de la plagioclasa las cuales se encuentran rellenas por zeolita.

-Tipo 2: relictos de origen volcánico, con coloraciones amarillentas en nícoles cruzados y cafés en nícoles paralelos con texturas masivas granulares, con minerales augita alterados (tamaño promedio de 0.05 mm x 0.05 mm) correspondientes con un 40% del total del clasto y un 2% de plagioclasa.

-Tipo 3: el otro grupo de clastos que se encuentran dentro de la brecha corresponden con fragmentos de vidrio reconocibles por su alto relieve, coloración amarillenta y café, y en ocasiones con disposición fluidal.

-Tipo 4: remanentes de clastos con textura basáltica.



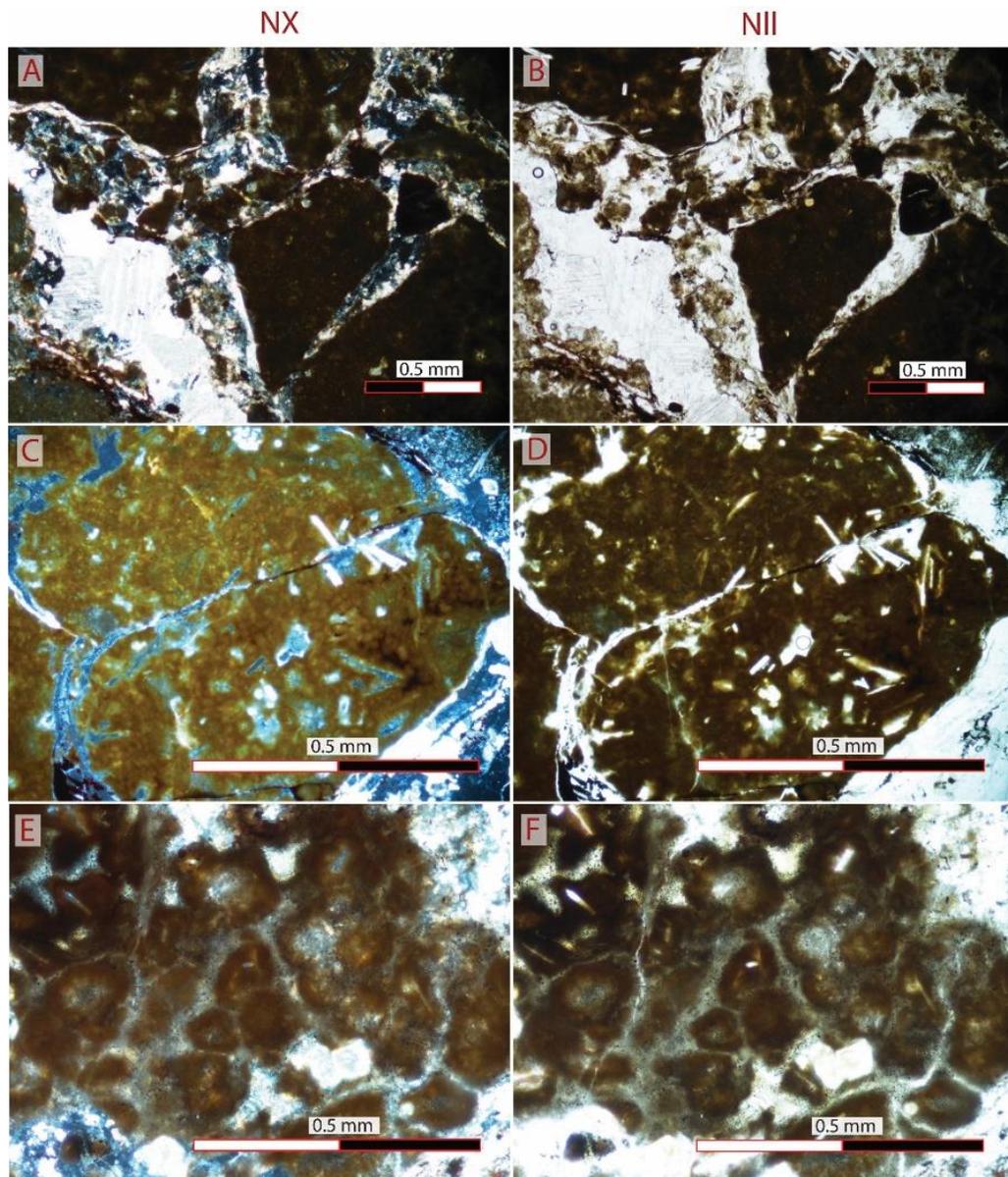
*Figura 94. Microfotografías de las muestras PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T. A-B: vista general de brecha en la que se observa el reemplazo de la matriz original por calcita cristalina y zeolita. C-D: fragmento de vidrio. E-F: clastos del tipo 2. G-H: clastos del tipo 1 en la parte superior y del tipo 4 en la esquina inferior izquierda.*

En el punto 1097424.267 N / 380470.191 E, de Santa Rosa de Jicaral, también se localizó una brecha alterada de origen volcánico de la cual se tomó la muestra D1-PC4-A11, la cual se caracteriza como una brecha fina (Figura 95), clasto soportada y constituida por un 15% de matriz conformada por minerales de alteración calcita-zeolita. El 80% de su constitución corresponde con clastos con tamaño desde 0.2 cm x 0.3 cm hasta 3 cm x 3 cm, la composición de la totalidad de clastos es basáltica, muy alterados con núcleos de oxidación rojiza.

Microscópicamente se reconoce que la matriz original ha sido reemplazada por calcita mineral (Figura 96), y se preservan algunos remanentes de vidrio con coloración verdosa, a partir de la cual puede inferirse que sería su composición primaria. Asimismo, no toda la fracción de la matriz se encuentra rellena con calcita, ya que se presentan algunos espacios vacíos y con zeolita, los clastos que se hallan son remanentes de texturas granulares similares a esferolitas y remanentes de texturas porfiríticas.



*Figura 95. Fotografía de la muestra de mano con código D1-PC4-A11.*



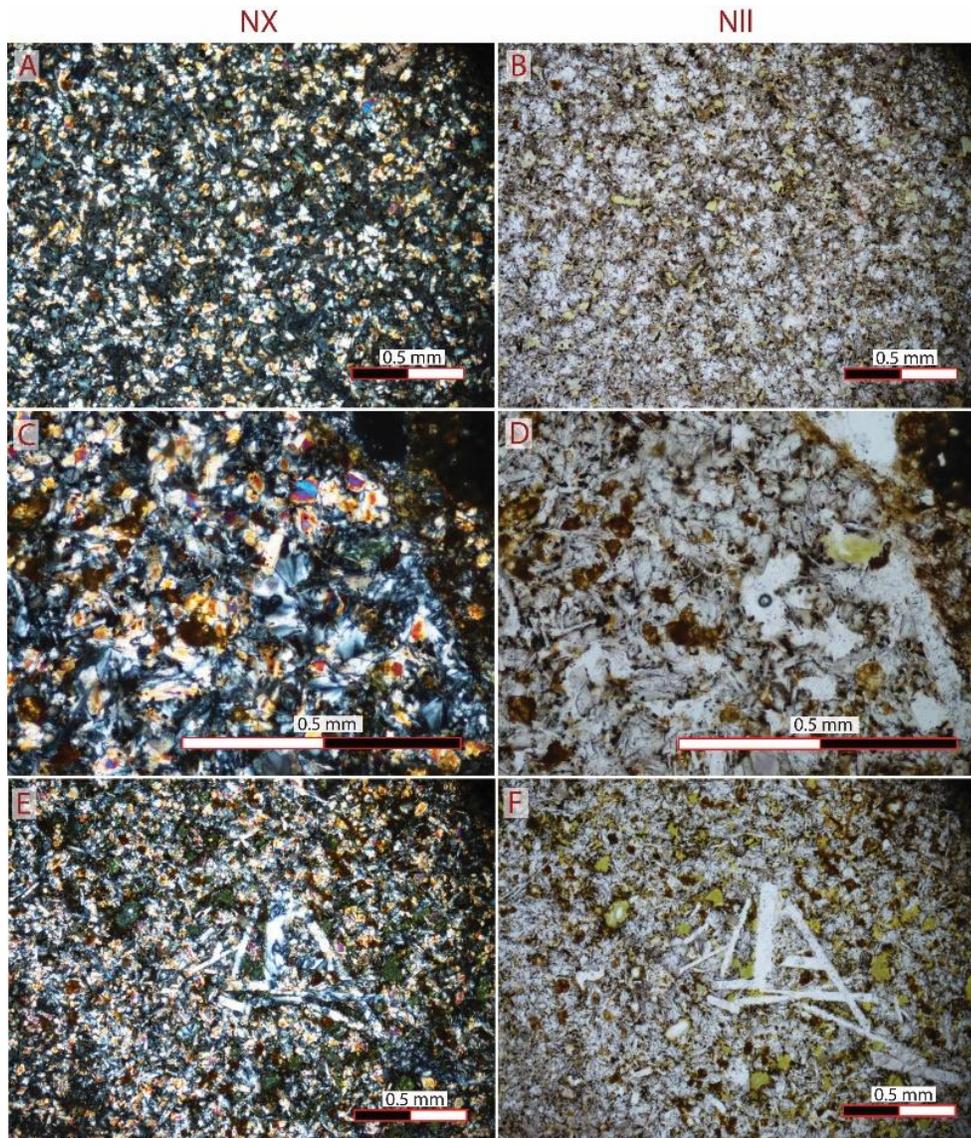
**Figura 96.** Microfotografías de la muestra D1-PC4-A11. **A-B:** vista general de la brecha en la que se observa el reemplazo de la matriz por calcita cristalina soportando clastos completamente oxidados. **C-D:** clasto con remanente textura porfirítica. **E-F:** clasto con remanente textura granular similar a esferolitas.

Por último, en Vainilla de Jicaral, en los puntos 1101117.448 N / 368090.157 E y 1101224.102 N / 369187.213 E con registros de la Formación Puerto Carrillo, se extrajeron dos muestras de mano la D1-PC4-A1 y D1-PC4A3 respectivamente, hallándose dos litologías de tipo volcánico, corresponden a basaltos, los cuales se describen a continuación:

*Muestra D1-PC4-A1*

Remanente de roca hipocristalina xenomórfica, compuesta por clinopiroxenos, plagioclasa y minerales opacos, en una textura glomeroporfirítica con matriz basáltica.

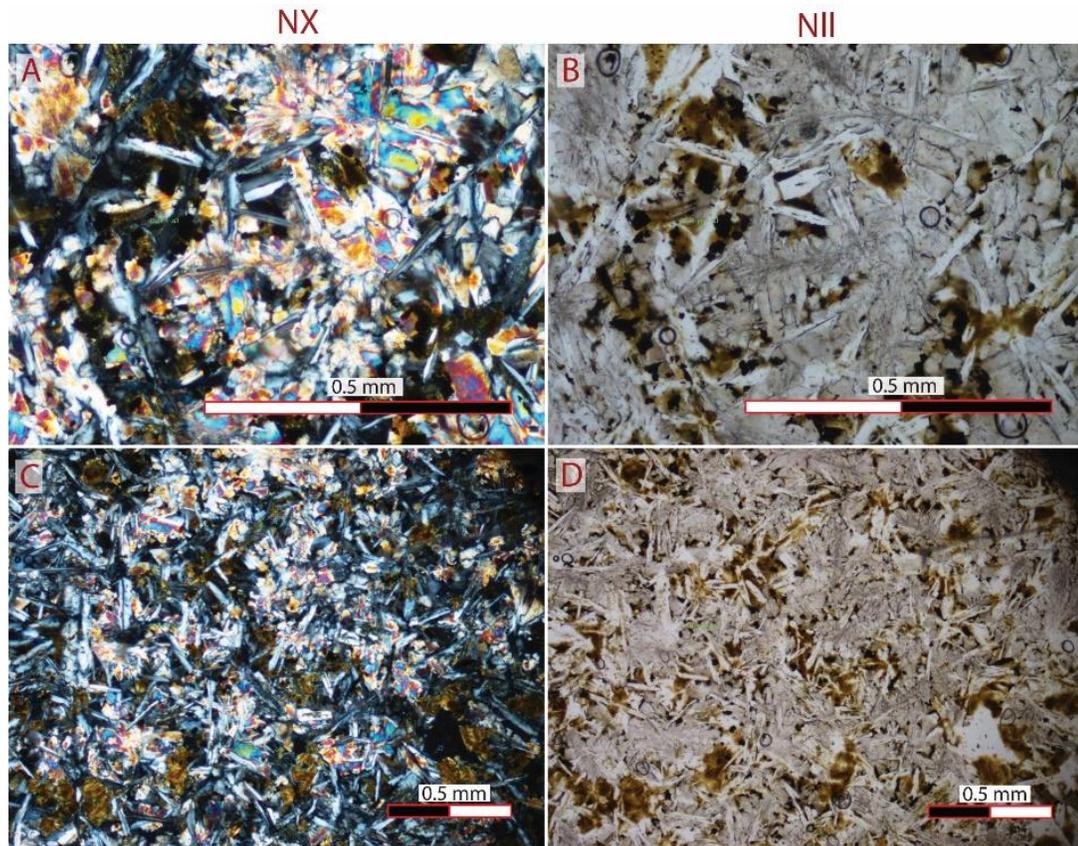
La roca presenta un alto grado de meteorización y alteración, en el que los componentes originales de la plagioclasa ya no se encuentran, en su lugar están zeolita y cuarzo mineral (algunas vacuolas sin rellenar bordeando solamente sus límites). Asimismo, se encuentra una importante proporción de alteraciones a clorita (Figura 97).



*Figura 97. Microfotografías de la muestra D1-PC4-A1. Vistas generales en las que se observan la alteración a clorita y reemplazo de plagioclasa a zeolita en lo que corresponde a remanentes de una textura glomeroporfirítica -basáltica.*

*Muestra D1-PC4-3*

Roca hipocristalina hipidiomórfica con textura basáltica, compuesta por plagioclasa, augita, vidrio y minerales opacos. La plagioclasa se distribuye de manera aleatoria y en medio se observa augita xenomórfica y en estructuras subparalelas (similares a estructuras plumosas) (Figura 98).



*Figura 98. Microfotografías de la muestra D1-PC4-A3. A-B: detalle de clinopiroxenos con textura similar a estructuras plumosas. C-D: vista general de la muestra con textura basáltica.*

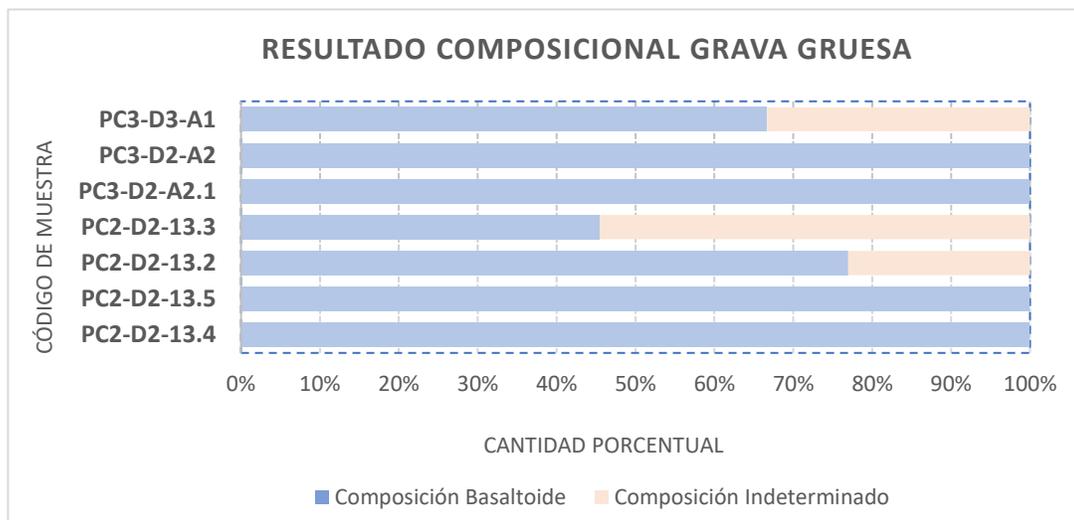
## II. C. RESULTADOS GEOESTADÍSTICOS

### *Resultados macroscópicos*

Muertos situados resultados de análisis macroscópicos realizados a los clastos extraídos de las cuadrículas PC2-D2-13.4, PC2-D2-13.5 del estratotipo, PC2-D2-13.2, PC2-D2-13.3 de Belén de Nosarita con coordenadas 1106020.978 N / 336635.847 E, PC3-D2-A2.1, PC3-D2-A2 de playa Muertos situadas en 1077803.653 N / 391199.066 E y PC3-D3-A1 de playa Órganos (1085414.529 N / 401884.756 E), se identificaron las siguientes composiciones al analizar cada una de las fracciones en las que fueron separadas (grava gruesa, grava media, grava fina, arena gruesa, arena media y arena fina).

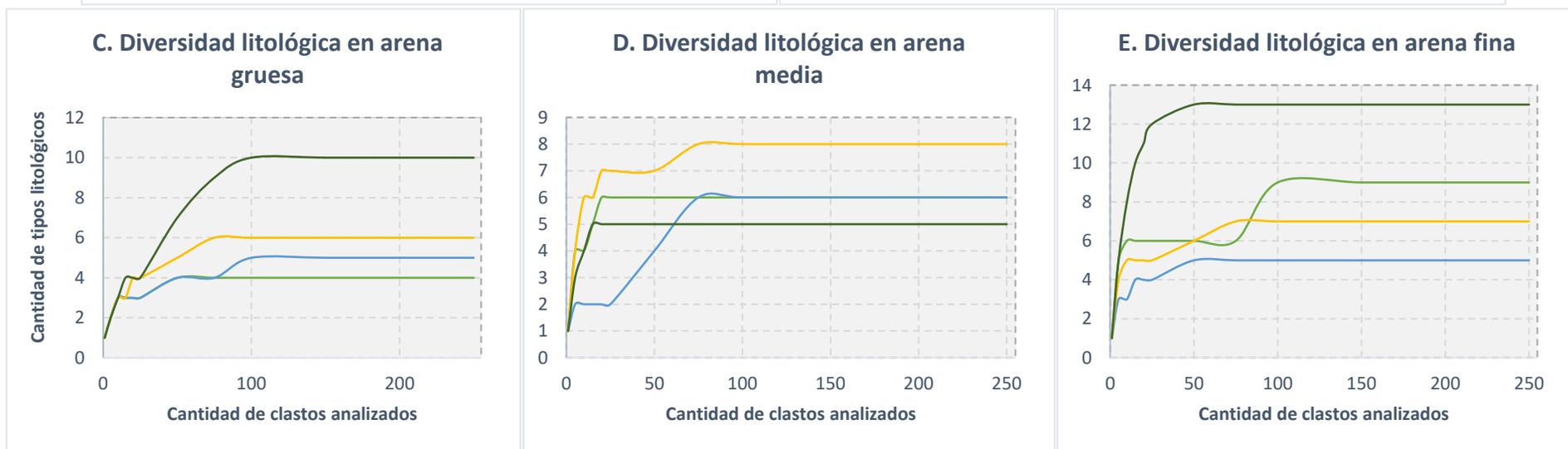
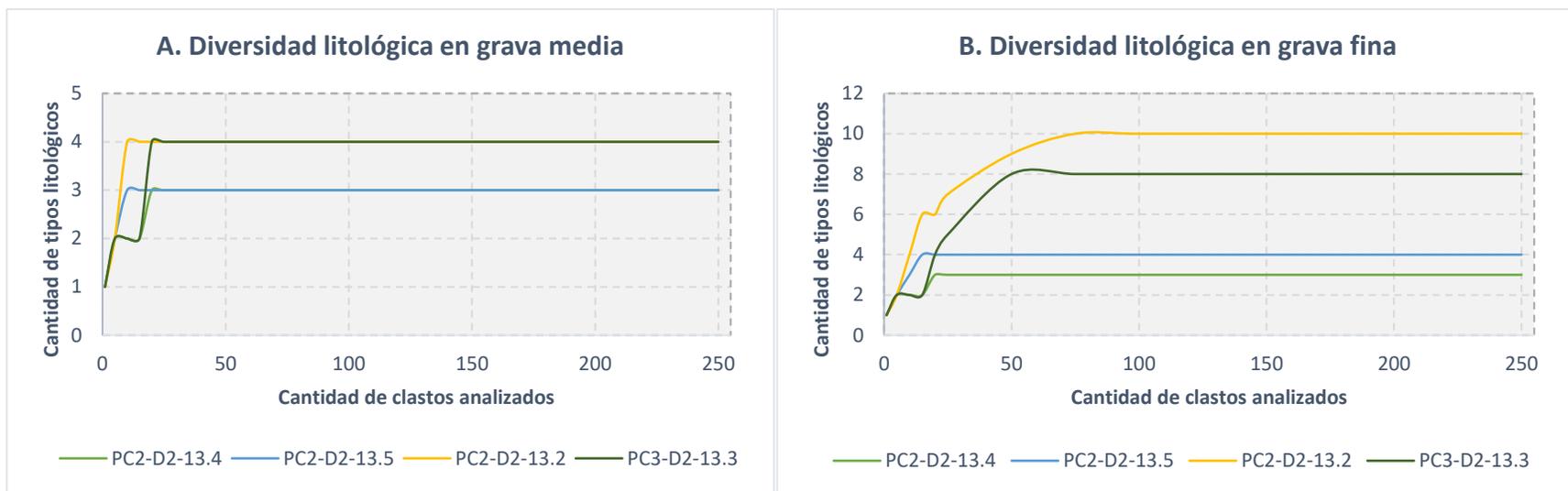
### **Resultados macroscópicos composicionales**

Se obtuvo que la litología de la que se componen los clastos con tamaño mayor a 10 cm analizados *in situ*, corresponde con un origen ígneo, específicamente basáltico, algunos clastos no pudieron ser identificados por su alto grado de meteorización (Figura 99).



**Figura 99.** Resultados de composiciones litológicas registradas para los clastos con tamaño mayor a los 10 cm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estrototipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita), PC3-D2-A2.1 y PC3-D2-A2 (playa Muertos), PC3-D3-A1 (playa Órganos).

La diversidad de componentes litológicos observada en cada una de las fracciones a partir de los 9.5 mm al realizar conteos de 250 granos, arrojó los siguientes resultados (Figura 100).

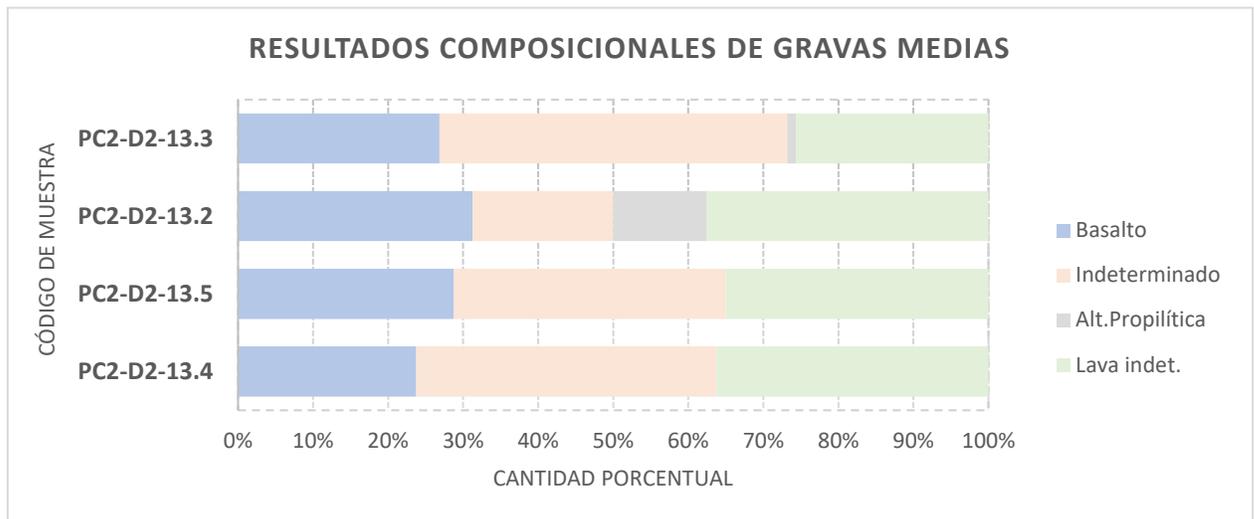


**Figura 100.** *Conteo de tipos de litologías halladas con respecto a la cantidad de clastos. A:* resultado del análisis de la fracción con diámetro de 9.5 mm. **B:** resultado de la fracción de 2 mm. **C:** resultado de la fracción de 0.850 mm. **D:** resultado de la fracción de 0.250 mm. **E:** resultado de la fracción de 0.150 mm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

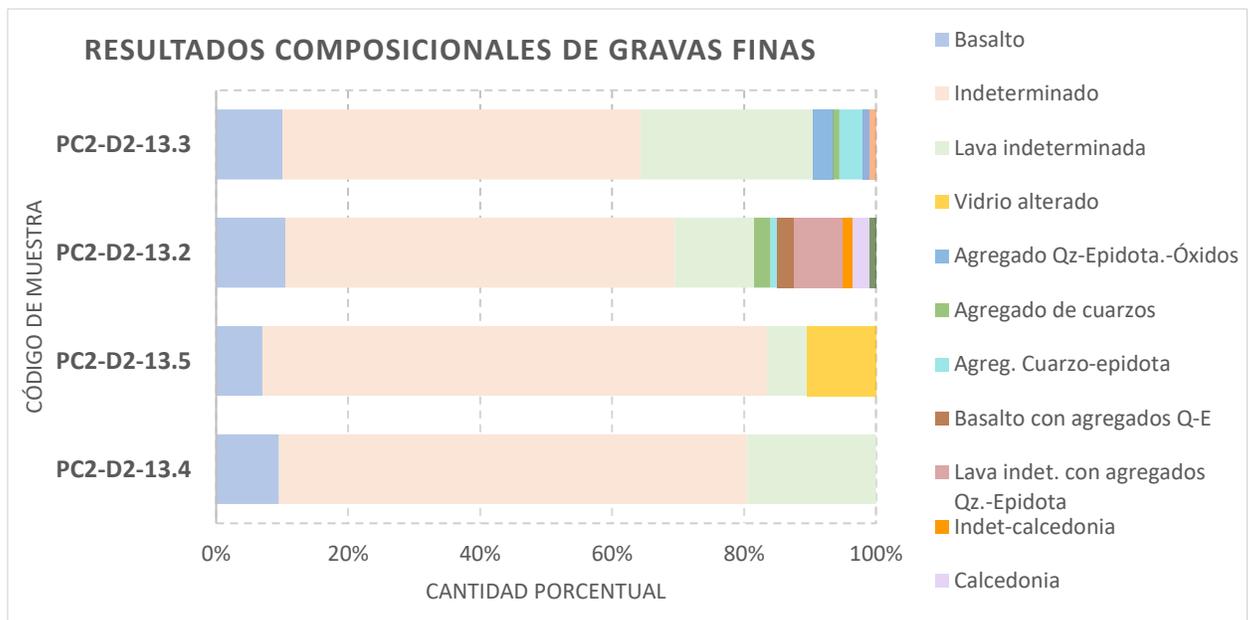
Cabe reiterar, tal como se menciona en la sección de metodología, que, de la totalidad de muestras extraídas de las cuadrículas de estudio, no todas pudieron ser separadas en las 5 fracciones de tamaño debido a que se encuentran con un alto grado de meteorización en el que el resto de componentes corresponde con barro, o bien la matriz se constituye de vidrio volcánico con una abundancia tan baja que queda adherido a los clastos de mayor tamaño.

Las litologías encontradas a partir del análisis de diversidad de tipos se especifican en los siguientes resultados (Figuras 101, 102, 103, 104 y 105).

En el caso de las gravas medias (Figura 101) se encontraron cuatro tipos de variedades composicionales, al observar los resultados, todos podrían derivar del mismo tipo de litología, ya que si bien, en conjunto más del 50% de las composiciones en las gravas medias corresponden con clastos indeterminados e identificables remanentes de lavas en los cuales no fue posible esclarecer su constitución máfica con respecto a la félsica, al solamente hallar clastos sanos de tipo basáltico.

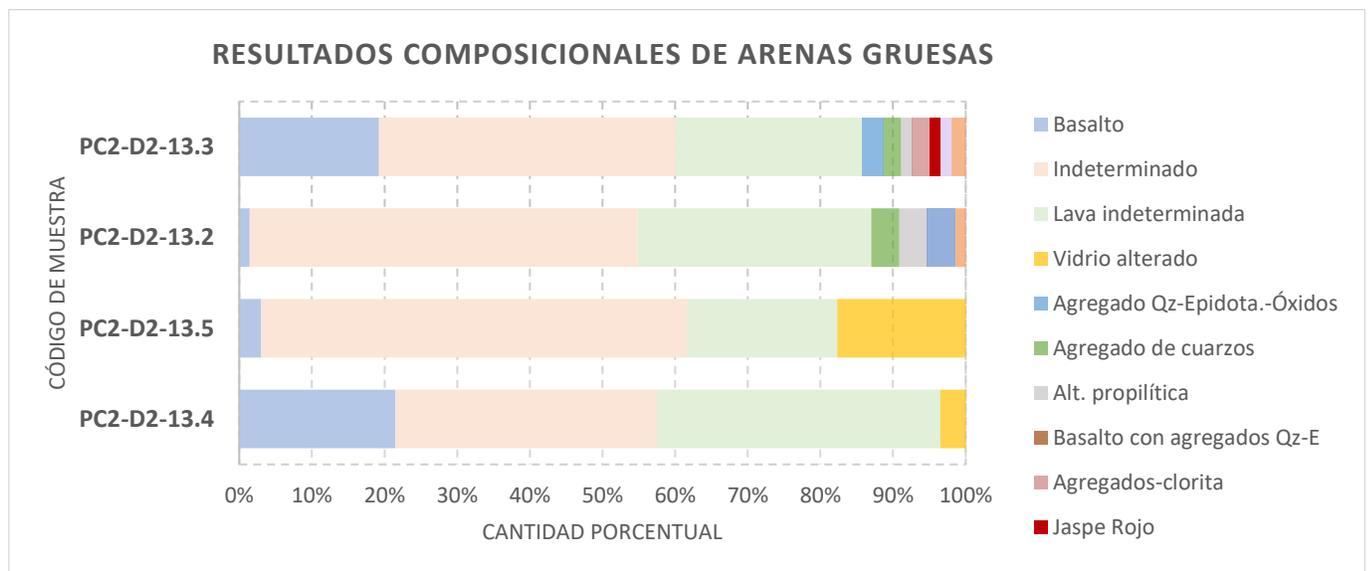


**Figura 101.** Tipos de composiciones de clastos hallados en la fracción de 9.50 mm en cada muestra representados según su abundancia. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).



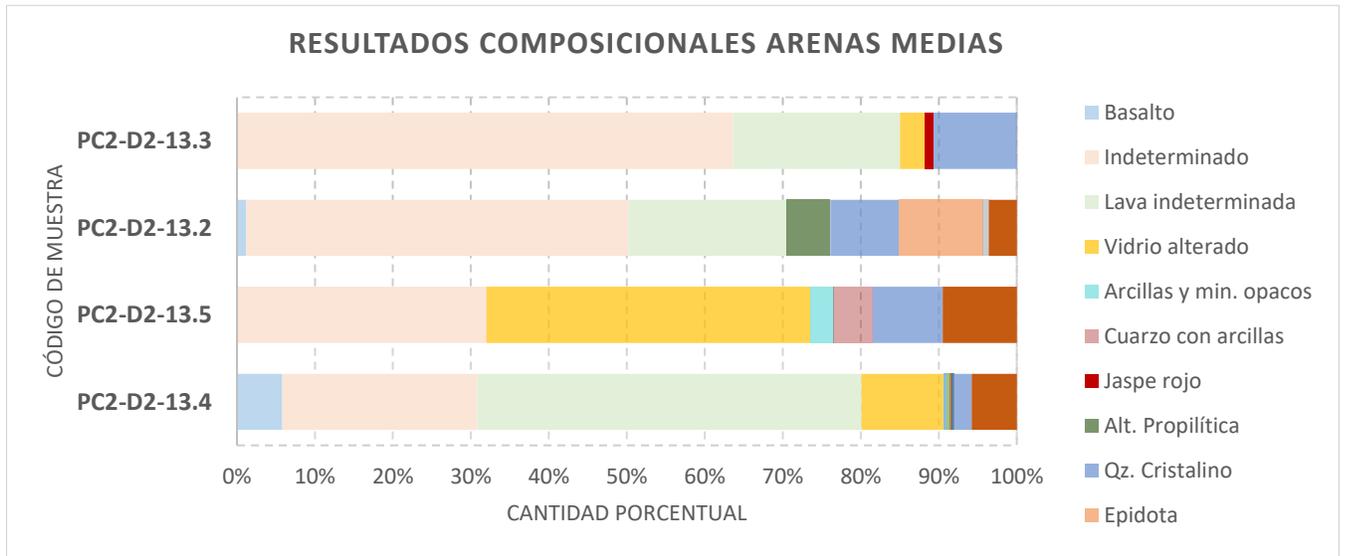
**Figura 103.** Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 2 mm según su abundancia en cada muestra. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

A partir de las fracciones de 2 mm, el análisis para la identificación de componentes se debió realizar utilizando un microscopio estereoscópico, se evidencia (Figuras 102, 103, 104 y 105) una mayor variedad de tipos de componentes, principalmente minerales.

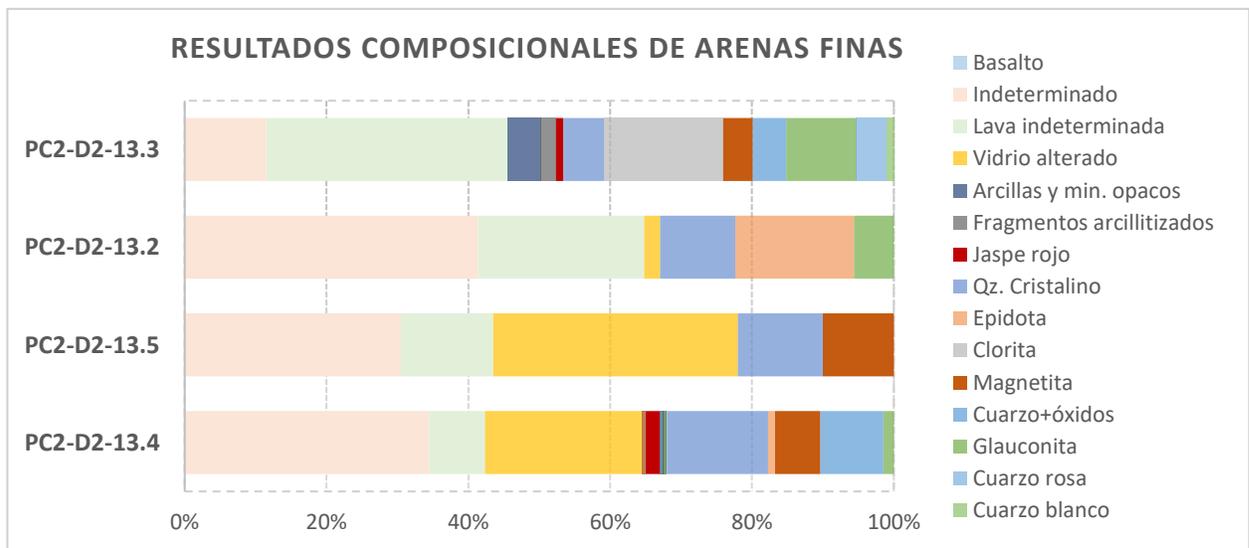


**Figura 102.** Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 0.850 mm según su abundancia en cada muestra. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

Para el caso de las arenas (Figuras 104, 105 y 106) la mayor proporción de componentes tampoco fue posible identificar, debido a su alto grado de meteorización, el cual, en promedio abarca un 47% en las arenas gruesas, un 42.8% en las medias y 30% en arenas finas. En estas fracciones se encuentran nuevos componentes como el jaspe rojo y glauconita en algunos de los casos.



**Figura 105.** Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 0.250 mm según su abundancia en cada muestra. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

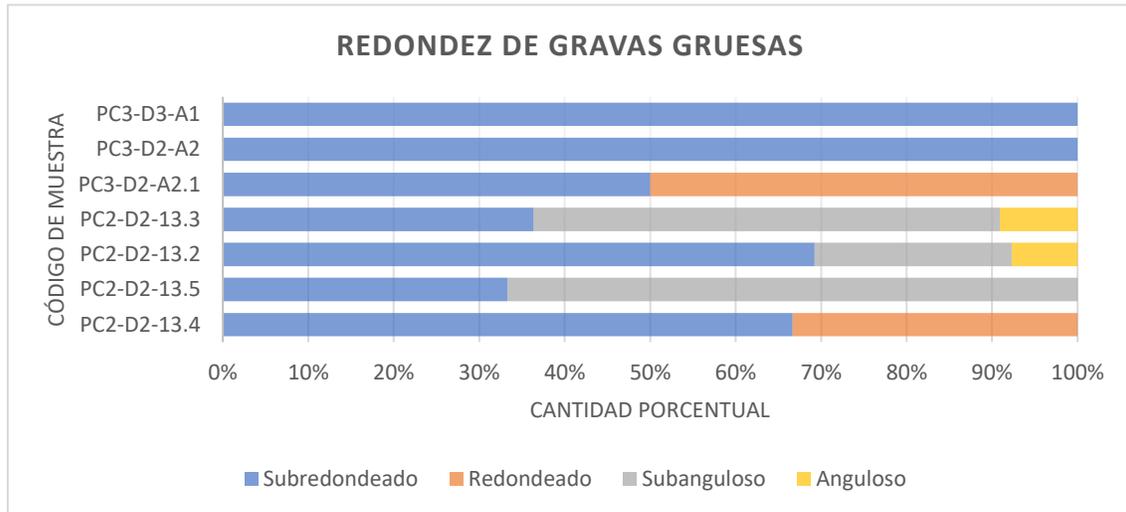


**Figura 104.** Resultado de tipos de componentes hallados en las fracciones de 0.150 mm según su abundancia en cada muestra. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

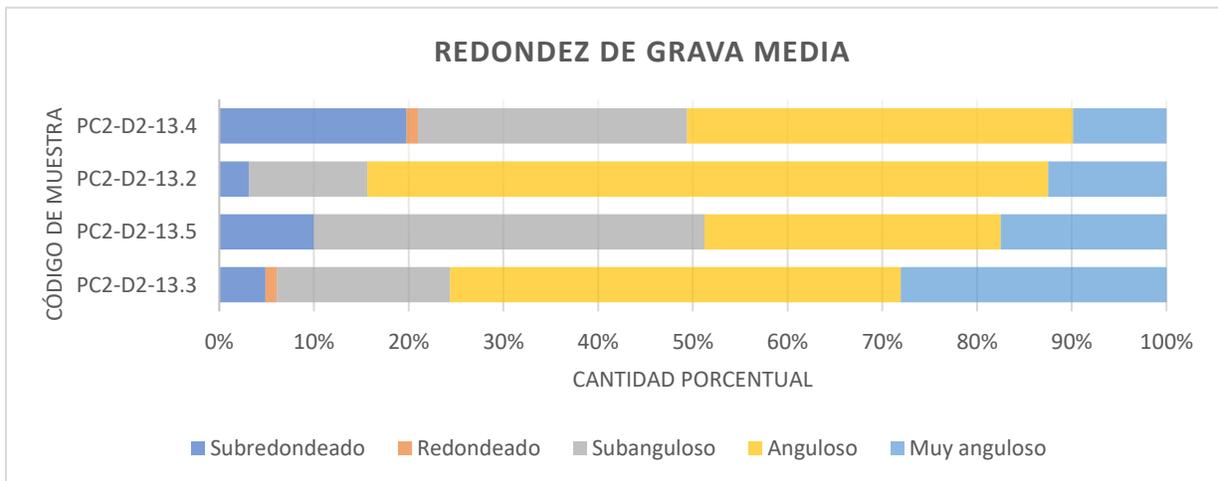
## Resultados de redondez y esfericidad

Las fracciones de clastos analizados en campo con tamaños mayores a 10 cm y las de diámetro de 9.50 mm analizadas macroscópicamente, son las que permitieron determinar la redondez y esfericidad de los clastos constituyentes de las litologías en estudio.

Las gravas gruesas principalmente son subredondeadas (Figura 106). En el caso de las gravas con tamaño medio, los clastos son principalmente angulosos (Figura 107).

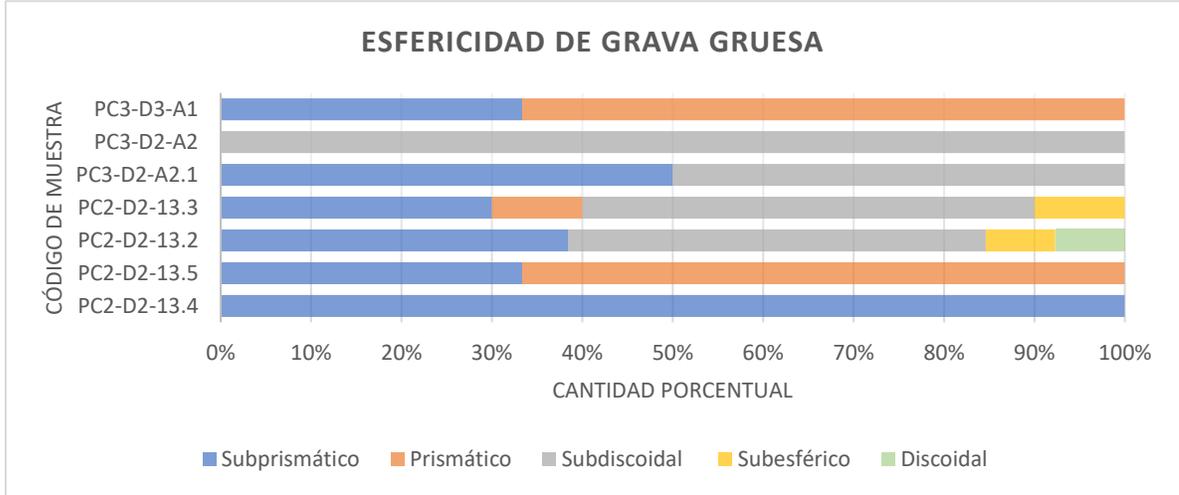


**Figura 106.** Resultados de redondez de clastos con tamaño mayor a 10 cm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita), PC3-D2-A2.1 y PC3-D2-A2 (playa Muertos), PC3-D3-A1(playa Órganos).

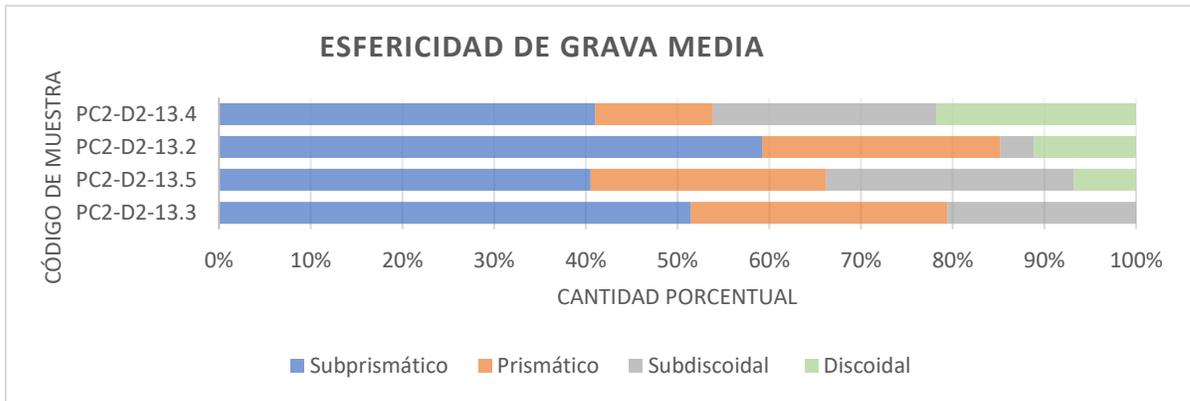


**Figura 107.** Resultados de redondez de clastos con tamaño mayor a 9.5 mm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

La esfericidad de los clastos también se determinó en los casos con tamaño mayor a 10 cm y 9.50 mm (Figuras 108 y 109), en ambas fracciones granulométricas predomina la esfericidad subprismática.



**Figura 108.** Resultados de esfericidad de clastos con tamaño mayor a 10 cm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita), PC3-D2-A2.1 y PC3-D2-A2 (playa Muertos), PC3-D3-A1(playa Órganos).



**Figura 109.** Resultados de esfericidad de clastos con tamaño de diámetro mayor a 9.5 mm. PC2-D2-13.4 y PC2-D2-13.5 (estratotipo), PC2-D2-13.2 y PC2-D2-13.3 (Santa Elena de Belén de Nosarita).

### Resultados microscópicos

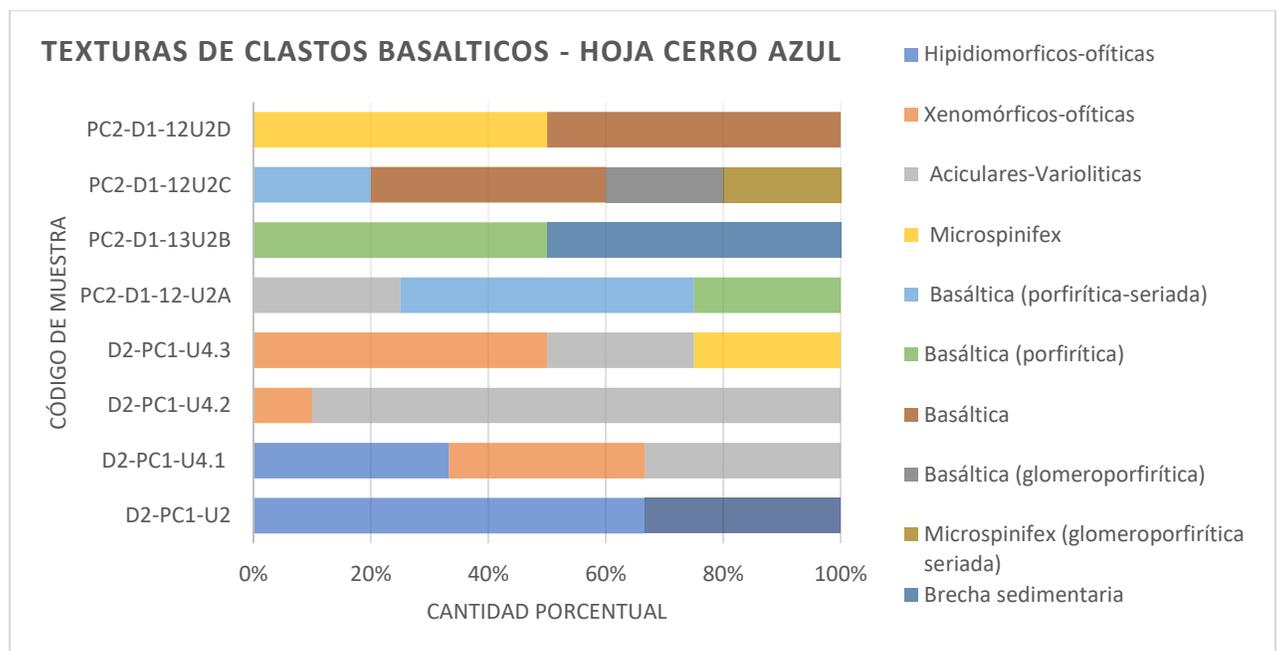
Las constituciones litológicas brechosas amalgamadas y consolidadas fueron la mayoría, por lo que sus análisis se debieron realizar de manera petrográfica. En total, de esta manera se analizaron 19 muestras de carácter brechoso, las cuales fueron agrupadas de

acuerdo con su ubicación geográfica de la misma manera que se presenta desde el capítulo de Constitución Física y Estratigráfica del presente trabajo, es decir, de acuerdo a su localización en las hojas topográficas y son detalladas a continuación.

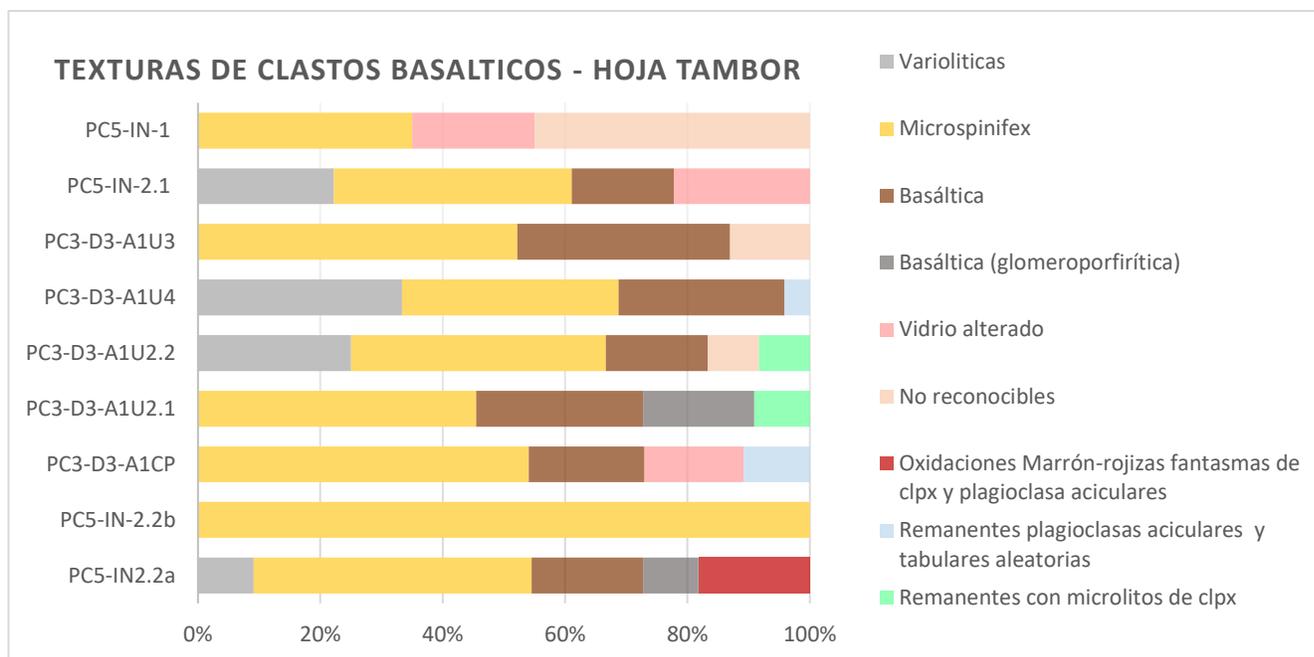
### Resultados microscópicos composicionales y texturas de clastos

Los clastos identificados en las brechas fueron prácticamente en su totalidad de origen ígneo, de las 19 secciones delgadas, solamente se halló un clasto de origen sedimentario, correspondiente con un fragmento de brecha fina.

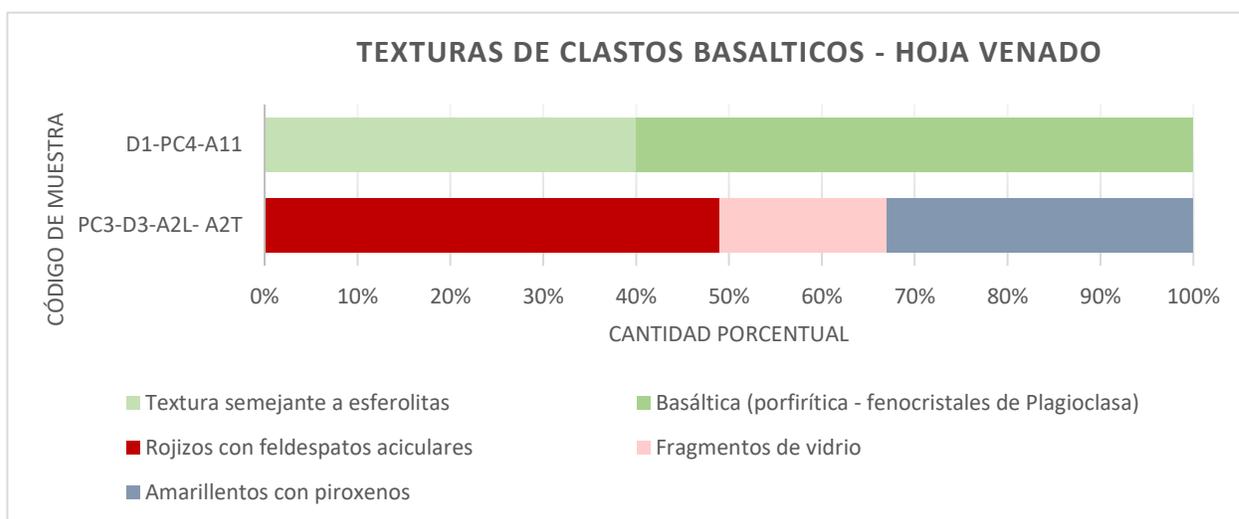
Y de la totalidad de componentes de origen ígneo se hallaron fragmentos de vidrio volcánico, y principalmente clastos de origen volcánico, los cuales composicionalmente en su totalidad, tal como se evidenció en la sección de estudio petrográfico, corresponden con basaltos. Sin embargo, texturalmente presentan variaciones significativas, lo cual figuró como base para la clasificación de los clastos hallados en cada brecha (Figura 110, 111, 112).



**Figura 110.** Clasificación de los tipos de texturas de los clastos de composición basáltica hallados en las brechas ubicadas en la hoja topográfica Cerro Azul.



**Figura 111.** Clasificación de los tipos de texturas de los clastos de composición basáltica hallados en las brechas ubicadas entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.



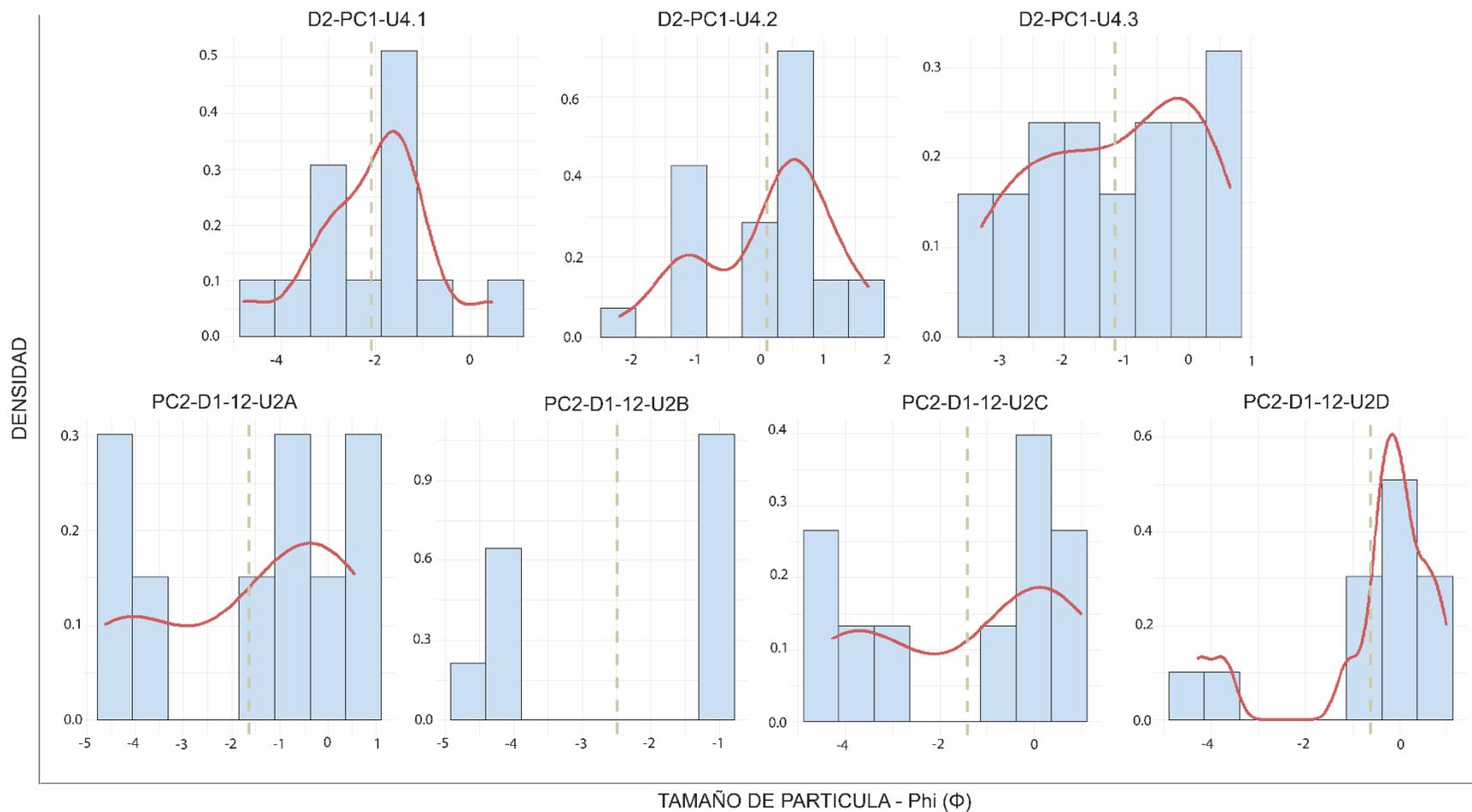
**Figura 112.** Clasificación de los tipos de texturas de los clastos de composición basáltica hallados en las brechas ubicadas en la hoja topográfica Venado.

## **Resultados microscópicos de tamaños de clastos**

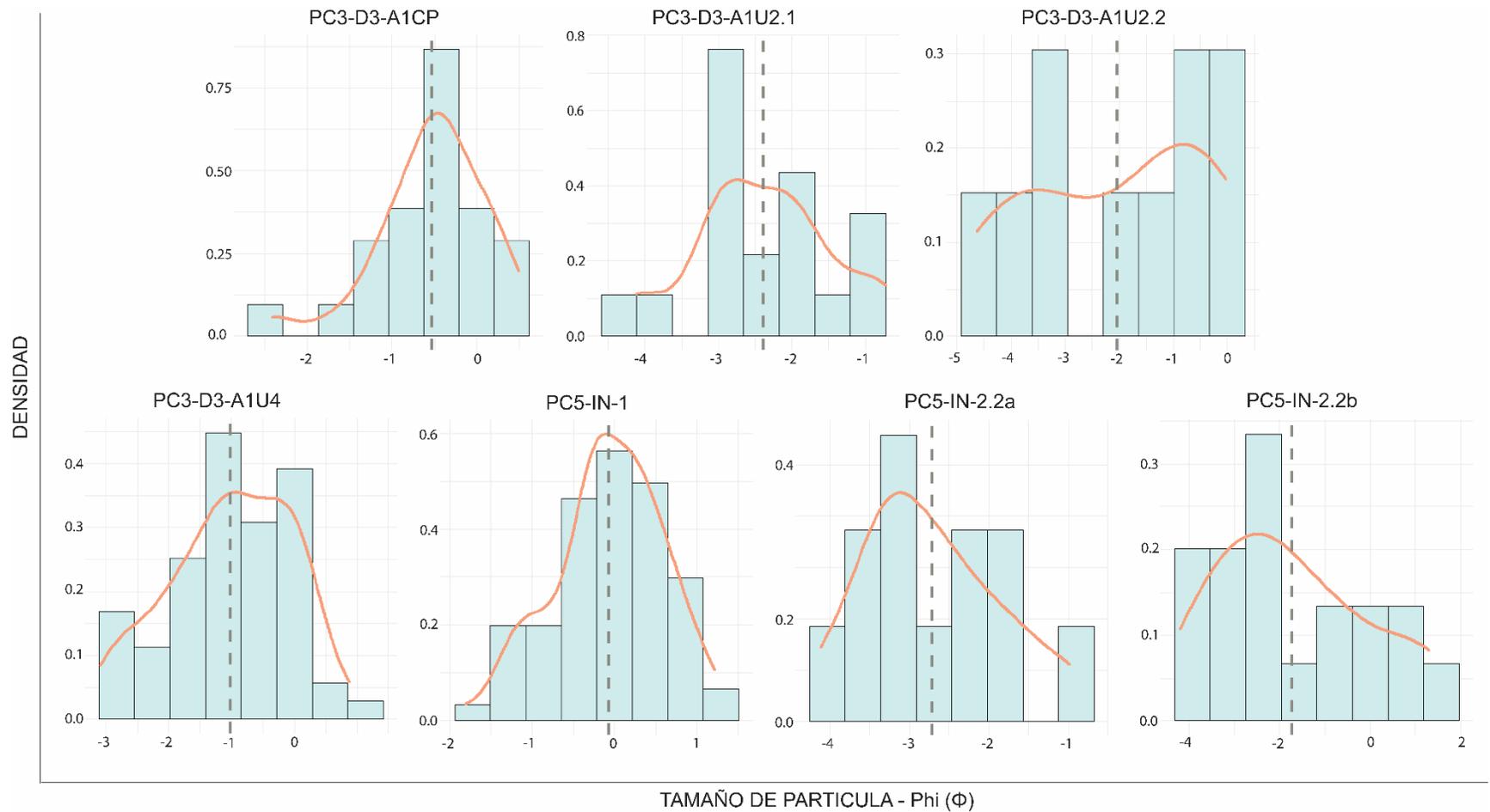
A partir de la medición de los tamaños de los clastos que conforman las brechas analizadas petrográficamente, se realizaron los cálculos de valores estadísticos determinantes de la selección y predominancia de granulometrías en depósitos sedimentarios.

Los resultados de los tamaños de clastos medidos en milímetros fueron convertidos a una escala logarítmica para obtener el valor de Phi ( $\phi$ ) considerando la fórmula [1] y a partir de esto, se representaron según su densidad en los histogramas mostrados (Figuras 114 y 115). Asimismo, se adicionaron las curvas de frecuencias que facilitan la identificación del comportamiento de la población de los tamaños de granos.

En el caso de las muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Cerro Azul, la totalidad de las muestras evidencia al observar las curvas de frecuencias que la distribución de los tamaños de clastos genera asimetrías negativas correspondientes con una predominancia de granulometrías finas.



**Figura 113.** Representación gráfica del análisis de la distribución de tamaños de clastos en las brechas descritas petrográficamente y que son constituyentes de las litologías descritas en la secuencia estratigráfica ubicada en el estratotipo (bahía Puerto Carrillo) dentro de la hoja topográfica Cerro Azul.



**Figura 114.** Representación gráfica de la distribución de tamaños de clastos en las brechas descritas petrográficamente, extraídas de sitios ubicados dentro de las hojas topográficas Golfo y Tambor. PC5-IN-1(isla Negritos, punto 1086288.711 N / 405983.769 E), PC5-IN-2.2 a y PC5-IN-2.2b (isla Negritos, punto 1086331.419 N / 40687.224 E), PC3-D3-A1-CP, PC3-D3-A1U4, PC3-D3-A1U2.1 y PC3-D3-A1U2.2 (playa Órganos).

En el caso de las muestras recolectadas en sitios de las hojas topográficas Golfo y Tambor, la determinación de su asimetría, indicador de la predominancia granulométrica, no es tan evidente al observar las curvas de frecuencias, por lo que se consideran los valores matemáticos calculados y mostrados en el cuadro VII, determinando que en 4 muestras predomina la granulometría fina y las restantes 3 que presentan una asimetría positiva predominan las granulometrías gruesas.

En el cuadro VI, se muestran los resultados de los valores matemáticos correspondientes con la mediana, la media y la desviación estándar calculados a partir de los valores Phi y que permiten determinar que la mayoría de las muestras se hallan pobremente sorteadas o muy pobremente sorteadas.

Para el caso de las muestras aflorantes entre las hojas topográficas Golfo y Tambor, del cuadro VII, los valores matemáticos evidenciaron principalmente que las muestras se hallan moderadamente sorteadas.

*Tabla VI. Valores estadísticos determinantes de las características físicas de brechas obtenidos para las muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Cerro Azul.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Valor de asimetría</b>	<b>Clasificación de asimetría</b>	<b>Clasificación de selección</b>
<b>D2-PC1-U4.1</b>	-1.816	-2.072	1.307	-0.296	Asimetría gruesa (negativa)	Pobremente seleccionado
<b>D2-PC1-U4.2</b>	0.358	0.112	1.016	-0.526	Fuerte asimetría gruesa (negativa)	Pobremente sorteado
<b>D2-PC1-U4.3</b>	-1.011	-1.174	1.275	-0.227	Asimetría gruesa (negativa)	Pobremente seleccionado
<b>PC2-D1-12-U2A</b>	-0.972	-1.642	2.048	-0.383	Fuerte asimetría gruesa (negativa)	Muy pobremente seleccionado
<b>PC2-D1-12-U2B</b>	-1.253	-2.484	1.587	-0.232	Asimetría gruesa (negativa)	Pobremente seleccionado
<b>PC2-D1-12-U2C</b>	-0.390	-1.408	2.092	-0.304	Fuerte asimetría gruesa (negativa)	Muy pobremente seleccionado
<b>PC2-D1-12-U2D</b>	-0.089	-0.611	1.603	-1.327	Fuerte asimetría gruesa (negativa)	Pobremente seleccionado

*Tabla VII. Valores estadísticos determinantes de las características físicas de brechas obtenidos para las muestras recolectadas en sitios ubicados entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.*

<i>Código de muestra</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Valor de asimetría</i>	<i>Clasificación de asimetría</i>	<i>Clasificación de seleccionado</i>
<b>PC3-D3-A1CP</b>	-0.466	-0.532	0.638	-0.902	Fuerte asimetría gruesa (negativa)	Moderadamente bien seleccionado
<b>PC3-D3-A1U2.1</b>	-2.310	-2.390	0.929	-0.011	Casi simétrico (negativa)	Moderadamente seleccionado
<b>PC3-D3-A1U2.2</b>	-1.643	-2.036	1.682	-0.022	Casi simétrico (negativa)	Pobrementemente seleccionado
<b>PC3-D3-A1U4</b>	-0.992	-1.014	0.971	-0.326	Fuerte asimetría gruesa (negativa)	Moderadamente seleccionado
<b>PC5-IN-1</b>	-0.099	-0.073	0.657	-0.099	Casi simétrico (positiva)	Moderadamente bien seleccionado
<b>PC5-IN-2.2 a</b>	-2.868	-2.714	0.889	0.372	Fuerte asimetría fina (positiva)	Moderadamente seleccionado
<b>PC5-IN-2.2b</b>	-2.139	-1.716	1.678	0.398	Fuerte asimetría fina (positiva)	Pobrementemente seleccionado

## CAPÍTULO III: DISCUSIÓN

---

### **DEFINICIÓN DE PETROFACIES**

Tal como se incluyó en la sección del Marco Teórico y es reiterado a continuación, una petrofacies en el presente trabajo es considerado como:

La unidad de clasificación de las fracciones de menor tamaño, basada en la agrupación de los resultados petrográficos composicionales y físicos distintivos que permiten una asociación tanto a un proceso genético como a una fuente provisora de la unidad sedimentaria en estudio.

El término anterior fue considerado principalmente para el análisis, clasificación y agrupamiento de muestras correspondientes a brechas, esto con la finalidad de determinar de manera precisa diferencias o afinidades entre estas, ya que, respecto a otras litologías, por ejemplo, basaltos su diferenciación es mucho más evidente. Sin embargo, cabe destacar, que por estas diferencias notables a grosso modo se consideran características también macroscópicas u observadas en campo, es decir, se considera como un complemento la definición de litofacies o litotipos para la interpretación en términos de procedencia genética.

En resumen, tal como se muestra en los cuadros VIII, IX, X y XI, las definiciones de tipos litológicos se determinan considerando su origen genético, la textura y características físicas y abundancia relativa de componentes, permitió la definición de las siguientes petrofacies.

#### ***Petrofacies I: Brechas epiclásticas monomícticas***

Este tipo de petrofacies corresponden con brechas de tamaño de clasto medio principalmente, con soporte por matriz, con distribución aleatoria, pobremente o muy pobremente seleccionada, ocasionalmente se presentan ligeras gradaciones inversas y

normales, así como laminaciones de areniscas deformadas, sin embargo, es común encontrar brechas medias con matriz de brechas finas cambiando esporádicamente a brechas finas solamente y alcanzando incluso brechas gruesas, de manera desordenada en paquetes decimétricos a métricos amalgamados. Composicionalmente sus características son uniformes, la matriz corresponde con *wackestone* y los litoclastos son en su totalidad de origen ígneo, donde se hallan clastos basálticos, fragmentos de vidrio y remanentes de basaltos.

Dichas brechas se disponen en estratos amalgamados con contactos erosivos, los cuales según la clasificación oficial de litofacies establecida por Miall (1985), corresponde con la categoría de Conglomerados masivos soportados por matriz (Gm), y además subdividido en dos tipos: conglomerados con matriz fina (Gmm) y conglomerados con matriz arenosa (Gms).

Para el caso de brechas con clastos de la misma composición, pero clasto soportadas, se catalogan según los códigos oficiales como Gc.

Si bien, los clastos en su totalidad corresponden composicionalmente con basaltos, texturalmente son diferentes (Figuras 111, 112 y 113). Sin embargo, para efectos prácticos, en esta sección, se agrupan de manera más genérica como se muestra a continuación.

### **1. Clastos basálticos con textura microspínifex.**

En esta agrupación se encuentran clastos con textura hipocristalina, en los cuales los clinopiroxenos y ocasionalmente también plagioclasa, se disponen con formas aciculares radiales aleatorias y formando estructuras plumosas. Se incluyen además las ligeras variaciones en cuanto al tamaño de grano, como lo son los ligeramente porfiríticos.

### **2. Clastos basálticos con textura variolítica.**

Se caracterizan por presentar una textura hipocristalina, generalmente hipidiomórfica con plagioclasas dispuestas en sentido radial divergente en conjunto con minerales de augita, así como minerales opacos con formas aciculares o columnar.

### **3. Clastos basálticos con textura basáltica.**

En este tipo se agrupan clastos con ligeras variaciones texturales con respecto a los tamaños de grano, se incluyen texturas hipocristalinas, porfiríticas, glomeroporfiríticas y porfiríticas seriadas, pero en general, correspondiendo con una textura basáltica, en la que característicamente se observa plagioclasa tabular de manera aleatoria con augita xenomórfica en medio.

### **4. Clastos basálticos con textura ortofídica.**

Se encuentran en una abundancia muy baja, son clastos en los cuales se reconoce una textura hipocristalina hipidiomórfica con cristales remanentes de plagioclasa tabular en agregados subparalelos con augita xenomórfica en medio, sin embargo, en los mismos clastos también se encuentra plagioclasa sin una disposición u orientación preferencial.

## ***Petrofacies II: Brechas alteradas de origen volcánico***

El otro tipo de brechas en los sitios registrados previamente como afloramientos de la Formación Puerto Carrillo, corresponden con brechas muy alteradas en las que se dificulta su identificación, generalmente presentan alteraciones de óxidos con coloraciones cafés y con coloraciones verdosas por alteraciones de clorita. Debido a escasos segmentos remanentes, se deduce que su composición original corresponde con vidrio.

Al no ser posible su identificación con certeza, se clasifican de manera general como brechas de origen volcánico.

Por otra parte, no se sigue ningún código establecido como una litofacies oficial ya que no corresponden con depósitos sedimentarios. Por lo que dichas brechas se catalogan solamente como Petrofacies II, alteradas de origen volcánico.

Los clastos constituyentes de estas brechas también están muy alterados, reconociéndose aparte de los mencionados en la Petrofacies I, los siguientes tipos:

**1. Clastos ígneos remanentes con microlitos de clinopiroxenos.**

Corresponden con clastos casi completamente oxidados con coloraciones principalmente cafés distinguibles solamente microlitos de clinopiroxenos.

**2. Clastos ígneos remanentes con plagioclasas aciculares.**

Clastos hipocristalinos altamente oxidados con plagioclasa acicular y dispuesta de manera aleatoria.

**3. Fragmentos-remanentes de vidrio.**

A parte de la matriz de vidrio, se distinguen fragmentos conformantes de las brechas.

***Petrofacies III: Litologías sedimentarias calcáreas***

En la sección estratigráfica del estratotipo hay variaciones e interestratificaciones de areniscas principalmente muy finas (algunas medias y gruesas) con gránulos variables flotantes y algunos en contactos puntuales de plagioclasa, cuarzo, augita, zeolita y glauconita soportados por una matriz de micrita y unidos por un cemento de calcita cristalina. Composicionalmente han sido clasificadas como *wackestone* variables a litarenitas feldespáticas.

Según la clasificación oficial de Miall (1985) corresponderían con litofacies de los tipos *Sp* referentes a las areniscas medias a gruesas estratificadas, asimismo, se incluyen *Sm* correspondientes con areniscas medias a gruesas no estratificadas y sin gradación.

***Petrofacies IV: Litologías sedimentarias finas siliciclásticas***

Otro tipo de litología corresponde con areniscas muy finas y lutitas masivas, ocasionalmente laminadas de color gris en estado sano y café cuando presenta alteraciones, son de composición siliciclástica con gránulos variables como plagioclasas, augita, cuarzo, clorita, óxidos, glauconita, fragmentos de vidrio y opacos.

De acuerdo con la clasificación de litofacies se incluyen dentro del tipo *Fl* correspondientes con areniscas finas en combinación con lutitas ocasionalmente laminadas.

### ***Petrofacies V: Basaltos masivos***

Las muestras tomadas de secciones masivas y autobrechosas relacionadas con las brechas registradas como Fm. Puerto Carrillo, generalmente de manera petrográfica se caracterizan por presentar una textura hipocristalina porfirítica seriada, en su totalidad dispuestos en una textura basáltica compuestos por plagioclasa distribuida aleatoriamente con augita en medio y alteraciones a sericita, óxidos de hierro y zeolita.

Composicionalmente todas las muestras de origen ígneo contempladas en este subgrupo corresponden con basaltos y la mayoría presentan textura basáltica, y en menor proporción basaltos con textura microspínifex.

*Tabla VIII. Resumen de la definición de petrofacies de litologías en la hoja topográfica Cerro Azul.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tipo de matriz-</b>	<b>Textura</b>	<b>Componentes</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Particularidad</b>	<b>Petrofacies</b>
<i>PC2-D1-12 U2 (corte A)</i>	Wackestone	-Matriz soporte. -Contactos flotantes y cóncavos convexos. -Pobrementemente sorteado.	25% clastos con textura variolítica. 75% clastos con textura basáltica	Brecha epiclástica monomítica. Procedencia: intraformacional.	5% de bioclastos (foraminíferos y radiolarios)	Petrofacies I (Gm-Gmm)
<i>PC2-D1-12 U2 (corte B)</i>	Wackestone	-Matriz soporte. -Contactos puntuales y cóncavos convexos. -Pobrementemente sorteado.	33.3% clasto intergranular. 33.3% clasto basáltico. 33.3% clasto sedimentario	Brecha epiclástica monomítica Procedencia: intraformacional	Presencia de glauconita	Petrofacies I (Gm- Gmm)
<i>PC2-D1-12 U2 (corte C)</i>	Wackestone	-Matriz soporte. -Contactos puntuales y cóncavos convexos. -Pobrementemente sorteado	25% clastos con textura microspinifex 75% clastos con textura basáltica	Brecha epiclástica monomítica Procedencia: intraformacional	5% de bioclastos (foraminíferos y radiolarios). Glauconita.	Petrofacies I (Gm- Gms)
<i>PC2-D1-12 U2 (corte D)</i>	Wackestone	-Matriz soporte. -Clastos flotantes -Pobrementemente sorteado	50% clastos con textura microspinifex y 50% clastos con textura basáltica.	Brecha epiclástica monomítica. Procedencia: intraformacional	5% de bioclastos (foraminíferos y radiolarios). Glauconita	Petrofacies I (Gm-Gmm)
<i>PC2-D2-13-1</i>	Hipocristalino porfirítica seriada	Principalmente con textura basáltica.	56% Augita, 38% Plagioclasa y 6% opacos.	Basalto	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos.
<i>D2-PC1-U1 (Dos fracciones en contacto)</i>	Wackestone Calcárea-micrita.	-Matriz soporte. -Clastos flotantes y puntuales.	Fracción fina: 5% Qz, 20% F y 4% Lt. Fracción gruesa: 18.26% Qz, 50.73% F y 86.24% Lt.	Wackestone en contacto neto con litarenita feldespática gruesa.	Arenisca fina y gruesa en contacto neto. Presencia de glauconita.	Petrofacies III: Sp.
<i>D2-PC1-U2</i>	Wackestone	-Matriz soporte. -Contactos flotantes.	100% clastos basálticos con textura ofítica.	Brecha epiclástica monomítica	Presencia de glauconita.	Petrofacies I (Gm-Gms)
<i>D2-PC1-U4.1</i>	Wackestone	-Matriz soporte. -Contactos puntuales y cóncavos-convexos. -Pobrementemente sorteado.	66.6% clastos basálticos con textura ofítica. 33.3% de clastos con textura variolítica.	Brecha epiclástica monomítica. Procedencia: intraformacional	Presencia de bioclastos en un 15%-25%. Hallazgo de nannofósiles.	Petrofacies I (Gm-Gmm)
<i>D2-PC1-U4.2 (Dos fracciones en contacto)</i>	Mudstone- Wackestone.	-Matriz soporte. -Contactos planos y cóncavos-convexos.	90% de clastos basálticos con textura variolítica, 10% con textura ofítica.	Brecha epiclástica monomítica en contacto neto con calcilita.	Laminaciones irregulares	Petrofacies I: (Gm-Gmm). Petrofacies III: Sp.
<i>D2-PC1-U4.3</i>	Wackestone.	-Matriz soporte. -Clastos flotantes y cóncavos convexos.	50% clastos con textura ofítica. 25% textura variolítica y 25% textura microspinifex.	Brecha epiclástica monomítica	Bioclastos 10%. Glauconita.	Petrofacies I: (Gm-Gms).

*Tabla IX. Resumen de la definición de petrofacies de litologías encontradas entre las hojas topográficas Golfo y Tambor.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tipo de matriz-</b>	<b>Textura</b>	<b>Componentes</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Particularidad</b>	<b>Petrofacies</b>
<i>PC5-IC-2</i>	Hipocristalina con formas variadas, xenomórficas a idiomórficas.	Basáltica glomeroporfirítica seriada.	Plagioclasa: 46.6%. Augita: 51.2%. Opacos: 2.2%.	Basalto.	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos.
<i>PC5-IJ-1</i>	Hipocristalino xenomórfica.	Subofítica equigranular de grano fino.	Pseudoaugitas: 59%. Remanentes de plagioclasas: 30%. Opacos: 3%.	Basalto.	Muy alterada. 50% de componentes desprendidos o reemplazados por zeolitas y Qz microcristalino.	Petrofacies V: Basaltos masivos.
<i>PC5-IN-2.2 a</i>	Micrita-microsparita-calcita cristalina	-Clasto soporte y matriz soporte ocasionalmente. -Contactos puntuales, cóncavos convexos y tangenciales. -Morderadamente sorteado.	Clastos basálticos con: -textura variolítica 9%. -textura microspínifex: 45% -textura basáltica: 27%. Y un 18% de clastos remanentes con oxidaciones y plagioclasas aciculares.	Brecha epiclástica monomíctica. Procedencia: intraformacional.	Características coloraciones rojizas y verdosas de alteración de matriz.	Petrofacies III: Gc.
<i>PC5-IN-2.2b</i>	Calcita cristalina- y micrita-microsparita.	-Clasto soporte. -Contactos planares-tangenciales. -Pobremente sorteado.	100% clastos basálticos con textura microspínifex.	Brecha epiclástica monomíctica. Procedencia: intraformacional.	Características alteraciones diferenciales de clastos con núcleos con oxidaciones rojizas.	Petrofacies III: Gc.
<i>PC3-D3-A1-CP</i>	Remanentes de óxidos y clorita.	-Clasto soporte. -Contactos puntuales y algunos planares. -Moderadamente bien sorteado.	10% clastos ígneos remanentes con plagioclasas aciculares. 16% clastos de vidrio alterado. 18% clastos con textura basáltica. 54% clastos basálticos con textura microspínifex.	Brecha alterada de origen volcánico.	Alteraciones de clorita, epidota y óxidos de hierro (uralitizaciones) con rellenos de reemplazo y accesorio de calcita y glauconita.	Petrofacies II.
<i>PC3-D3-A1-UI</i>	Barro arenoso impregnado con arcillas y óxidos.	Granos dispersos – flotantes.	Cuarzo: 15%, Feldespatos: 5%, Líticos: 0%, Otros (bioclastos, glauconita, vidrio, augitas, clorita): 5%, no reconocibles: 5%. Matriz, porosidad y cemento: 70%	Lutita arenosa siliciclástica	Presencia de Glauconita	Petrofacies IV: Fl.

Tabla X. Continuación de la Tabla IX.

Código de muestra	Tipo de matriz-	Textura	Componentes	Clasificación	Particularidad	Petrofacies
<i>PC3-D3-A1-U2.1</i>	Vidrio alterado	-Clasto soporte. -Contactos tangenciales. -Moderadamente sorteado.	10% clastos ígneos remanentes con microlitos de augitas. 45% de clastos con textura basáltica. 45% de clastos con textura microspinfex.	Brecha alterada de origen volcánico.	-----	Petrofacies II
<i>PC3-D3-A1-U2.2</i>	Vidrio alterado	-Clasto soporte. -Contactos tangenciales. -Pobrememente sorteado.	8% clastos no reconocibles. 8% clastos ígneos remanentes con microlitos de augitas. 16% clastos con textura basáltica. 41% clastos con textura microspinfex. 25% con textura variolítica.	Brecha alterada de origen volcánico.	-----	Petrofacies II
<i>PC3-D3-AIU5</i>	Hipocristalina glomeroporfirítica seriada	-Textura basáltica. -Grano fino hasta gueso.	Plagioclasa: 60.31%, Augita 27.5%, opacos: 3.06%, y 9.12% de alteraciones clorita-epidota.	Basalto	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos
<i>PC3-D3-AIU4</i>	Vidrio alterado	-Matriz soporte. -Contactos puntuales y tangenciales. -Moderadamente sorteado.	4% clastos remanentes con plagioclasas aciculares. 27% con textura basáltica. 35% con textura microspinfex. 33% con textura variolítica.	Brecha alterada de origen volcánico.	Matriz reemplazada por óxidos y secundarios de zeolitas y calcita.	Petrofacies II
<i>PC3-D3-AIU3</i>	Remanente vidrio alterado.	-Grano soporte. -Contactos tangenciales. -No fue posible determinar sorteo.	13% clastos no identificables. 34% clastos con textura basáltica. 52% clastos basálticos con texturas microspinfex.	Brecha alterada de origen volcánico.	-----	Petrofacies II
<i>PC5-IA-1</i>	Hipocristalina glomeroporfirítica.	Textura basáltica.	Plagioclasa: 40.3%. Augita: 35.9%. Opacos 23.8%.	Basalto	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos
<i>PC5-ITo-1</i>	Cuarzo microcristalino	Gránulos dispersos	70% bioclastos, 3% glauconita, 3% conjunto de clorita, opacos y fragmentos de vidrio, el restante corresponde con matriz.	Lutita silícea, chert o radiolarita.	Presencia de radiolarios.	Petrofacies IV: Fl.

*Tabla XI. Continuación de Tabla X*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tipo de matriz-</b>	<b>Textura</b>	<b>Componentes</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Particularidad</b>	<b>Petrofacies</b>
<i>PC5-IN- 2.1</i>	Wackestone.	-Matriz soporte. -Variedad de contactos: puntuales, tangenciales y cóncavos – convexos.	22% clastos con texturas variolíticas. 38% de clastos con texturas microspínifex. 16% de clastos con textura basáltica. 22% de fragmentos remanentes de vidrio.	Brecha fina epiclástica monomíctica.	5% de bioclastos: foraminíferos y radiolarios.	Petrofacies I (Gm-Gmm).
<i>PC5-IN-1</i>	Reemplazo a calcita mineral y micrita-microesparita	-Clasto soporte. - Contactos puntuales. -Moderadamente bien sorteado.	35% clastos basálticos con textura microspínifex. 20% clastos remanentes de fragmentos de vidrio. 45% no reconocibles.	Brecha fina epiclástica monomíctica.	-----	Petrofacies I (Gm-Gmm).

*Tabla XII. Resumen de la definición de petrofacies de litologías de las hojas topográficas Río Arío y Tambor.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tipo de matriz-</b>	<b>Textura</b>	<b>Componentes</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Particularidad</b>	<b>Petrofacies</b>
<i>PC3-D2-A3A</i>	Sílice microcristalino amorfo	Minerales dispersos flotantes y bien redondeados.	De los minerales libres el 80-90% minerales de óxidos. 20-10% cuarzo policristalino, monocristalino ondulado y no ondulado en conjunto con plagioclasa. Clasificación modal: Qz: 15%, F: 2%, otros 3%, No reconocibles: 30% y 50% matriz.	Lutita arenosa siliclástica.	Presencia de glauconita.	Petrofacies IV: Fl.
<i>PC3-D2-A3B</i>	Sílice microcristalino amorfo impregnado con óxidos	Óxidos desarrollados en fracturas con formas dendríticas. Ocasionalmente se halla en medio arenisca muy fina.	Cuarzo: 20%, Líticos: 0% Feldespatos: 3%, otros: 3%, no reconocibles: 24%, Matriz: 50%.	Lutita siliclástica.	Presencia de glauconita.	Petrofacies IV: Fl.
<i>PC3-D2-A2.2cl</i>	Hipocristalina	Microspínifex	1% de vidrio, 15% minerales opacos, 5% plagioclasas, 79% clinopiroxenos.	Basalto	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos

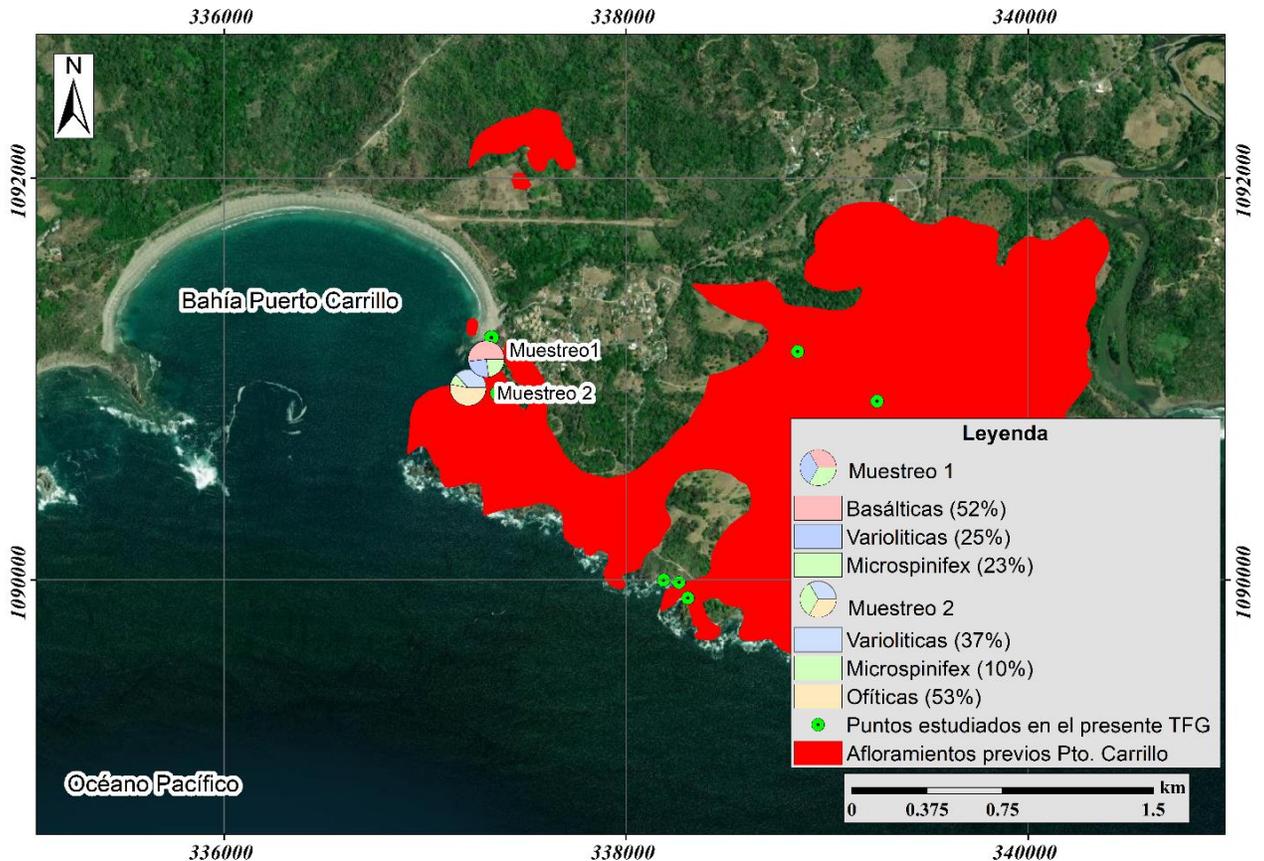
*Tabla XIII. Resumen de la definición de petrofacies de litologías en la hoja topográfica Venado.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tipo de matriz-</b>	<b>Textura</b>	<b>Componentes</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Particularidad</b>	<b>Petrofacies</b>
<i>PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T</i>	Reemplazo a calcita mineral y zeolitas.	-Matriz soporte. -Contactos variables entre flotantes, puntuales y planos.	18% remanentes de fragmentos de vidrio. 33% clastos remanentes granulares con piroxenos. 49% clastos rojizos remanentes con plagioclasas aciculares.	Brecha alterada de origen volcánico.	-----	Petrofacies II.
<i>D1-PC4-A1</i>	Hipocristalina xenomórfica	Glomeroporfírica con matriz pseudobasáltica.	Pseudoplagioclases: 26.7%, augitas: 38.2%, clorita: 9.4%, opacos: 10.1%, no reconocibles: 11.8%, vidrio remanente: 3.8%.	Basalto	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos
<i>D1-PC4-A3</i>	Hipidiomórfica equigranlar	Textura dolerítica	Plagioclasas: 40.5%, Augitas: 34.63%, opacos: 9.37%, no reconocibles 13.75% y vidrio 1.75%.	Basalto	-----	Petrofacies V: Basaltos masivos
<i>D1-PC4-A11</i>	Reemplazo a calcita mineral y zeolitas. Remanente vidrio verde que constituiría la composición original.	-Clasto soporte. -Contactos puntuales y tangenciales planares.	40% clastos con textura granular semejando esferolitas. 60% clastos remanentes origen ígneo con fenocristales de pseudoplagioclasea.	Brecha alterada de origen volcánico.	-----	Petrofacies II.

A partir de la definición de las petrofacies, se determina que, en los sitios registrados previamente como depósitos de la Formación Puerto Carrillo, se hallan dos principales tipos de brechas, una con matriz de composición calcárea, generalmente calcilutas – wackestone con cemento de calcita cristalina, de origen epiclástico y otro tipo de origen ígneo con matriz de vidrio muy alterado.

Para el caso de ambos tipos de brechas, los clastos composicionalmente corresponden en su totalidad con basaltos, sin embargo, texturalmente pueden ser de varios tipos o de solo uno.

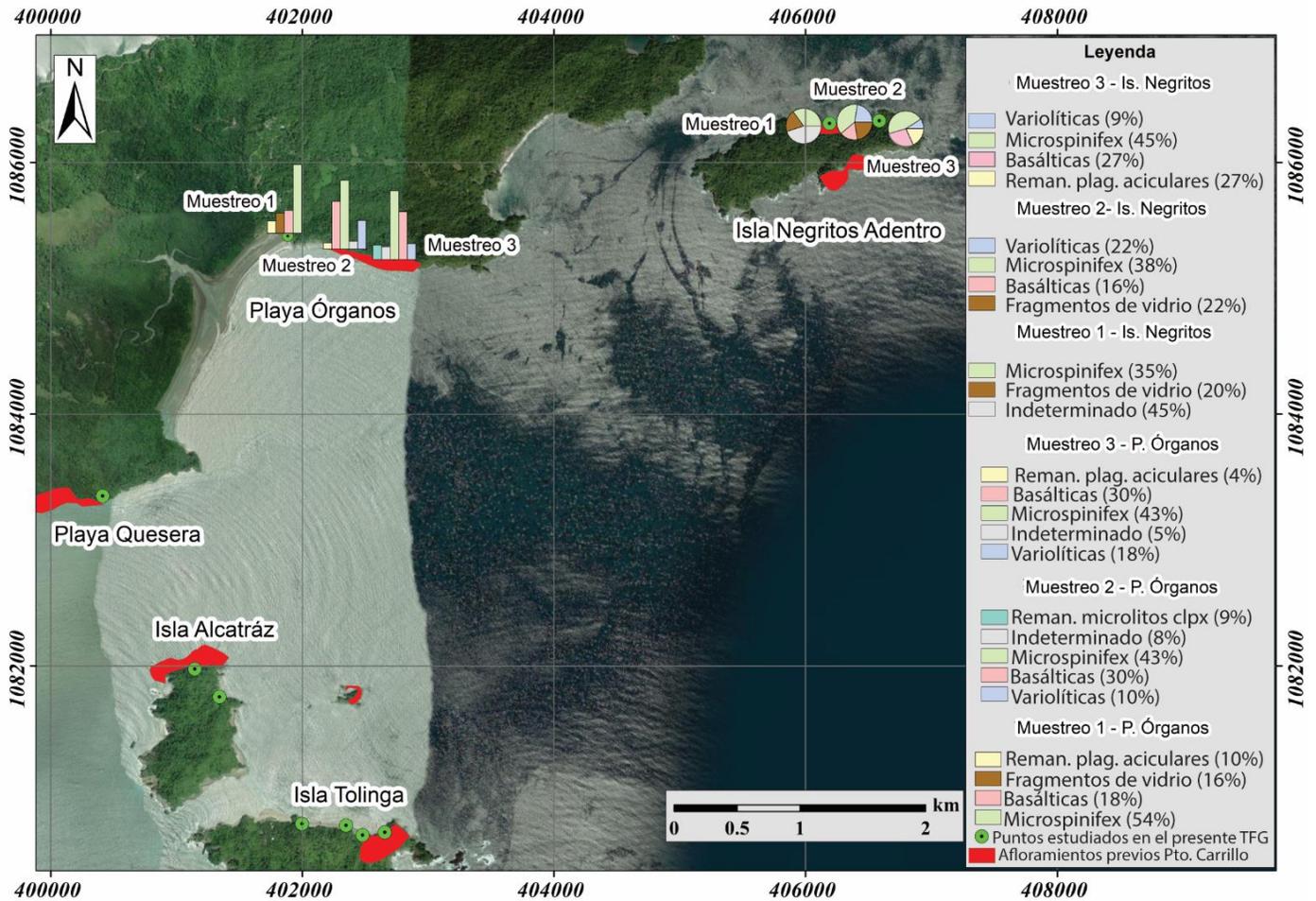
La distribución geoespacial de los tipos de brechas y las texturas que caracterizan a sus clastos basálticos (Figuras 115, 116 y 117) se diferencian por el tipo de gráfico para representar su abundancia, de manera que los gráficos de barras corresponden con las brechas de origen ígneo y los gráficos de pastel las brechas epiclásticas con matriz calcárea.



**Figura 115.** Abundancia de tipos de texturas características halladas en los clastos basálticos de las brechas epiclásticas (matriz calcárea) del estratotipo asignado a la Formación Puerto Carrillo. **Fuente:** elaboración propia considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.83. Proyección CRTM05.

Las brechas que se encuentran en el estratotipo, de manera general, se constituyen de una matriz de calcilutita con clastos basálticos, los cuales en promedio se caracterizan por configurarse texturalmente por un 25% de clastos con texturas variolíticas, 52% basálticas y 23% de tipo microspínifex y las cuales varían ligeramente a la constitución de 37% de tipo variolíticas, 10% microspínifex y 53% de clastos basálticos con textura ofítica, Tal como se muestra en la Figura 116, correspondiente con la ubicación de los resultados en los sitios de donde fueron tomadas las muestras para el análisis que permitió determinar dichas configuraciones.

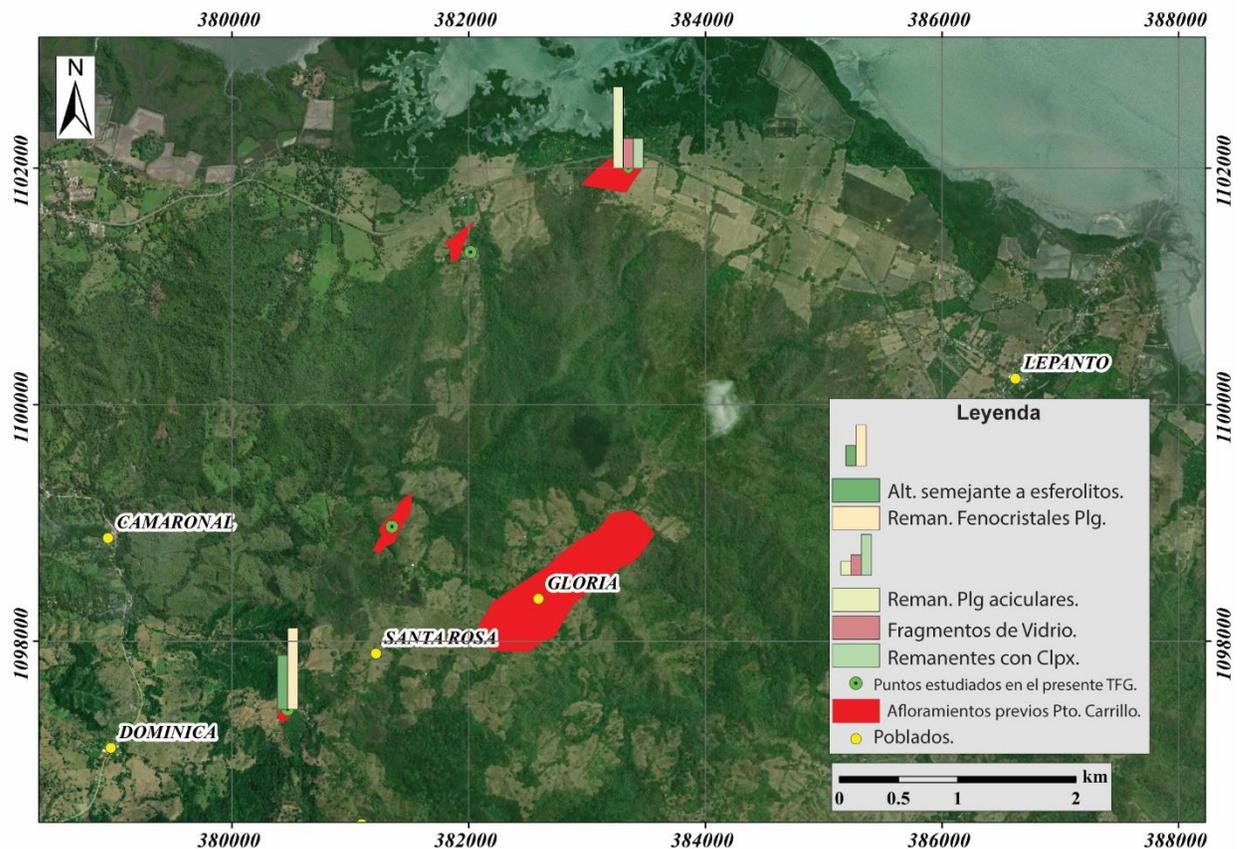
En el caso de isla Negritos Adentro, los clastos basálticos con textura microspínifex abundan entre un 35% y un 45%, las texturas variolíticas entre un 9 y un 22%, las basálticas, los fragmentos de vidrio entre un 20% - 22%, y los clastos remanentes de origen ígneo con plagioclasas aciculares, llegan alcanzar hasta un 18% (Figura 116).



**Figura 116.** Abundancia de tipos de texturas características de los clastos basálticos analizados de las brechas encontradas en playa Órganos e isla Negritos (hojas topográficas Golfo y Tambor). Gráficos de barras (brechas de origen ígneo-matriz vidrio), gráficos pastel (brechas epiclásticas-matriz calcárea). **Fuente:** elaboración propia considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.

Las brechas de las cercanías entre Jicaral y Lepanto (Figura 117), se encuentran altamente meteorizadas, alteradas y han sido reemplazadas, tanto en la constitución de su matriz como en la de los clastos, sin embargo, se identifica que el tipo de brecha de origen ígneo, contiguo a la carretera 21, a la derecha en sentido Jicaral-Paquera tiene un 18% de fragmentos de vidrio, 33% de clastos remanentes de origen ígneo con clinopiroxenos equigranulares, 49% corresponde con clastos remanentes de origen ígneo con coloraciones rojizas y con plagioclasa acicular dispersa aleatoriamente.

Asimismo, la calidad de muestra colectada entre el poblado de Santa Roca y Dominica era muy baja, identificándose solamente un 40% de clastos remanentes de origen ígneo con texturas granulares semejantes a esferolitos y un 60% de clastos remanentes con fenocristales de pseudoplagioclasa.



**Figura 117.** Abundancia de tipos de texturas características de los clastos basálticos analizados de las brechas de origen ígneo encontradas entre Jicaral y Lepanto (hoja topográfica Venado). **Fuente:** elaboración propia considerando a Denyer et al. (2014). **Metadatos:** Datum CR05, época 2005.

## DEFINICIÓN DE LA FORMACIÓN PUERTO CARRILLO

A partir del análisis de resultados litológicos obtenidos en los sitios registrados previamente como Formación Puerto Carrillo se cuestiona la definición de esta.

Oficialmente fue considerada por Sprechman (1982) como brechas mal estratificadas y mal seleccionadas con clastos angulosos de composición basáltica, silíceo y ocasionalmente gabraica, los cuales se encuentran en una escasa matriz lutítica calcárea color verde-blancuzco, asimismo, incluye interestratificaciones pobres de arenitas y calcilitas.

Asimismo, autores como Baumgartner et al. (1984) y otros, considerados en los antecedentes del presente trabajo, atribuyen características litológicas similares a las definidas por Sprechman (1982), las cuales de acuerdo con los resultados obtenidos corresponden con la petrofacies identificada como Petrofacies I: Brechas epiclásticas monomíticas, que se caracterizan por tener una matriz calcárea y clastos basálticos, estas se encuentran en bahía Puerto Carrillo y en isla Negritos Adentro.

Sin embargo, en playa Órganos, playa Muertos y en los afloramientos de la hoja topográfica Venado registrados previamente como Formación Puerto Carrillo, las brechas encontradas son de una composición y un origen distinto al asignado oficialmente como Puerto Carrillo, ya que las brechas de estos sitios son de origen ígneo y caracterizan por una matriz de vidrio con clastos basálticos, asignadas a Petrofacies II: Brechas alteradas de origen volcánico.

Por lo que, si se considera la definición oficial de brechas Puerto Carrillo, solamente pueden asociarse las de Petrofacies I. Cuestionándose la asignación de brechas de origen ígneo en los sitios registrados previamente como Puerto Carrillo, que a pesar de tener el mismo tipo de clasto (basáltico), difieren en el tipo de matriz.

Por otra parte, también se cuestiona la asignación de afloramientos como si fuesen brechas de la Formación Puerto Carrillo en bahía Tambor y Sector 2 (Figura 16) en Puerto Carrillo, a donde se encuentran basaltos en almohadilla los cuales presentan una meteorización que visualmente asemejan brechas epiclásticas monomíticas como las observables en el estratotipo, con matriz calcárea color beige y clastos basálticos.

## FACTORES CONTROLADORES DE DEPOSITACIÓN

Considerando las petrofacies definidas, las características físicas de las brechas epiclásticas monomíticas de la Petrofacies I, del tipo Gm (incluyendo Gmm y Gms), tales como la alta angularidad, tamaños de clastos de grava media predominantes en conjunto con mezclas de brechas finas características de un sorteo muy pobre y sin una organización de estructuras sedimentarias, indican de manera general su depositación asociada a corrientes tractivas, esto en un ambiente marino, detallado a continuación según indicadores hallados en la constitución de sus matrices.

Composicionalmente, los clastos de esta Petrofacies son monomíticos de tipo volcánico, específicamente basaltos, considerando la observación de litologías relacionadas estratigráficamente a dichas brechas, es decir, los subyacentes basaltos masivos, y contextualizándolos con las asignaciones previas de estos como basaltos pertenecientes al Complejo de Nicoya, se considera que los clastos constituyentes de las brechas en estudio corresponden con litologías depositadas de manera intraformacional.

De las brechas epiclásticas monomíticas, destaca el contraste con sus matrices de granulometrías finas a muy finas, lo cual a su vez da paso para el análisis de su génesis. Iniciando por su composición calcárea, específicamente se constituyen de micrita y microesparita con presencia de bioclastos de foraminíferos y radiolarios, los cuales pueden corresponder con la fuente generadora de dicha composición, así como de la recristalización constituyente de la cementación de calcita cristalina, el estado de alta fragmentación de dichos microfósiles y sus restos de estos evidencian la incidencia de procesos erosivos y tracción de las corrientes de depositación.

La presencia de carbonato cálcico en la matriz, así como la precipitación de cemento de carbonato suelen encontrarse en entornos marinos poco profundos, lo cual se puede confirmar y con más detalle, gracias a los minerales de glauconita hallados en la matriz.

La importancia de la presencia de glauconita, radica en que este es un mineral indicador paleoambiental. Ya que como menciona Nichols (2009), es autigénico, no proviene de un desprendimiento o retrabajo de la litología fuente como los otros minerales detríticos

y corresponde con un silicato de hierro verde que se forma en ambientes marinos poco profundos.

Nichols (2009) menciona:

El proceso de formación del mineral de Glauconita, llamado la glauconitización, se produce en el fondo de sustrato marino a partir de partes duras de foraminíferos y otros fragmentos de carbonato, pellets fecales y fragmentos líticos. Se supone que el proceso requiere de un microambiente en particular en la interfaz entre el agua de mar oxidante y aguas intersticiales ligeramente reductoras. Lo cual suele suceder en profundidades de agua entre 50 y 500 m, en las partes exteriores de plataformas continentales y partes superiores de los taludes continentales (p.171).

Por tanto, al considerar en conjunto la configuración y componentes de la Petrofacies I en relación con las Petrofacies III y IV, relacionadas a esta, se puede deducir la depositación de areniscas generadas por la abrasión de flujos ligeramente turbulentos, y principalmente laminares propios de la dinámica de una zona mesopelágica, los cuales fueron interrumpidos por importantes sucesos erosivos y tractivos generadoras del desprendimiento de fragmentos basálticos, los cuales pasaron a formar parte su constitución.

## **TEXTURAS MICROSPINIFEX Y VARIOLÍTICA**

Las texturas microspinifex y variolítica son comunes en los clastos basálticos que conforman los depósitos brechosos de la Formación Puerto Carrillo. Al encontrarse estos constituyentes como fragmentos inmersos en una matriz, no es posible conocer las relaciones estratigráficas del emplazamiento de las efusiones basálticas que figuraron como fuente generadora de los clastos, sin embargo, los tipos de textura microspinifex y variolítica, brindan importante información acerca de las condiciones del magma durante su emplazamiento.

Estos dos tipos de texturas, como mencionan Arndt y Fowler (2004) son típicas de flujos de komatiitas y basaltos con condiciones térmicas únicas y similares a las presentadas durante el Arcaico.

Según Arndt y Fowler (2004), el término de spinifex se define como:

Una textura caracterizada por grandes granos de olivino o piroxeno, esqueléticos o dendríticos, laminares o aciculares que se encuentran en las partes superiores de los flujos komatiíticos o, con menor frecuencia, en los márgenes de los diques. La textura se cree que se forma durante la cristalización *in situ*, relativamente rápida, de líquidos ultramáficos o altamente máficos (p.1).

Asimismo, estos autores reconocen que las formas particulares de crecimiento de estos minerales puede deberse a varios factores como mezcla de magma y pérdida de volátiles, sin embargo, se concentran en la pérdida de calor, y aseguran que los cristales que tienen puntas afiladas y están alineados de modo que sus caras de crecimiento más rápido son normales a los contactos de enfriamiento, sugieren que crecieron en un fuerte gradiente químico-potencial, en parte creado por los propios cristales, a medida que modificaban la composición y la temperatura del líquido a partir del cual cristalizaron, lo cual responde a un intento por alcanzar nuevas condiciones de temperatura, presión y composición impuestas por el sistema.

Y que en condiciones alejadas del equilibrio (enfriamiento brusco), se produce una interacción entre el crecimiento de los cristales y las tasas de nucleación, influida por la difusión de los constituyentes del crecimiento y el calor, y por las anisotropías del crecimiento de los cristales. Lo cual puede dar lugar a que surjan espontáneamente patrones de crecimiento distintivos.

Por último, Arndt y Fowler (2004) incluyen el término de crecimiento restringido, el cual se refiere a la cristalización de granos paralelos de olivino o piroxeno en la corteza descendente de un flujo de lava en el cual:

Los cristales compiten entre sí por los "nutrientes", los átomos de Mg, Fe y Si que son componentes esenciales de sus estructuras cristalinas. Esta competencia es la que da lugar a la orientación preferente, casi perpendicular, de los cristales de olivino en las texturas de spinifex (p.8).

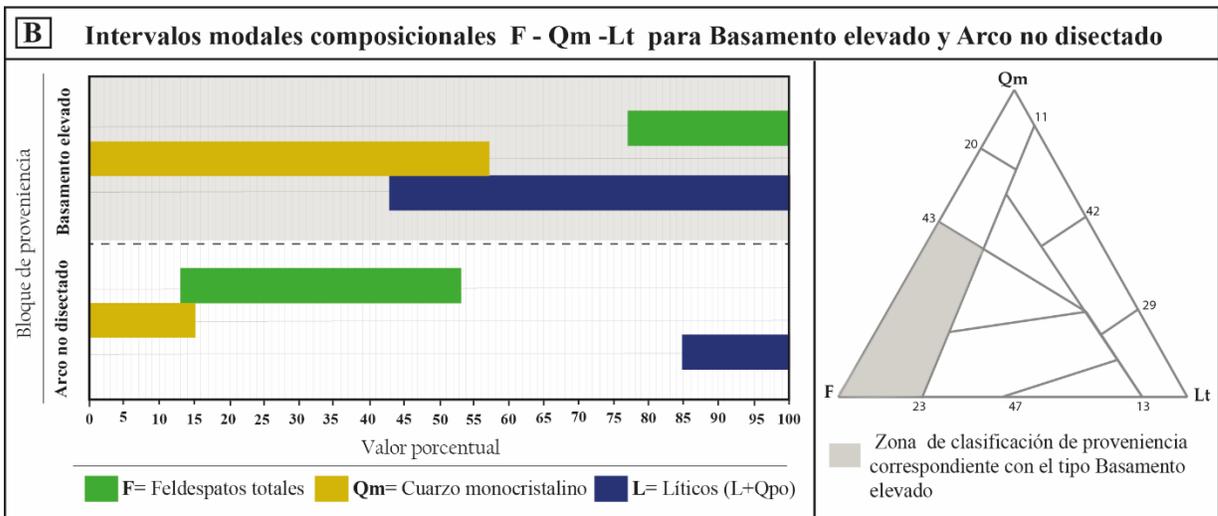
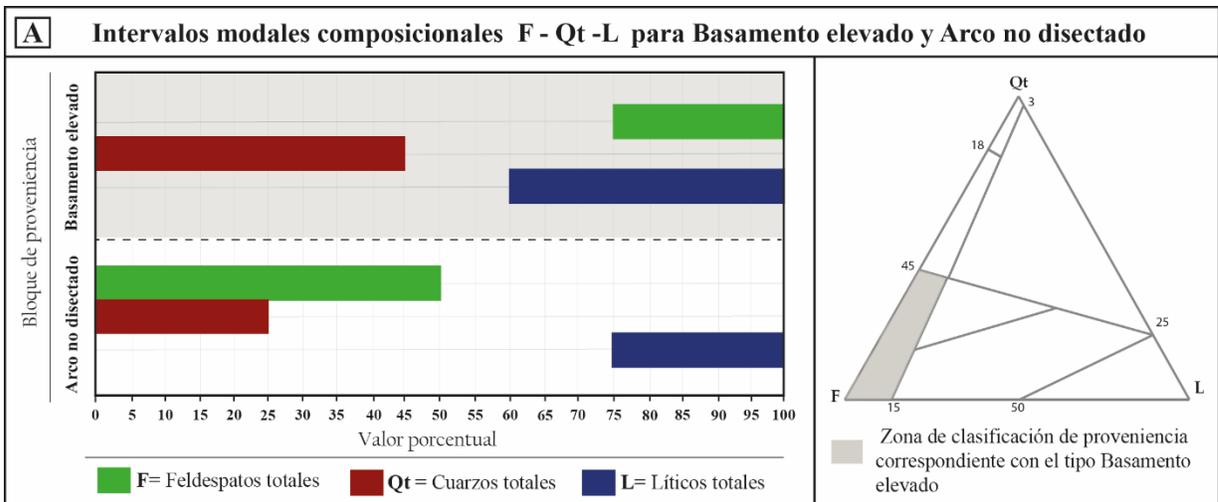
## INDICIOS DE PROVENIENCIA

Se considera que los basaltos ubicados en la base de las secciones estratigráficas figuran como la fuente provisora de los clastos conformantes de las brechas epiclásticas monomíticas, dichos basaltos, por contextualización regional, han sido asociados a los basaltos del Complejo de Nicoya.

En el presente trabajo, el origen y emplazamiento de los basaltos del Complejo de Nicoya se considera siguiendo a Madrigal et al. (2016) quienes proponen que estos terrenos basálticos de origen oceánico se relacionan con efusiones basálticas de grandes provincias ígneas en tres episodios desde hace ~140 Ma, como parte de la generación del basamento más joven de la dorsal medio oceánica del Pacífico (120 Ma) e intrusiones basálticas masivas representantes de fragmentos de la Gran Provincia Ígnea del Caribe (~ 90 Ma). Por tanto, los resultados de indicios de proveniencia deberían corresponder con la configuración de Basamento Elevado según la metodología de clasificación de diagramas ternarios (Dickinson et al. (1983)) utilizados en la presente investigación.

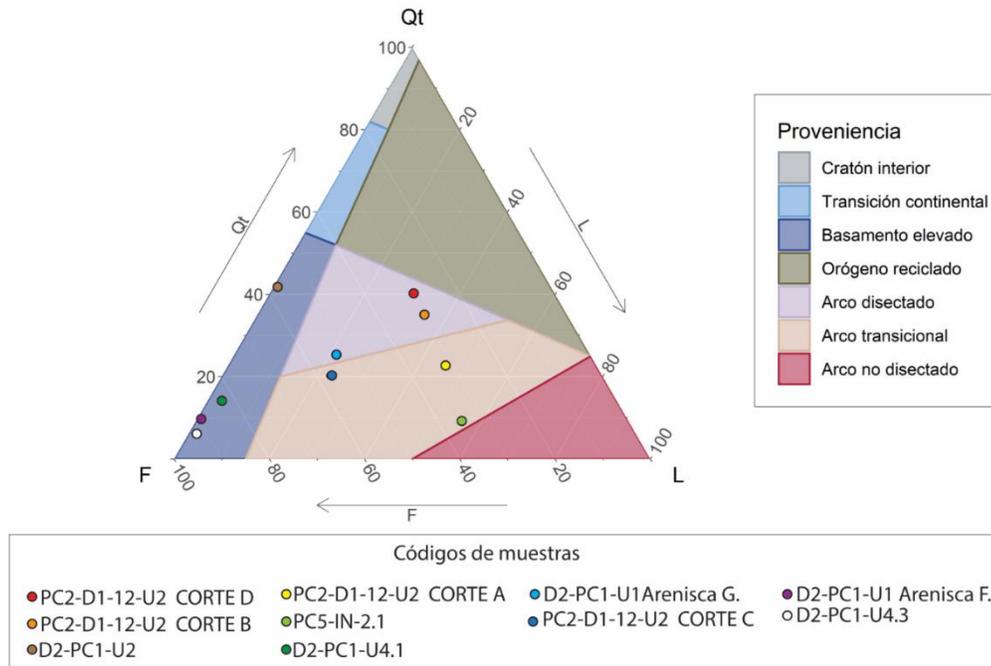
Cabe destacar, que se ha planteado otra teoría para la explicación del origen del complejo oceánico de Nicoya, el cual ha sido relacionado con efusiones de manera *in situ* según Ball et al. (1969); Aubouin et al, 1982; Sykes et al. (1982); Frisch et al. (1992); Meschede et al. (1997); Meschede y Frisch (1998); entre otros. Lo cual, para efectos de clasificación de indicios de proveniencia correspondería con resultados del tipo Arco Magmático en general, con tendencia específica a Arco Magmático no disectado.

Para obtener una configuración de proveniencia de Basamento Elevado se requiere que los valores modales de los detritos minerales indicadores deberían hallarse dentro de los siguientes rangos composicionales: F = 75-100%, Qt = 0-45% y Lt = 60-100%, esto para el caso de la configuración del diagrama F-Qt-L, mientras que en el esquema clasificatorio F-Qm-Lt, los resultados deberían ser: F = 77-100%, Qm = 0-57%, Lt = 43-100%, tal como se muestra en la Figura 118, donde también se muestran las cantidades detríticas necesarias para obtener la configuración de Arco no disectado, en los dos tipos de gráficos (F-Qt-L y F-Qm-Lt).

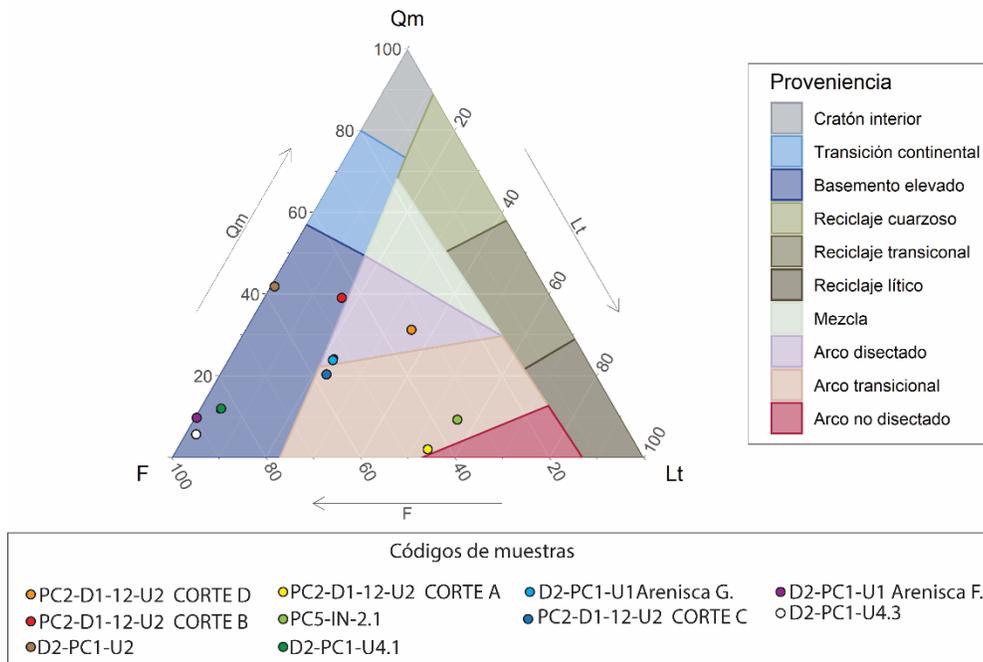


**Figura 118.** Composiciones modales de proveniencia para los casos Basamento Elevado y Arco no disectado según la metodología de Dickinson (1985). **118.A:** Rangos composicionales y zona de clasificación de proveniencia del diagrama ternario F-Qt- L, en sombreado gris se muestran los valores esperados en el caso de estudio. **118.B:** Rangos composicionales y zona de clasificación de proveniencia del diagrama ternario F-Qm-Lt, en sombreado gris se muestran los valores esperados para el caso de estudio.

Sin embargo, a partir de los análisis y conteos realizados en las matrices y areniscas intestratificadas en las brechas asignadas a la Formación Puerto Carrillo, se obtuvo en los diagramas discriminatorios de fuentes de proveniencia (Figuras 119 (para el caso de detritos determinantes QT-F-L) y 120 (para las clasificaciones modales Qm-F-Lt), que las fuentes proveedoras de los constituyentes de las brechas podrían provenir de un Basamento Elevado, o Arco Magmático (Arco Disectado o un Arco Transicional). Correspondiendo de esta manera con la configuración de las dos teorías propuestas históricamente para el emplazamiento de los basaltos del Complejo de Nicoya.



**Figura 119.** Resultado de clasificación discriminativa F-Qt-L de indicios de proveniencia a partir de detritos hallados en la matriz y areniscas relacionadas a las brechas de la Formación Puerto Carrillo.



**Figura 120.** Resultado de clasificación discriminativa F-Qm-Lt de indicios de proveniencia a partir de detritos hallados en la matriz y areniscas relacionadas a las brechas de la Formación Puerto Carrillo.

Las razones consideradas para justificar los resultados ambiguos obtenidos en los indicios de proveniencia corresponden con las siguientes:

Es evidente la baja densidad de muestras clasificadas, lo cual se debe a que si bien, la cantidad de hallazgos de afloramientos brechosos fue menor al estimado, de las brechas estudiadas, no todas cumplen con los requisitos para dicho análisis, tales como la presencia o abundancia necesaria de granos minerales indicadores, así como el tamaño que permita su identificación. Por ejemplo, las brechas de origen ígneo presentan una matriz de vidrio remanente exclusivamente, muy distinto a la naturaleza de las brechas epiclásticas que contienen granos inmersos en su matriz calcárea, común en los tipos de brechas sedimentarias.

Considerando los resultados obtenidos cabe destacar que, a pesar del amplio uso actual de los diagramas ternarios para la determinación de proveniencia, es importante reiterar que Dickinson (1970) reconoció que su lista de parámetros que no es un método completamente determinante y a lo que Garzanti (2016) agrega que entre un 36% - 22% es específicamente al porcentaje de incertidumbre, ya que, por medio de la petrografía convencional únicamente, no es posible la distinción autóctona – alóctona, cronológica y geoquímica.

Sumado a lo anterior, en la presente investigación el principal inconveniente surgió en el contraste granulométrico, por ejemplo, al identificar plagioclasa y cuarzo monocristalino no ondulado debido al tamaño de grano muy fino, pudiendo generar confusión y aumentando el grado de error en los conteos.

Dickinson (1970) destaca que la clasificación de parámetros Q-F-L y sus derivados, como los utilizados en el presente estudio, no puede abarcar todas las variables modales de cada *suite* de areniscas, por lo que se deben considerar particularidades de cada caso. Por ejemplo, este autor excluye minerales pesados y micas, los cuales, son componentes importantes para la determinación de proveniencia, más no determinantes de una distribución normal, esto por su dominante control mecánico.

Es por tanto que igual que este autor, se exhorta a la realización de trabajos enfocados en la distinción empírica de los efectos entre materiales intersticiales y diagenéticos. Es decir, un reporte más preciso entre textura y mineralogía que pueda reducir posibles errores en su

reporte. Una herramienta muy utilizada para determinar las características minerales particulares ha sido el análisis mediante la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Dickinson y Milliken (1995) empiezan a implementar la utilización de SEM para análisis detríticos sedimentológicos. Estos autores realizan un estudio del rol diagenético de deformación frágil como una solución a la compactación y disolución, obteniendo resultados como la expresión de la compactación mediante microfracturas extensas rellenas con cuarzo autigénico, contactos brechados, granos triturados, crecimientos excesivos y cementos relleno de poros, los cuales no habían sido reconocidos previamente.

Los análisis de cuarzoes detríticos utilizando SEM continúan siendo objeto de estudio, pero en la mayoría de los casos se innovó añadiendo el accesorio de Catodoluminiscencia (CL) como complemento.

Además de las distinciones ópticas por intensidades que permite el accesorio de Catodoluminiscencia, los análisis utilizando Microscopía Electrónica de Barrido simple, han aportado importantes caracterizaciones físicas detríticas de los cuarzoes que permiten una distinción sobre los efectos físicos por incidencia diagenética y tectónica en comparación con las condiciones originales de cada mineral, tal como se realiza en Boggs et al., (2001); Bernet y Bassett (2005); Mork y Moen 2007; Vos et al. (2014); Sales de Oliveira et al. (2017).

El reconocimiento correcto de cada uno de estos tipos de granos es indispensable para la obtención de los datos adecuados, ya que servirán como insumo primario en la elaboración de diagramas ternarios FQtL y FQmLt de proveniencia (Figura 11), así como para la clasificación composicional de areniscas.

Las herramientas técnicas de petrografía convencional y SEM, se han complementado muy bien entre sí, distinguiendo características únicas de cada método, pero determinantes de cada tipo de material detrítico, permitiendo una identificación más exacta y por tanto a su vez, resultados de proveniencia más precisos, ya que es posible determinar el estado o calidad de detritos indicadores con los que se está trabajando

## CAPÍTULO IV:

# CONCLUSIONES

---

Se realizó una descripción detallada de la constitución estratigráfica de la Formación Puerto Carrillo antes no registrada. Así como una exhaustiva descripción y caracterización petrográfica de muestras recolectadas en los sitios registrados previamente como Formación Puerto Carrillo.

Como una de las principales contribuciones de esta investigación, se encuentra el hallazgo de nuevas características texturales de los clastos basálticos constituyentes de las brechas. Si bien, previamente se han registrado clastos basálticos, texturalmente son distintos y destacan las texturas microspínifex y variolíticas.

Física y composicionalmente las litologías brechosas asignadas previamente a la Formación Puerto Carrillo son caracterizadas y clasificadas en el presente trabajo según dos tipos predominantes de brechas, esto determinado a partir de la definición de petrofacies.

El primer tipo de litología tiene origen sedimentario y según su clasificación corresponde con una brecha epiclástica monomítica intraformacional. Abarca brechas finas hasta gruesas, sin embargo, predominan las de tamaño de grava media, entre estas se encuentran ocasionalmente ligeras gradaciones normales e inversas, sin embargo, predomina la disposición aleatoria y esporádica entre sí y con respecto a areniscas, confirmado en el cálculo estadístico de tamaños de clasto lo cual arrojó un resultado de una selección muy pobre.

Dichas brechas se hallan en estratos decimétricos principalmente, pero pueden ser hasta métricos, los cuales yacen amalgamados entre sí y espacialmente se encuentran en la sección estratigráfica del estratotipo ubicado en Bahía Puerto Carrillo y en la Isla Negritos Adentro.

Texturalmente en su mayoría son brechas, matriz soportadas con contactos tangenciales-planares. Composicionalmente los clastos son de composición basáltica y

presentan características texturas petrográficas como tipo microspínifex, texturas basálticas, variolíticas y ofíticas, en los casos donde presentan meteorización y/o alteración como clastos remanentes de origen ígneo con plagioclasas aciculares y clastos remanentes de origen ígneo con gran alteración por oxidación de las que se identifican microlitos de augita, así como también se detectaron fragmentos de vidrio.

La depositación de estos tipos de brechas epiclásticas se consideran en conjunto con petrofacies arenosas, gracias a la presencia de glauconita como mineral indicador, en un paleoambiente interfaz entre el agua de mar oxidante y aguas intersticiales ligeramente reductoras; de acuerdo con Nichols (2009) suele suceder en profundidades de agua entre 50 y 500 m, en las partes exteriores de plataformas continentales y partes superiores de los taludes continentales. La depositación regular de areniscas y lutitas calcáreas producto de la dinámica propia de abrasión de la plataforma externa a zona mesopelágica se vería afectada por un proceso de fuerte erosión y por flujo tractivo - turbulento que provocaría el desprendimiento de fragmentos de basaltos y su desordenada depositación.

El segundo tipo predominante de brechas halladas en los puntos registrados como Puerto Carrillo corresponden con brechas de origen ígneo muy alteradas de las que se reconoce una matriz constituida por vidrio con alteraciones predominantemente por óxidos y clorita, o bien, no se encuentra porque ha sido desprendido. El vidrio se presenta de manera intersticial entre los clastos remanentes, es escaso. El estudio geoestadístico arroja una selección moderada.

Los clastos que conforman este otro tipo de brechas también son de composición basáltica y se distinguen texturalmente los tipos microspínifex, basálticos y variolíticos. La mayoría presenta un alto grado de alteración a óxidos, en los casos donde solamente se mantienen remanentes es posible distinguir típicamente clastos con plagioclasas aciculares y con microlitos de augitas.

A partir de los resultados de los dos tipos de brechas, se pone en cuestionamiento la asignación de los afloramientos en playa Muertos, playa Órganos y los afloramientos puntuales de la hoja topográfica Venado como Fm. Puerto Carrillo, ya que, si bien corresponden con brechas, son de un origen distinto (ígneo) al asignado según la definición oficial de Fm. Puerto Carrillo de Sprechmann (1982), la cual se caracteriza por ser de origen

sedimentario. O bien, se considera replantear la definición de dicha formación, de manera que puedan ser incluidos ambos tipos de brechas si se pudiera probar su relación coetánea, sin embargo, para esto sería necesario ampliar los estudios, contar con una datación exacta para ambos tipos de depósitos, así como de un mayor detalle estratigráfico, pero con respecto a otras formaciones sub y sobreyacentes.

Por otra parte, cabe destacar que en Bahía Tambor y en las cercanías del estratotipo se han registrado afloramientos brechosos, sin embargo, en la presente investigación, al estudiar dichos puntos se determina que corresponden con basaltos en almohadilla, los cuales al meteorizar lo hacen con formas y coloraciones muy similares a los depósitos brechosos “típicos” de la Fm. Puerto Carrillo, por lo que se determina que son fácilmente confundibles.

Si bien las brechas evidencian orígenes distintos de régimen sedimentario e ígneo, se encuentran componentes basálticos que mantienen la misma característica textural microspínifex.

Un nuevo aporte en la caracterización de las brechas epiclásticas de la Formación Puerto Carrillo corresponde con la presencia de nanofósiles, específicamente con especímenes del género *Watznaueria* spp. *Watznaueria barnesae*. (Bathonense-Maastrichtense).

Los resultados clasificatorios de discriminación de proveniencias geotectónicas obtenidos a partir del análisis y clasificación de detritos concentraron los indicios de proveniencia con posibilidades de una fuente de Basamento Elevado, Arco disectado o Arco transicional. Sin embargo, debido la condición de escaso material detrítico y su tamaño, sumado al margen de incertidumbre de error (22%-36%) por defecto de la metodología Dickinson (1970), se recomienda, en caso de desear trabajar con este tipo de litologías para la determinación de proveniencias, la utilización de un complemento de análisis exclusivo de detritos, tal como es la Microscopía Electrónica de Barrido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, T. y Denyer, P. (2019). Capítulo III: Estratigrafía sedimentaria. En Denyer, P. (Ed.), *Perspectiva Geológica del Noroeste de Costa Rica: Historia, Evolución y Cartografía*. (1.ed., p.43-98). San José: Editorial UCR.
- Allen, J. y Johnson, C. (2010). Facies control on sandstone composition (and influence of statistical methods on interpretations) in the John Henry Member, Straight Cliffs Formation, Southern Utah, USA. *Sedimentary Geology*, 230, 60-76. doi:10.1016/j.sedgeo.2010.06.023
- Alvarado, G.E., Denyer, P. y Sinton, C.W. (2007). The 89 Ma Tortugal komatiitic suite, Costa Rica: Implications for a common geological origin of the Caribbean and Eastern Pacific region from a mantle plume. *Geology*, 25, 439-442. doi: 10.1130/0091-7613(1997)025<0439:TMTKSC>2.3.CO;2
- Alvarado, G., Denyer, P. y Gazel, E. (2009). Endeavor research into evolving paradigms around ophiolites: The case of the oceanic igneous complexes of Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 40, 49-73.
- Alvarado, G. y Gans, P. (2012). Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Revista Geológica de América Central*, 46, 7-122.
- Amireh, B. (2018). Petrogenesis of the NE Gondwanan uppermost Ediacaran-Lower Cretaceous siliciclastic sequence of Jordan: Provenance, tectonic, and climatic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 154, 316-341.
- Arndt, N. y Fowler, A.D. (2004). Textures in komatiites and variolitic basalts. Recuperado de: <https://hal.science/hal-00101711/document#:~:text=Komatiites%20and%20variolitic%20basalts%20are,a%20bundant%20in%20many%20Archean%20basalts.>
- Astorga, A. (1987). *El Cretácico Superior y el Paleógeno de la vertiente pacífica de Nicaragua meridional y Costa Rica septentrional: origen, evolución y dinámica de las cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamérica* (Trabajo de fin de grado) Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Aubin, J., von Huene, R., Baltuck, M., Arnott, R., Jacques, B., Folewicz, M. Kvenvolden, K., Leinert, B., McDonald, T., McDougall, K., Ogawa, Y., Taylor, E. y Winsborough, B. (1982). Leg 84 of the Deep Sea Drilling Project. Subduction without accretion: Middle America Trench off Guatemala. *Nature*, 297, 458- 460.
- Ball, M., Harrison, C. y Supko, P. (1969). Atlantic Opening and Origin of the Caribbean. *Nature*, 223, 167-168.
- Bandini, A., Flores, K., Baumgartner, P.O., Jackett, S-J. y Denyer, P. (2008). Late Cretaceous and Paleogene Radiolaria from the Nicoya Peninsula, Costa Rica: a tectonostratigraphic application. *Stratigraphy*, 5, 3-21. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/262010332\\_Late\\_Cretaceous\\_and\\_Paleog](https://www.researchgate.net/publication/262010332_Late_Cretaceous_and_Paleog)

ene\_Radiolaria\_from\_the\_Nicoya\_Peninsula\_Costa\_Rica\_a\_tectonostratigraphic\_application

- Baumgartner, P.O., Mora, C., Butterlin, J., Sigal, J., Glacon, E., Azéma, J. & Bourgois, J. (1984). Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral Pacífico de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (1), 57-136.
- Baumgartner, P.O., Andjic, G., Sandoval-Guitierrez, M., Bandini-Maeder, A., Diserens, M.C., Baumgartner-Mora, C. y Kukoc, D. (2018). En AAPG HEDBERG CONFERENCE: 2-5 julio de 2018 (pp. 10-16). España.
- Basu, A., Young, S., Suttner, L., James, W. y Mack, G. (1975). Re-evaluation of the use of oscillatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45(4), 873-882.
- Beccaluva, L., Chinchilla-Chaves, L., Coltorti, M., Giunta, G., Siena, F. y Vaccaro, C. (1999). Petrological and structural significance of Santa Elena Nicoya ophiolitic complex in Costa Rica and geodynamic implications. *European Journal of Mineralogy*, 11 (6), 1091-1107.
- Bernet, M. y Bassett, K. (2005). Provenance Analysis by Single-Quartz-Grain SEM-CL/Optical Microscopy. *Journal of Sedimentary Research*. 75(3), 496-504. doi: 10.2110/jsr.2005.038
- Boogs, S.Jr., Krinsley, D., Goles, G., Seyedolali, A. y Dypvick, H. (2001). Identification of shocked quartz by scanning cathodoluminescence imaging. *Meteoritics and Planetary Science*, 36, 783-791. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2001.tb01916.x>
- Boggs, S. Jr. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks*, (2da ed.). New York: Cambridge University Press.
- Calvo, C. (2003). Provenance of plutonic detritus in cover sandstones of Nicoya Complex, Costa Rica: Cretaceous unroofing history of a Mesozoic ophiolite sequence. *Geological Society of America Bulletin*, 115(7), 832-844. doi: 10.1130/0016-7606(2003)115<0832:POPDIC>2.0.CO;2
- Ciccioli, P. y Limarino, M. (2014). Petrology and provenance of the Toro Negro Formation (Neogene) of the Vinchina broken-foreland basin (Central Andes of Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 49, 15-38. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.10.003>
- Cortés, J.E., Mejía-Molina, A., Morton, A., Vargas, C.A. y Cortés, S.I. (2019). Provenance, tectonic setting and weathering of sediments in Tumaco-1 ST-P well, Tumaco forearc basin, Colombia: Insights from petrography, heavy minerals, X-ray diffraction, and whole-rock chemostratigraphy. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 1-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102219>
- Dengo, G. (1962). *Estudio geológico de la región de Guanacaste*. Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica.

- Denyer, P. y Baumgartner, P.O. (2006). Emplacement of Jurassic-Lower Cretaceous radiolarites of the Nicoya Complex (Costa Rica). *Geological Acta*, 4(1-2), 203-218. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/28129596\\_Emplacement\\_of\\_Jurassic-Lower\\_Cretaceous\\_radiolarites\\_of\\_the\\_Nicoya\\_Complex\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/28129596_Emplacement_of_Jurassic-Lower_Cretaceous_radiolarites_of_the_Nicoya_Complex_Costa_Rica)
- Denyer, P. y Gazel, E. (2009). The Costa Rican Jurassic to Miocene oceanic complexes: Origin, tectonics and relations. *Journal of South American Earth Sciences* 28, 429-442. doi: 10.1016/j.jsames.2009.04.010
- Denyer, P., Aguilar, T. y Montero, W. (2014). *Cartografía Geológica de la Península de Nicoya, Costa Rica*. (1.ed.) San José, Costa Rica: Editorial UCR.
- Díaz, M. y Marensi, S. (2020). Using sandstone and conglomerate petrofacies to unravel multiple provenance areas in broken-foreland basins: The vinchina formation (Miocene, NW Argentina) as a study case. *Journal of South American Earth Sciences*, 100, 1-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102541>
- Dickinson, W. (1970). Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40 (2), 695-707.
- Dickinson, W. y Suczek, C. (1979). Plate tectonics and sandstone compositions. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 63(12), 2164-2182.
- Dickinson, W., Beard, S., Brakenridge, R., Erjavec, J., Ferguson, R., Inman, K., Knepp, R., Lindeberg, A. y Ryberg, P. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 22-235.
- Dickinson, W. (1985). Interpreting provenance relations from relations from detrital modes of sandstones. *Reidel Publishing Company*, 333-361.
- Dickinson, W. (1988). Provenance and Sediment Dispersal in Relation to Paleotectonics and Paleogeography of Sedimentary Basins. En: Kleinspehn, K.L., Paola, C. (Eds.), *New Perspectives in Basin Analysis*. Springer-Verlag, 3-25.
- Dickinson, W. y Milliken, K. (1995). Diagenetic Role of Brittle Deformation in Compaction and Pressure Solution, Etjo Sandstone, Namibia. *Journal of Geology*, 103(3), 339-347.
- D'Lemos, R.S., Kearsley, A.T., Pembroke, J.W., Watt, G.R. y Wright, P. (1997). Complex quartz growth histories in granite revealed by scanning cathodoluminescence techniques. *Geological Magazine*. 134(4), 149-152. doi: <https://doi.org/10.1017/S0016756897007280>
- Driscoll, N. y Diebold, J. (1999). Tectonic and Stratigraphic Development of the Eastern Caribbean New Constraints from Multichannel Seismic Data. *Sedimentary Basins of the World*, 6, 591-626. doi: [https://doi.org/10.1016/S1874-5997\(99\)80054-9](https://doi.org/10.1016/S1874-5997(99)80054-9)
- Duncan, R. y Hargraves, R. (1986). Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame. *Geological Society of America Memoirs*, 162, 81-94.

- Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional textures.
- Ekwenye, O., Nichols, G. y Mode, A. (2015). Sedimentary petrology and provenance interpretation of the sandstone lithofacies of the Paleogene strata, south-eastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 109, 239-262.
- Flores, K. (2003). *Propuesta Tectonoestratigráfica de la región septentrional del golfo de Nicoya* (Trabajo de fin de grado) Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Flores, K., Denyer, P. y Aguilar, T. (2003a). Geología y Estratigrafía de la Hoja Abangares, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 29, 127-136.
- Folk, R. (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas: Hemphill Publishing Company.
- Frisch, W., Meschede, M. y Sick, M. (1992). Origin of the Central American ophiolites: Evidence from paleomagnetic results. *Geological Society of America Bulletin*, 104, 1031-1314. doi: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1992\)104<1301:OOTCAO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1992)104<1301:OOTCAO>2.3.CO;2)
- Galli-Olivier, C. y Schmidt-Effing (1977). Estratigrafía de la cubierta sedimentaria supra-olfiolítica Cretácica de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 1: 87-96.
- Garnero, E., McNamara, A. Y Shim, SH. (2016). Continent-sized anomalous zones with low seismic velocity at the base of Earth's mantle. *Nature Geosci* 9, 481–489 doi: <https://doi.org/10.1038/ngeo2733>
- Garzanti, E. (2016). From static to dynamic provenance analysis-sedimentary petrology upgraded. *Sedimentary Geology*, 336, 3-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.07.010>
- Gursky, H-J. y Schmidt-Effing, R. (1982). *Sedimentology of the radiolarites within the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica, Central America*. Geologisch-Palaontologisches Institut der Univeritat, Lahnberge, Alemania.
- Hauff, F., Hoernle, K., van den Bogaard, P., Alvarado, G. y Garbe-Shonberg, D. (2000). Age and geochemistry of basaltic complexes in western Costa Rica: Contributions to the geotectonic evolution of Central America. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, (1)1, 1-41. doi: 10.1029/1999GC000020
- Hoernle, K., Hauff, F. y van den Boggard, P. (2004). 70 m.y. history (139-69) for the Caribbean large igneous province. *Geology*, 32(8), 697-700. doi: 10.1130/G20574.1
- Javidan, M., Morkhtarpour, H, Sahraeyan, M. y Kheyrandish, H. (2015). Lithofacies, architectural elements and tectonic provenance of the siliciclastic rocks of the Lower Permian Dorud Formation in the Alborz Mountain Range, Northern Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 109, 211-223. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.06.003>
- Kuipers, E. (1979). La geología del Complejo de Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. *Informe Semestral Instituto Geográfico Nacional*, (2): 15-75.

- Le Maitre, R.W.(Ed.), Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, B., M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. y Woolley, A.R. (2002). *Igneous Rocks: A classification and Glossary of Terms*. (2da ed.). New York: Cambridge University Press.
- Li, M., Guo, Y., Wang, H., Li, Z. y Hu, Y. (2020). Effects of mineral composition on the fracture propagation of tight sandstones in the Zizhou area, east Ordos Basin, China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 78, 1-12.
- Limarino, C. Caselli, A. Net, L. y Gagliardo, M. (1996). A propose of pefite classification relationed to sand and sandstones composition. *Petrología de Rocas Clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología*, Publicación Especial, 1: 52-54.
- Limarino, C. y Giordano, S. (2016). Unraveling multiple provenance areas using sandstone petrofacies and geochemistry: An example in the southern flank of the Golfo San Jorge Basin (Patagonia, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 66, 208-211. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2016.01.006>
- Madrigal, P., Gazel, E., Flores, K.E., Bizimis, M. y Jicha, B. (2016). Record of massive upwellings from the Pacific large low shear velocity province. *Nature Communications*.7, 13309. doi: 10.1038/ncomms13309
- Mann, P., Rogers, R. y Gahagan, L. (2006). Chapter 8: Overview of plate tectonic history and its unresolved tectonic problems. *Tectonics and Geodinamics*. [https://www.researchgate.net/publication/303170048\\_Overview\\_of\\_plate\\_tectonic\\_history\\_and\\_its\\_unresolved\\_tectonic\\_problems](https://www.researchgate.net/publication/303170048_Overview_of_plate_tectonic_history_and_its_unresolved_tectonic_problems)
- Marensi, S., Net, L. y Santillana, S. (2002). Provenance, environmental and paleogeographic controls on sandstone composition in an incised-valley system: the Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. *Sedimentary Geology*, 150, 301-321. doi: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00201-9](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00201-9)
- Marín, F. (1980). *Geología del Área de Punta Escondido, Península de Nicoya, Costa Rica*. (Trabajo de fin de pregrado). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Maximiliano Garnier-Villareal. (2022). Maxgav13/Gmisc: (v0.3.2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.667826>
- McBride, E. (1963). A classification of common sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33 (3), 664-669. Doi: 10.1306/74D70EE8-2B21-11D7-8648000102C1865D
- Meschede, M., Frisch, W., Hermann, U. y Ratschbacher, L. (1997). Stress transmission across an active plate boundry: an example from southern Mexico. *Tectonophysics*, 266, 81-100.
- Meschede, M. y Frisch, W. (1998). A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. *Tectonophysics*

- Miall, A. (1985). Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth Science Review*, 22, 261-308.
- Michaelsen, P. y Henderson, R.A. (2000). Sandstone petrofacies expressions of multiphase basinal tectonics and arc magmatism: Permian-Triassic north Bowen Basin, Australia. *Sedimentary Geology*, 136, 113-136. doi: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00090-7](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00090-7)
- Mork, M., Moen, K. (2007). Compaction microstructures in quartz grains and quartz cement in deeply buried reservoir sandstones using combined petrography and EBSD analysis. *Journal of Structural Geology*, 29, 1843-1854. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2007.08.004>
- Moore, (2001). Carbonate Reservoirs: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-sedimentology/vol/55/suppl/C>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. (2a ed.). West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, Publication.
- Obrist-Farner, J. y Yang, Y. (2017). Provenance and depositional conditions of fluvial conglomerates and sandstone and their controlling processes in a rift setting, mid-Permian lower and upper Quanzijie low order cycles, Bogda Mountains, NW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 138, 317-340. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.02.020>
- Okoro, A.U., Igwe, E.O. y Nwajide, C.S. (2016). Sedimentary and petrofacies analyses of the Amasiri Sandstone, southern Benue Trough, Nigeria: Implications for depositional environment and tectonic provenance. *Journal of African Earth Sciences*. 123, 258-271. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.08.001>
- Pere, E. (2018). Una clasificación normativa de las rocas plutónicas y volcánicas mediante el diagrama 2Q-(or+ab)-4an-2f. *Geogaceta, Sociedad Geológica de España*. 64, 115 – 118.
- Pettijohn, F.J. (1954). Clasificación de Sandstones. *The Journal of Geology*, 62(4), 360-365. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/30065017>
- Pindell, J. y Kennan, L. (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update. *Geological Society of London, Special Publication*, 1-61. doi: 10.1144/SP328.1
- Regadas de Carvalho, R., Neuman, V., Fambrini, G., Assine, M., Marques, M., Guedes, D. y Silva, G. (2018). *Journal of South American Earth Sciences*, 88, 24-106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.07.004>
- Rivier, F. (1983). Síntesis geológica y mapa geológico del área de Bajo Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. En Protti, E. (Coord.), *Informe Semestral: enero a junio 1983* (p. 7- 30). San José: Instituto Geográfico Nacional.

- Ross, M. y Scotese, C. (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Tectonophysics*, 155, 139-168.
- Sales de Oliveira, C., Pe-Piper, G., Piper, D., Zhang, Y. y Corney, R. (2017). Integrated methodology for determining provenance of detrital quartz using optical petrographic microscopy and cathodoluminescence (CL) properties. *Marine and Petroleum Geology*, 88, 41-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.07.031>
- Sánchez, F. (1980). Geología de un Área al occidente de la desembocadura del Río Ora, cantón de Nicoya, provincia de Guanacaste, Costa Rica. Informe Interno de Campaña Geológica, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, San José.
- Seyedolali, A., Krinsley, D., Boggs, S. Jr., O'Hara, P., Dypvik, H. y Goles, G. (1997). Provenance interpretation of quartz by scanning electron microscope-cathodoluminescence fabric analysis. *Geology*, 25, 787-790. doi: 10.1130/0091-7613(1997)025<0787:PIOQBS>2.3.CO;2
- Sinton, C. y Duncan, R. (1997). Nicoya Peninsula, Costa Rica: A single suite of Caribbean oceanic plateau magmas. *Journal of Geophysical Research*, 102(B7), 15,507-15,520. doi: 10.1029/97JB00681
- Sprechmann, P. (1982). Estratigrafía de Costa Rica: I Unidades Estratigráficas Sedimentarias. *Quinto Congreso Latinoamericano de Geología* (pp.55-71). Argentina.
- Stephan, J., de Lepinay, B., Calais, E., Tardy, M., Beck, C., Carfantan, J., Olivet, J., Vila, J., Bouysse, P., Blanchet, R. y Dercourt, J. (1990). Paleogeodynamic maps of the Caribbean: 14 steps from Lias to Present. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8(6), 915-919. doi: 10.2113/gssgfbull.VI.6.915
- Streckeisen, A. (1973). Plutonic Rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geotimes*. 10(18), 26-30.
- Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews. International Magazine for Geo.Scientists*. Amsterdam. (12): 1-33.
- Sykes, L., McCann, W. y Kafka, K. (1982). Motion of Caribbean Plate During Last 7 million years and Implications for Earlier Cenozoic Movements. *Journal of Geophysical Research*, 87(13), 656, 10-676.
- The Planetary Society. (2022). *Wenworth (1922) grain size classification*. Recuperado de: <https://www.planetary.org/space-images/wenworth-1922-grain-size>
- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1988). Tipologías de cuarzo como indicadores de la proveniencia en areniscas: excepciones al método de Basu et al. (1975). *Estudios Geológicos*, 44, 385-390. doi: 10.3989/egeol.88445-6554

- Trela, J., Gazel, E., Sobolev, A., Moore, L., Bizimis, M., Jicha, B. y Batanova, V. (2017). The hottest lavas of the Phanerozoic and the survival of deep Archean reservoirs. *Nature Geoscience*. doi:10.1038/NGEO2954
- Wang, Z., Luo, X., Lei, Y., Zhang, L., Shi, H., Lu, J., Cheng, M., Lui, N., Wang, X., He, Y. y Jiang, T. (2020). Impact of detrital composition and diagenesis on the heterogeneity and quality of low-permeability to tight sandstone reservoirs: An example of the Upper Triassic Yanchang Formation in Southeastern Ordos Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 195, 1-35.
- Walderhaug, O. y Rykkje, J. (2000). Some examples of the effect of crystallographic orientation on the cathodoluminescence colors of quartz. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3), 545-548. doi: 10.1306/2DC40926-0E47-11D7-8643000102C1865D
- Wei, W., Zhu, X., Azmy, K., Zhu, S., He, M. y Sun, S. (2019). Depositional and compositional controls on diagenesis of the mixed siliciclastic-volcanoclastic sandstones: A case study of the Lower Cretaceous in Erennaoer Sag, Erlian Basin, NE China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 188, 1- 48.
- Whattam, S.A., Gazel, E., Yi, K. y Denyer, P. (2016). Origin of plagiogranites in oceanic complexes: A case study of the Nicoya and Santa Elena terranes, Costa Rica. *Lithos*, 262, 75-87.
- Wilson, J. (1965). Submarine fracture zones, aseismic ridges and the International Council of Scientific Unions Line: proposed western margin of the east Pacific Ridge. *Nature*, 207, 907-911.
- Zahid, K. y Barbeau, Jr. D. (2011). Constructing sandstone provenance and classification ternary diagrams using an electronic spreadsheet. *Journal of Sedimentary Research*, 81, 702-707. doi: 10.2110/jsr.2011.55

## ***ANEXO 1***

---

*Descripciones petrográficas completas de muestras recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica Cerro Azul (estratotipo de la Formación Puerto Carrillo)*

---

A continuación, se incluyen los detalles de las secciones delgadas analizadas que fueron recolectadas con ubicación en la hoja topográfica Cerro Azul. Cabe destacar que para los casos de las muestras PC2-D1-12U2 (Corte A), PC2-D1-12U2 (Corte B), PC2-D1-12U2 (Corte C), PC2-D1-12U2 (Corte D), todas corresponden a secciones generadas a partir de una muestra de una misma unidad litológica hallada en el estratotipo de la Formación Puerto Carrillo.

## **1. Código: PC2-D1-12 U2 (Corte A)**

**Fecha de recolección:** 12 de octubre 2021

**Localidad:** Bahía Puerto Carrillo, Hojancha, Guanacaste.

**Coordenadas:** 1091082.18 N / 337361.181E.

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media constituida en un 30% de matriz y un 70% de clastos. Se encuentra soportada por matriz con contactos de tipo puntuales y cóncavos-convexos, los cuales tienen tamaños promedio de 2 cm x 2.5 cm y son de composición basáltica, son muy angulares y angulares. La matriz corresponde a su vez, con una brecha fina, de la cual el 80% es matriz y el 20% son clastos con tamaño promedio de 1 mm y máximo de 0.8 cm, estos se encuentran de manera flotante, son angulosos y muy angulosos de composición basáltica, mientras que a su vez la matriz de esta brecha fina, es de color beige-parda y corresponde con una lutita que reacciona moderadamente al HCl, asimismo, se encuentran vetillas de calcita.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC2-D1-12 U2 (Corte A y B).*

### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

#### **Descripción general de la sección**

Brecha media constituida en un 20% de matriz y un 80% de clastos, estos poseen tamaños mínimos de 0,02 mm y máximos de más de 2 cm, por lo que, en la lámina, la mayoría de clastos no se observan de manera completa, evidenciando muy pobre selección. Los clastos con tamaños

milimétricos tienen formas variables: son muy angulares, angulares y subangulares, los de tamaño centimétrico son angulares y subangulares.

### Descripción de la matriz

La fábrica de la matriz se encuentra constituida por:

Un esqueleto en el que los minerales libres predominantes en la matriz son augita, calcita, cuarzo monocristalino, glauconita, litoclastos de origen volcánico, alteraciones de óxidos y fragmentos de bioclastos (foraminíferos y radiolarios).

Se encuentra matriz soportada, con clastos flotantes principalmente, sin embargo, también se encuentran clastos con contactos cóncavos-convexos (entre clastos centimétricos), el 50% de clastos presentan un borde de reacción de 0,05 mm de calcita.

La matriz se encuentra constituida y cementada por micrita, a su vez parcialmente silicificada. Corresponde con un wackestone, a la cual se le realizó el conteo de minerales indicadores con la finalidad de determinar su ubicación en el diagrama de proveniencia propuesto en el presente trabajo de investigación, obteniéndose como resultado lo siguiente.

### Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia

Observación de conteos hecha con 20X Microscopio Nikon Eclipse E400 pol.

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conteo</i>	<i>Porcentaje modal</i>
<b>Cuarzo</b>	Qnu Monocristalino – no ondulado	19	<b>10.91 % ≈ 11%</b>
	Qu Monocristalino -onduloso	26	<b>14.94% ≈ 15%</b>
	Qp Policristalino	15	<b>8.62% ≈ 9%</b>
	Qm Microcristalino	3	<b>1.72% ≈ 2%</b>
	Qc Calcedonia	0	<b>0%</b>
<b>Feldespatos</b>	K Feldespatos potásicos	10	<b>5.75% ≈ 6%</b>
	P Plagioclasa	34	<b>19.54% ≈ 19%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf Félsicos	17	9.77% ≈ 10%
	Lvv Vítreos	0	0%
	Lvl Basálticos	46	26.43% ≈ 26%
	Lvm Microlítico	0	0%
	Lvt Traquítico	0	0%
	Lva Amigdaloides	0	0%
	Lvs Tobáceos	0	0%
	Lv Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	63	<b>36%</b>
	Lsm Sedimentario	0	0%
	Lsh De lutita	0	9%
	Lsc De carbonato	4	2.30% ≈ 2%
	Ls Lsm+Lsh+Lsc	4	<b>2%</b>
	Lm Metamórfico	0	0%

Cálculos modales:

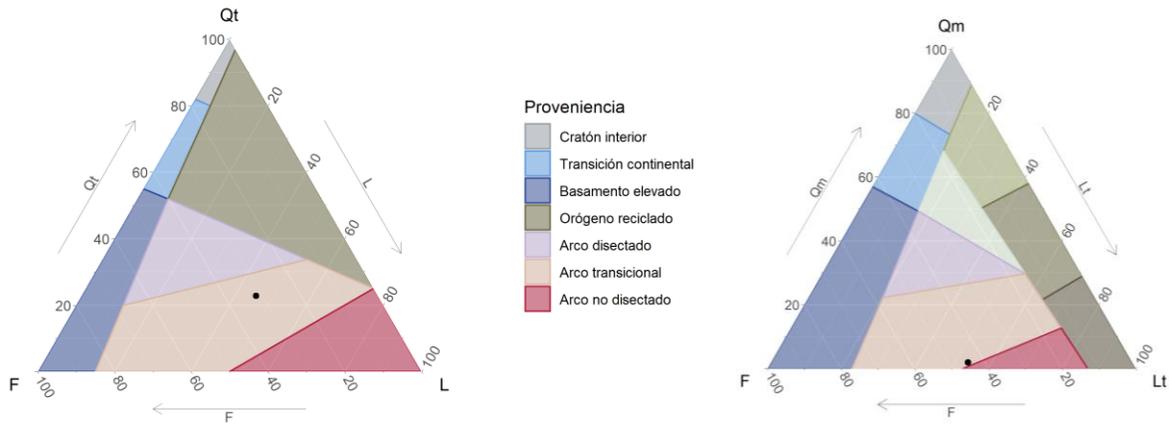
$$\sum \text{Total de minerales contados} = 174$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

Resultados de minerales indicadores

F: 25% / Qm: 2% / Qpo: 18% / Lt: 54% / Qt: 18% / L: 36%

**Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia**



**Descripción de los clastos**

Se hallan 4 clastos abarcando parte de la sección delgada con un tamaño mayor a 1 cm.

**Clasto 1**

Textura hipocristalina hipidiomorfica con minerales de tamaño promedio de 0,15 mm x 0,05 mm, se compone de cristales aciculares (o tipo agujas) hipidiomórficas de plagioclasa dispuestas en sentido radial divergente formando en conjunto con de minerales de augita xenomorfica intersticial, una textura variolítica-microspinifex. También se encuentra aporte de minerales opacos con formas tabulares.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 12° y ángulo mayor 20°: Andesina.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión		
	#1	#2	Promedio
<b>Plagioclasa</b>	72%	73%	72.5%
<b>Augita</b>	20%	20%	20%
<b>Opacos</b>	8%	7%	7.5%
<b>Total</b>	100%	100%	100%

M = 27.5

Recálculo de componentes: Q = 0 %, A = 12%, P = 81%

**Clasificación de clasto 1: Basalto** (campo 10 diagrama Streckeisen).

### **Clasto 2**

Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica seriada, con minerales de tamaño promedio 0.05 x 0,02 mm y máximos de 0,21 x 0.08 mm. Se compone por minerales de plagioclasa con formas hipidiomórficas alargadas o en forma de agujas dispuestas de manera aleatoria, con augitas en medio.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 20° y ángulo mayor 47°: Bytownita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión					
	#1	#2	#3	#4	#5	Promedio
<b>Plagioclasa</b>	77%	62%	73%	55%	60%	65%
<b>Augita</b>	15%	30%	25%	30%	25%	25%
<b>Opacos</b>	5%	8%	10%	10%	15%	9%
<b>Ortosa</b>	3%	0%	2%	5%	0%	2%

M = 34

Recálculo de componentes: Q = 0 %, A = 3%, P = 97%

**Clasificación de clasto 2: Basalto** (campo 9 diagrama Streckeisen).

### **Clasto 3**

Textura hipocristalina porfirítica seriada con tamaños de grano promedio de 0.075 mm x 0.125 mm, se compone en su totalidad por augita, plagioclasa y opacos dispuestos en una textura basáltica con los cristales ubicados de manera aleatoria. El clasto presenta un borde de reacción de calcita.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 21° y ángulo mayor 46°: Bytownita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión				
	#1	#2	#3	#4	Promedio
<b>Opacos</b>	10%	8%	5%	4%	6.75%
<b>Plagioclasa</b>	60%	67%	75%	76%	69.5%
<b>Augita</b>	30%	25%	20%	20%	23.75%

M = 30.5%

Recálculo de componentes: Q = 0 %, A = 0 %, P = 100%

**Clasificación de clasto 3: Basalto** (campo 10b diagrama Streckeisen).

#### **Clasto 4**

Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica con fenocristales con tamaño promedio de 1 mm a 5 mm, compuesto por plagioclasa y augita dispuestas en una textura de tipo basáltica. (Plagioclasa tabulares distribuidas al azar con augita en medio, alteraciones de óxidos de hierro, calcita, sericita y clorita).

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 11° y ángulo mayor 13°: Andesina.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión					
	#1	#2	#3	#4	#5	Promedio
<b>Opacos</b>	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<b>Plagioclasa</b>	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%
<b>Augita</b>	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%

M = 52.5%

Recálculo de componentes: Q = 0 %, A = 0 %, P = 100 %.

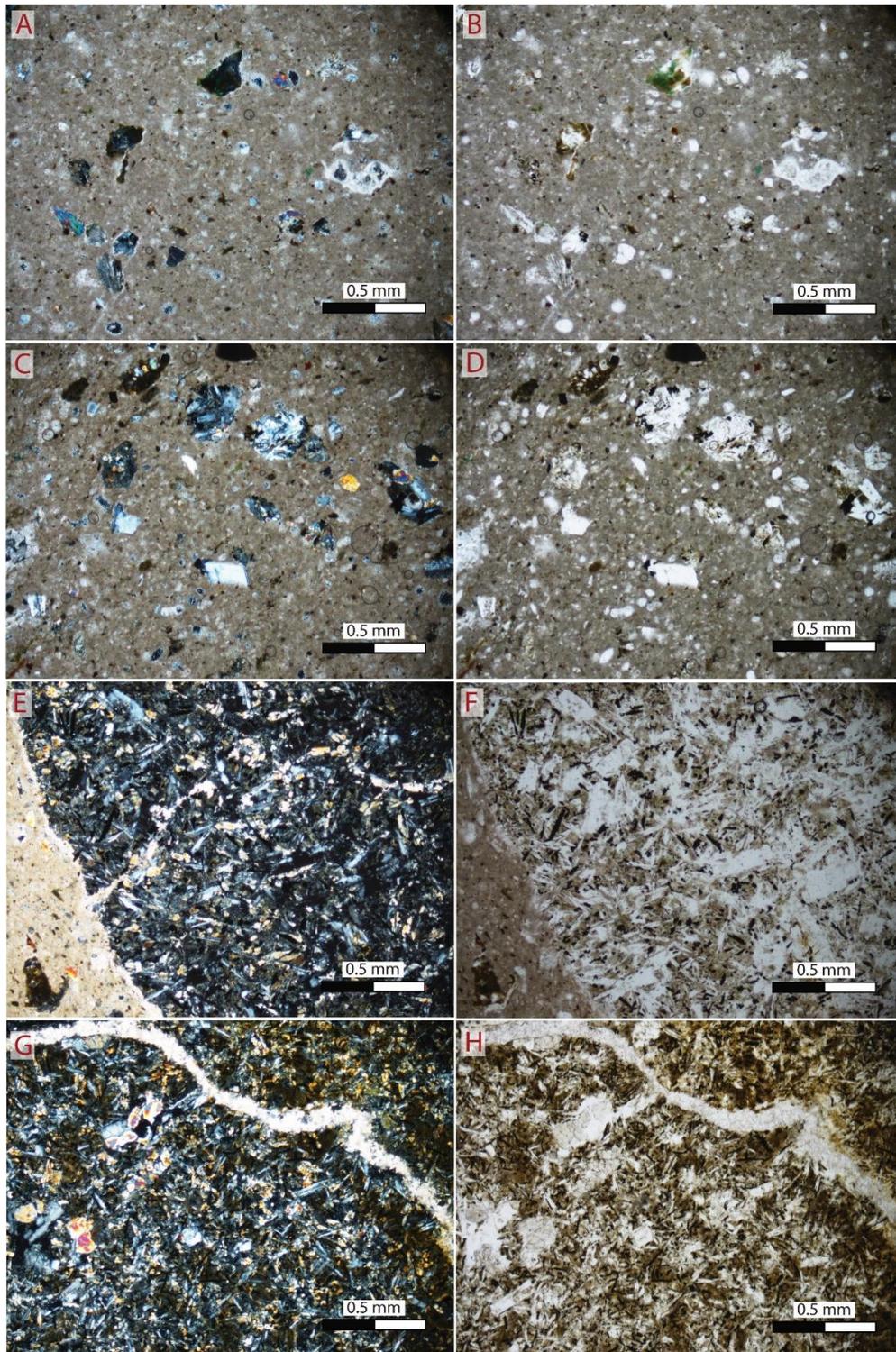
**Clasificación de clasto 4:** Basalto (campo 10b diagrama Streckeisen).

NOTA: los clastos 2 y 4 se encuentran fracturados en una dirección predominante la cual ha sido rellenada por calcita, a su vez, la mayoría de estas grietas tiene ramificaciones.

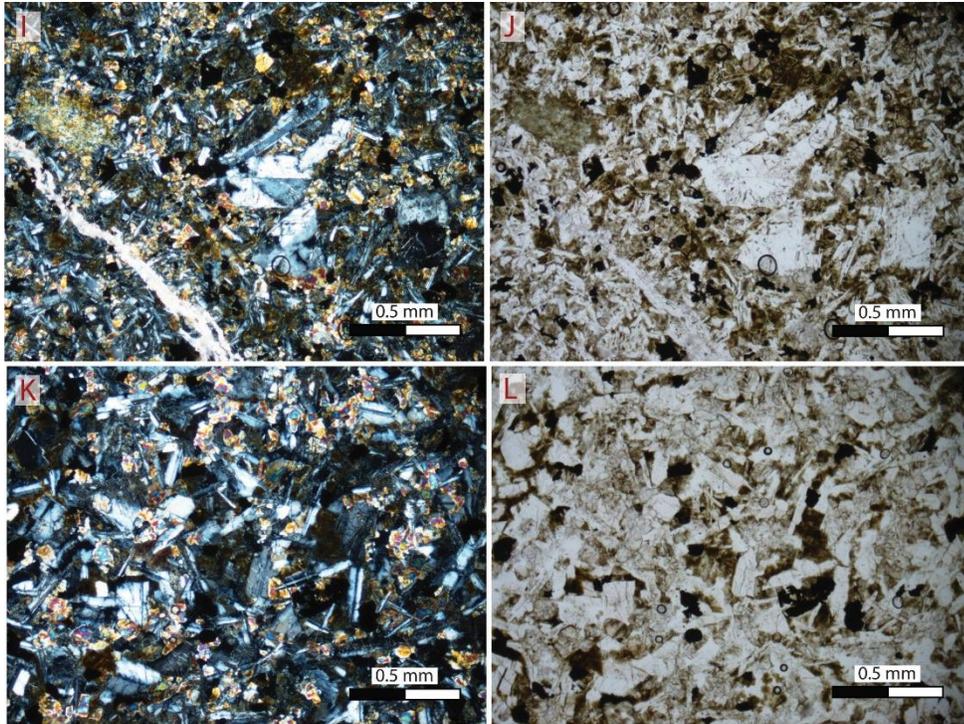
#### **NOMENCLATURA DE LA MUESTRA PC2-D1-12U (Corte A) EN GENERAL:**

***Brecha epiclástica monomítica.***

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC2-D1-13U2 (CORTE A)



Microfotografías PC2-D1-12 U2 (Corte A), NX imágenes derechas y NII izquierdas. A, B, C y D: microfotografías correspondientes con la matriz en las que se observan minerales libres, bioclastos y fragmentos de litoclastos. E y F: microfotografía del clasto 1. G y H: microfotografía del clasto 2.



*Microfotografías PC2-D1-12 U2 (Corte A), NX imágenes derechas y NII izquierdas. I, J, microfotografías del clasto 3. K y L: microfotografías del clasto 4.*

## **2. Código: PC2-D1-12U2 (Corte B)**

**Fecha de recolección:** 12 de octubre 2021

**Localidad:** Bahía Puerto Carrillo, Hojanca, Guanacaste.

**Coordenadas:** 1091082.18 N / 337361.181E

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media constituida en un 30% de matriz y un 70% de clastos. Se encuentra soportada por matriz con contactos de tipo puntuales y cóncavos-convexos, los cuales tienen tamaños promedio de 2 cm x 2.5 cm y son de composición basáltica, son muy angulares y angulares. Su matriz corresponde a su vez, con una brecha fina, de la cual el 80% es matriz y el 20% son clastos con tamaño promedio de 1 mm y máximo de 0.8 cm, estos se encuentran de manera flotante, son angulosos y muy angulosos de composición basáltica, mientras que la matriz de color beige-parda es una lutita que reacciona moderadamente al HCl, asimismo se encuentran vetillas de calcita.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC2-D1-12 U2 (Corte A y B).*

## **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

### **Descripción general de la sección**

Brecha media constituida en un 15% de matriz y un 85% de clastos observables en sección delgada. La matriz de la brecha media corresponde a su vez, con una brecha fina, la cual se conforma con un 25% de clastos y un 75% de matriz.

Los clastos de la brecha media, son líticos que poseen tamaño máximo observable de 2,7 cm x 1,35 cm, por lo que, en la lámina, la mayoría de clastos no se observan de manera completa, presentan formas subangulares y sus composiciones se describen individualmente a continuación, para esto cada clasto ha sido numerado.

Fábrica: se observan clastos con contactos cóncavos-convexos y puntuales, entre los contactos se encuentran bordes de reacción de calcita de 0,1 mm mínimo, y máximos de 0.425 mm.

### **Descripción de la matriz**

Como se menciona anteriormente, la matriz corresponde con una brecha fina, la fábrica se encuentra constituida por:

Litoclastos que presentan tamaños milimétricos en promedio de 0.57 mm x 0.27 mm. tienen formas variables, son muy angulares, angulares y subangulares, algunos son de tamaño centimétrico y son angulares.

Asimismo, se encuentran minerales libres con formas angulares, los minerales predominantes que se encuentran son augita, calcita, cuarzo monocristalino, glauconita, plagioclasas y litoclastos de origen ígneo, alteraciones de óxidos y fragmentos de bioclastos (foraminíferos).

La matriz de esta brecha fina se encuentra constituida y cementada por micrita, en general alterada por influencia de óxidos. Catalogada como una wackestone.

## Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia

Observación de conteos hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

Tipo de mineral-símbolo	Definición	Conteo	Porcentaje modal	
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso	14	<b>10%</b>
	Qu	Monocristalino -onduloso	24	<b>17%</b>
	Qp	Policristalino	11	<b>8%</b>
	Qm	Microcristalino	2	<b>1.4%</b>
	Qc	Calcedonia	0	<b>0%</b>
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	1	<b>0.7%</b>
	P	Plagioclasa	30	<b>22%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	10	7%
	Lvv	Vítreos	0	0%
	Lvl	Basálticos	40	28%
	Lvm	Microlítico	0	0%
	Lvt	Traquítico	0	0%
	Lva	Amigdaloides	1	0.7%
	Lvs	Tobáceos	0	0%
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	51	<b>36%</b>
	Lsm	Sedimentario	1	0.7%
	Lsh	De lutita	0	0%
	Lsc	De carbonato	5	4%
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	6	<b>5%</b>
	Lm	Metamórfico	0	0%

Cálculos modales:

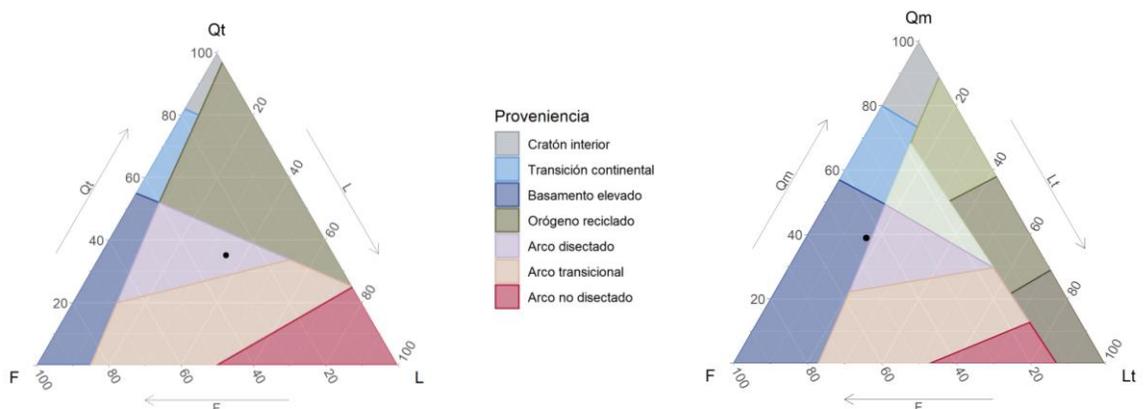
$$\sum \text{total de minerales contados} = 139$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

Resultados de minerales indicadores

F: 31% / Qmo: 27% / Qpo: 9.4% / Lt: 11.4% / Qt: 36.4% / L: 36.3%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia



### Descripción de los clastos

Se hallan 3 clastos abarcando parte de la sección delgada con un tamaño mayor a 1 cm, los cuales son descritos y clasificados individualmente.

#### Clasto 1

Textura hipocristalina hipidiomorfica con minerales de tamaño promedio de 0.07 mm x 0.05 mm, se compone de plagioclasa, augita, cuarzo y óxidos (opacos), los cuales se disponen en una textura de tipo basáltica. Se encuentra plagioclasas alterada a sericita.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 20° y ángulo mayor 23°: Andesina.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión					Promedio
	#1	#2	#3	#4	#5	
<b>Plagioclasa</b>	39%	48%	55%	50%	50%	48.4%
<b>Augita</b>	50%	39%	33%	39%	41%	40.4%
<b>Opacos</b>	10%	8%	10%	10%	7%	9%
<b>Cuarzo</b>	1%	5%	2%	1%	2%	2.2%

M = 49.4%

Recálculo de componentes: Q = 4.3 %, A = 2.4 %, P = 93.3 %.

**Clasificación de clasto 1:** Basalto (campo 10b diagrama Streckeisen).

#### Clasto 2

Corresponde con un lítico de origen sedimentario, es un fragmento de brecha fina, el cual, de manera general presenta alteración de óxidos. Se compone de un 15% de clastos subangulares con tamaño promedio de 1.375 mm x 2.05 mm y de afinidad ígnea con texturas basálticas compuestas por plagioclasa con alteración a sericita, augita alterada a uralita y opacos. Existe otra proporción de fragmentos completamente oxidados que evidencian texturas similares. La matriz comprende con un 30%, es de composición silíceo (cuarzo policristalino de textura muy fina) y se encuentra afectada por disolución de óxidos. En general los granos que se encuentran, corresponden con clinopiroxenos alterados por oxidación a uralita, plagioclasa y principalmente cuarzo. Corresponde con una wacka lítica.

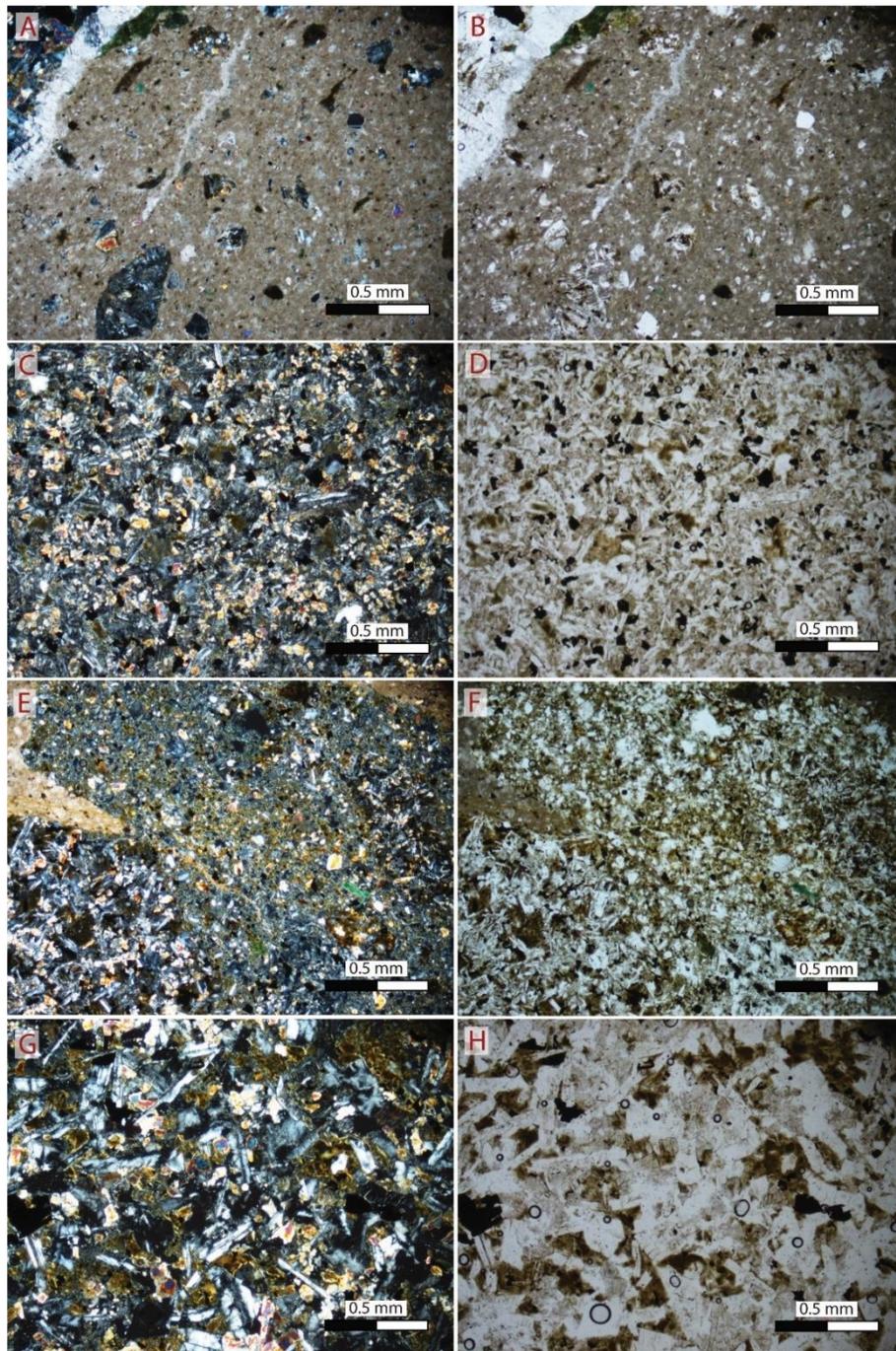
#### Clasto 3

Textura hipocristalina hipidiomorfica (Basáltica), ligeramente porfirítico de tamaño fino a medio. Compuesta por plagioclasa, cuarzo, augita y sericita como producto de alteración.

### NOMENCLATURA DE LA MUESTRA PC2-D1-12U (Corte B) EN GENERAL:

*Brecha epiclástica monomictica.*

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC2-D1-12U2 (CORTE B)



*PC2-D1-12 U2 (Corte B), NX imágenes derechas y NII izquierdas. A, B: microfotografías de la matriz en las que se observan minerales libres como augita, glauconita, plagioclasa y litoclastos. C y D: microfotografía del clasto 1. E y F: microfotografía del clasto 2. G y H: microfotografía del clasto 3.*

### 3. **Código: PC2-D1-12U2 (Corte C)**

**Fecha de recolección:** 12 de octubre 2021

**Localidad:** Bahía Puerto Carrillo, Hojancha, Guanacaste.

**Coordenadas:** 1091082.18 N / 337361.181E

#### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media constituida en un 40% de matriz y un 60% de clastos, matriz soportada, contactos entre clastos principalmente puntuales y cóncavos-convexos, los cuales se hallan en tamaño promedio de 1.75 cm x 1.25 cm, son angulosos y en su totalidad son de origen ígneo (composición basáltica). La matriz de esta brecha media corresponde a su vez con una brecha fina color beige a parda, de la cual el 80% es matriz constituida por una lutita con reacción moderada al HCl, el restante 20% correspondiente con los clastos, estos se encuentran de manera flotante, algunos en contactos planos y puntuales presentan tamaño promedio de 1 mm x 0.5 mm, son angulosos, tabulares y de composición basáltica.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC2-D1-12 U2 (Corte C).*

#### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

##### **Descripción general de la sección**

La lámina corresponde con una brecha media con clastos de tamaño observables de 1.55 cm x 1.25 cm, dichos líticos son en su totalidad de origen ígneo y abarcan un 75% de la sección, el restante 25% se constituye de matriz, la cual, a su vez, corresponde con una arenisca gruesa variable a muy gruesa (incluso brecha fina). Los contactos de la brecha media observable en la sección son planares.

##### **Descripción de la matriz**

Como se menciona anteriormente, la matriz corresponde con una arenisca gruesa variable a muy gruesa, la matriz de esta se constituye de una arenisca muy fina de composición calcárea (micrita) con cemento de calcita (80% matriz). Los clastos y minerales libres se hallan de manera flotante (20%).

Porosidad: se encuentran espacios vacíos en al menos un 10%, de este, un 2% corresponde con cámaras de restos de radiolarios y foraminíferos.

Tamaños de grano: se hallan minerales libres con tamaños desde 0.03 mm x 0.03 mm, promedio 0.28 mm x 0.19 mm hasta litoclastos de 1.9 mm x 1.5 mm.

Grado de redondez y disposición: tanto los minerales libres como los litoclastos son angulares, también se hallan algunos muy angulares, los minerales se encuentran distribuidos de manera uniforme a lo largo de toda la matriz (no se hallan estructuras sedimentarias).

Madurez textural: clastos de tamaños muy variables y de alta angulosidad. Matriz es de grano muy fino (micrita).

Madurez composicional: se encuentran minerales de baja estabilidad como piroxenos acompañados de plagioclasas y cuarzos que son de mayor estabilidad.

Fósiles: Se encuentran bioclastos, de abundancia variable a lo largo de la muestra, sin embargo, en total no sobrepasa el 5%.

Composición mineralógica (minerales libres en la matriz):

1. Augita: remanentes minerales xenomórficos principalmente subangulares, distribuidos aleatoriamente en toda la sección, con tamaños mínimo de 0.05 mm x 0.05 mm y máximos de 0.3 mm x 0.225 mm. El porcentaje de abundancia es bajo (3%).
2. Plagioclasa: principalmente xenomórficas y algunas hipidiomórficas tabulares presentan tamaño promedio de 0.08 mm x 0.1 mm, abarcan un 9%.
3. Calcita: se encuentra relleno espacios, fracturas; reemplazando y sobrecreciendo alrededor de otros minerales y líticos. Si bien se encuentran con tamaños microcristalinos componiendo la matriz (micrita) se halla también de manera mineral, xenomórficas de tamaño promedio de 0.21 mm x 0.1 mm, su abundancia correspondiente con minerales reemplazantes es de 2.5%.
4. Cuarzo: principalmente xenomórfico del tipo monocristalino no ondulado de tamaño promedio 0.05 mm x 0.02 mm, alcanzando un 4% de abundancia, ocasionalmente se encuentra del tipo policristalino.
5. Glauconita: mineral de alteración con característica textura “granular” xenomórfica con tamaño promedio de 0.16 mm x 0.12 mm.
6. Fragmentos de vidrio volcánico: se hallan líticos vitreos con alteraciones a óxidos con coloraciones café verdosas, con tamaño de 0.13 mm x 0.05 mm.

#### **Clasificación de la matriz:**

El porcentaje de matriz de composición calcárea es del 80% por lo que su clasificación como roca carbonatada corresponde con:

Clasificación por tamaño de grano: Calcilutita.

Clasificación composicional: Wackestone.

## Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia

Observación hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

Tipo de mineral-símbolo		Definición	Conteo	Porcentaje modal
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso	11	<b>16%</b>
	Qu	Monocristalino -onduloso	0	0%
	Qp	Policristalino	0	0%
	Qm	Microcristalino	0	0%
	Qc	Calcedonia	0	0%
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	0	0%
	P	Plagioclasa	30	<b>45%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	3	5%
	Lvv	Vítreos	0	0%
	Lvl	Basálticos	9	13%
	Lvm	Microlítico	0	0%
	Lvt	Traquítico	0	0%
	Lva	Amigdaloides	0	0%
	Lvs	Tobáceos	0	0%
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	12	<b>18%</b>
	Lsm	Sedimentario	0	0%
	Lsh	De lutita	0	0%
	Lsc	De carbonato	14	21%
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	14	<b>21%</b>
	Lm	Metamórfico	0	0%

Cálculos modales:

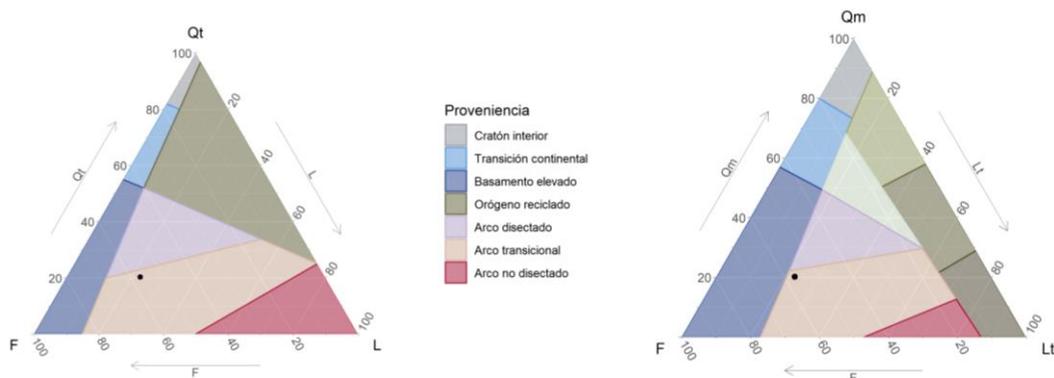
$$\sum \text{Total de minerales contados} = 67$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

Resultados de minerales indicadores

F: 45% / Qmo: 16% / Qpo: 0% / Lt: 18% / Qt: 16% / L: 18%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas proveniencia



## **Descripción de los clastos**

### **Clasto 1**

Hipocristalina con componentes minerales de tamaño de 0.3 mm x 0.22 mm, con textura basáltica (plagioclasa sin orientación preferencial con augita en medio). Se compone básicamente de 15% de opacos, 42.5 % de piroxenos (augita) y 42.5% de plagioclasa. En general, se encuentra con alteraciones de sericita y óxidos.

#### *Contenido de Anortita*

Angulo menor 29° y ángulo mayor 30°: Labradorita.

Recálculo de componentes: M = 57.5 %.

Q = 0%, A = 0%, P = 100%.

**Clasificación de clasto 1:** Basalto (campo 10b diagrama Streckeisen).

### **Clasto 2**

Este litoclasto corresponde con la misma composición y textura que el clasto 1.

Hipocristalina con componentes minerales de tamaño de 0.3 mm x 0.22 mm, con textura basáltica (plagioclasa sin orientación preferencial con augita en medio). Se compone básicamente de 15% de opacos, 42.5% de piroxenos (augita) y 42.5% de plagioclasas. En general, se encuentra con alteraciones de sericita y óxidos.

#### *Contenido de Anortita*

Angulo menor 23° y ángulo mayor 41°: Labradorita.

Recálculo de componentes: M = 57.5 %.

Q = 0%, A = 0%, P = 100%.

**Clasificación de clasto 2:** Basalto (campo 10b diagrama Streckeisen).

### **Clasto 3**

Textura hipocristalina glomeroporfirítica conformada en un 80% de matriz con textura basáltica compuesta por vidrio, plagioclasa y augita, minerales con tamaño promedio de 0.02 mm x 0.02 mm, en general se halla muy alterada por sericitación. El 20% restante corresponde con conjuntos de fenocristales de augita, plagioclasa y opacos.

#### *Composición mineral:*

Plagioclasas hipidiomórficas con tamaños desde 0.01 mm x 0.01 mm hasta 0.3 mm x 0.1 mm. Y augita xenomórfica, se encuentran tanto en la matriz como fenocristales con tamaños máximos de 0.27 mm x 0.20 mm.

Alteraciones: en general, la muestra se encuentra alterada por sericita, óxidos de hierro, talco y zeolitas.

### **Clasto 4**

Textura hipocristalina porfirítica seriada, matriz con textura basáltica (plagioclasa dispuesta aleatoriamente con augitas en medio).

*Composición mineral:*

-Plagioclasas principalmente aciculares y algunas tabulares con tamaños desde los 0.1 mm x 0.02 mm hasta 0.90 mm x 0.16 mm, alteración a sericita.

-Augita xenomórfica, hallada en medio de los minerales de plagioclasa, con tamaños de 0.03 mm x 0.03 mm hasta fenocristales con tamaño de 0.31 mm x 0.17 mm, se encuentran alterados mecánicamente.

-Cuarzo xenomórfico, se halla del tipo monocristalino no ondulado y ondulado, sus tamaños son en promedio de 0.13 mm x 0.12 mm.

Alteración por sericitación, reemplazo de calcita y óxidos de hierro.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 21° y ángulo mayor 29°: Labradorita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión					
	#1	#2	#3	#4	#5	Promedio
Opacos	10	7	7	7	5	7%
Plagioclasa	43.5	43	48	47	52	46%
Augita	41.5	45	40	43	41	43%
Cuarzo	5	5	5	3	2	4%

M = 50%.

Recálculo de componentes:

Q = 8%, A = 4%, P = 88%.

**Clasificación de clasto 4:** Basalto (campo 10a diagrama Streckeisen).

**Clasto 5**

Textura hipocristalina glomeroporfirítica seriada, matriz con textura variolítica (90% matriz, 10% fenocristales).

*Composición mineral:*

-Plagioclasa: aciculares dispuestas en agregados divergentes en la matriz con tamaño promedio (0.11 mm x 0.03 mm), fenocristales (0.10 mm x 0.21 mm).

-Augita: conformante de la matriz, alterado total o parcialmente a óxidos de hierro con formas aciculares e hipidiomórficos tabulares como fenocristales desgastados mecánicamente con tamaños máximos 0.44 mm x 0.17 mm.

Alteraciones: principalmente por óxidos de hierro, posibles remanentes de olivino reemplazados completamente a magnetita, con formas aciculares.

**NOMENCLATURA DE LA MUESTRA PC2-D1-13U (Corte C) EN GENERAL:**

***Brecha epiclástica monomíctica.***

#### 4. **Código: PC2-D1-12U2 (Corte D)**

**Fecha de recolección:** 12 de octubre 2021

**Localidad:** Bahía Puerto Carrillo, Hojancha, Guanacaste.

**Coordenadas:** 1091082.18 N / 337361.181E

#### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media constituida en un 40% de matriz y un 60% de clastos, matriz soportada, contactos entre clastos principalmente del tipo cóncavos-convexos y algunos puntuales, los cuales se hallan en tamaño promedio de 1.75 cm x 1.25 cm, son angulosos y en su totalidad son de origen ígneo (composición basáltica). La matriz de esta brecha media corresponde a su vez con una brecha fina color beige a parda, de la cual el 80% es matriz constituida por una lutita con reacción moderada al HCl, el restante 20% corresponde con los clastos, los cuales se encuentran de manera flotante, en contactos planos y puntuales presentan tamaño promedio de 1 mm x 0.5 mm, son angulosos, tabulares y de composición basáltica.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC2-D1-12 U2 (Corte D).*

#### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

La lámina corresponde con una brecha media de la cual se identifica un 30% de matriz y un 70% de clastos con tamaño promedio observable de 1.4 cm x 2.1 cm, estos son angulosos y subangulosos con contactos tangenciales y dispuestos de manera flotante.

##### **Descripción de la matriz:**

Arenisca muy fina compuesta en un 80% matriz y 20% de minerales libres y otros litoclastos los cuales se encuentran flotantes, no se hallan estructuras sedimentarias. La matriz es de composición calcárea (micrita) con cemento de calcita mineral.

##### Porosidad:

Se encuentra tanto porosidad primaria, como espacios vacíos por la presencia de bioclastos de foraminíferos y radiolarios, en total se estima una porosidad máxima de un 8% ya que esta es variable a lo largo de la matriz y mínima de 2%.

Tamaños de grano:

Los minerales libres que se encuentran inmersos en la matriz con tamaños similares miden promedio 0.13 mm x 0.07 mm, los componentes clásticos alcanzan tamaño de hasta 2 mm x 1.25 mm.

Grado de redondez y disposición:

Los minerales son angulares y los litoclastos variables entre angulares y muy angulares. Ni los minerales libres ni los litoclastos presentan alguna disposición preferencial.

Madurez textural:

La matriz de esta arenisca gruesa contiene tamaños variables entre arenisca gruesa a fina, el material fino (micrita) constituyente de dicha matriz abunda en un 80%.

Madurez composicional:

Se hallan minerales de baja estabilidad (piroxenos) en conjunto con cuarzos (de alta estabilidad).

Fósiles:

Presencia de bioclastos de foraminíferos y radiolarios reemplazados a calcita en forma mineral y micromineral (micrita). Estos microfósiles se encuentran abundando como máximo en un 5%.

Composición de minerales libres:

-Augita: minerales xenomórficos con desgaste mecánico con tamaño promedio 0.12 mm x 0.07 mm.

-Plagioclasa: xenomórfica e hipidiomórfica ligeramente tabulares, con tamaño promedio de 0.1 mm x 0.03 mm.

-Cuarzo: se halla principalmente del tipo monocristalino no ondulado, con tamaño promedio de 0.15 mm x 0.07 mm y de manera xenomórfica.

Minerales de alteración

-Glaucionita: se encuentra en muy baja proporción (0.5%) como parte de la matriz, con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.03 mm.

-Clorita: se halla en muy baja proporción, principalmente como acompañante de alteraciones de óxidos de hierro y ocasionalmente alteraciones de vidrio.

-Calcita: principal componente de la matriz en forma microcristalina y componente de alteración, se halla reemplazando minerales y microfósiles, asimismo, rellenando fracturas, generando bordes de reacción y otros espacios vacíos de manera mineral.

-Zeolitas: se hallan generalmente en vetillas y rellenando otros espacios vacíos.

**Clasificación de la matriz:**

Porcentaje de matriz de composición calcárea es del 80% por lo que su clasificación como roca carbonatada:

Clasificación por tamaño de grano: Calcilitita

Clasificación composicional: Wackestone.

## Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia

Observación de conteos hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

Tipo de mineral-símbolo		Definición	Conteo	Porcentaje modal
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso	23	<b>26%</b>
	Qu	Monocristalino -onduloso	10	<b>11%</b>
	Qp	Policristalino	1	<b>1%</b>
	Qm	Microcristalino	0	<b>0%</b>
	Qc	Calcedonia	0	<b>0%</b>
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	15	<b>17%</b>
	P	Plagioclasa	10	<b>11%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	3	3.5%
	Lvv	Vítreos	9	10%
	Lvl	Basálticos	13	15%
	Lvm	Microlítico	0	0%
	Lvt	Traquítico	0	0%
	Lva	Amigdaloides	0	0%
	Lvs	Tobáceos	0	0%
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	25	<b>28.5%</b>
	Lsm	Sedimentario	1	1%
	Lsh	De lutita	0	0%
	Lsc	De carbonato	4	4.5%
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	5	<b>5.5%</b>
	Lm	Metamórfico	0	0%

**Cálculos modales:**

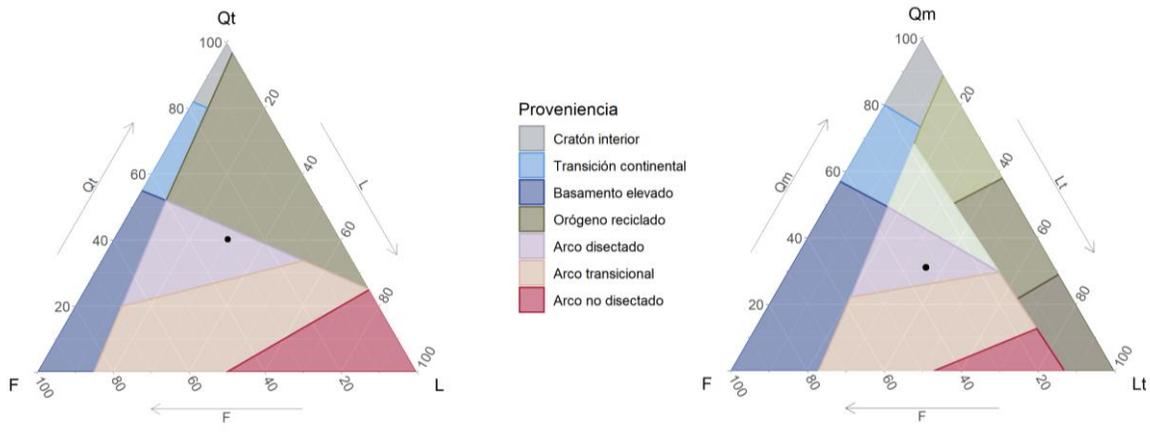
$$\sum \text{total de minerales contados} = 89$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

### Resultados de minerales indicadores

F: 28% / Qmo: 26% / Qpo: 1% / Lt: 29.5% / Qt: 38% / L: 28.5%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia



## Descripción de clastos

A continuación, se describen y clasifican los clastos con tamaños mayores a 1 cm.

### Clasto 1

Textura hipocristalina con minerales promedio de 0.12 mm x 0.07 mm, compuesta por plagioclasa, minerales opacos y augitas dispuestas en una textura de tipo basáltica (plagioclasas distribuidas aleatoriamente con augitas en sus intersticios). Presenta alteraciones de óxidos de hierro, sericita y calcita.

Plagioclasa: minerales hipodimórficos tabulares con tamaño promedio de 0.18 mm x 0.04 mm.

Augita: xenomórfica de 0.11 mm x 0.09 mm de tamaño promedio.

#### *Contenido de Anortita*

Angulo menor 27° y ángulo mayor 48°: Bytownita.

#### *Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campos de visión de conteos			
	#1	#2	#3	Promedio
<b>Plagioclasa</b>	72	76	70	72.7%
<b>Augita</b>	25	20	27	24%
<b>Opacos</b>	3	4	3	3.3%

M = 27.3%

Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 13.7%, P = 86.3%.

**Clasificación de clasto 1:** Basalto (campo limite 9 y 10 diagrama Streckeisen)

### Clasto 2

Textura hipocristalina con minerales de tamaño promedio de 0.12 mm x 0.03 mm dispuestos en una textura microspinifex, en la cual augita y plagioclasa se encuentran con formas aciculares, radiales y formando estructuras plumosas. En general, el clasto se encuentra muy alterado por óxidos de hierro y en menor proporción clorita. Por su alteración no es posible distinguir claramente la proporción de sus componentes, se estima aproximadamente 5% de plagioclasa, 15% de magnetita y 80% de augita, los cuales contienen vidrio en sus intersticios de manera muy fina (en medio de los minerales aciculares).

No es posible determinar contenido de anortita.

### Clasto 3

Textura hipocristalina equigranular de grano fino con tamaño promedio de 0.05 mm x 0.05 mm compuesta por plagioclasa y augita dispuestos en una textura de tipo basáltica (plagioclasas dispuestas de manera aleatoria con clinopiroxenos (augitas) en sus intersticios).

Plagioclasa: minerales hipodimórficos tabulares con tamaño promedio de 0.20 mm x 0.06 mm.

Augitas: xenomórficas de 0.10 mm x 0.10 mm de tamaño promedio.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 08° y ángulo mayor 13°: Oligoclasa.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campos de visión de conteos			
	#1	#2	#3	Promedio
<b>Plagioclasa</b>	67	60	58	62%
<b>Augita</b>	25	30	35	30%
<b>Opacos</b>	8	10	7	8%

M = 38%

Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 5%, P = 95%.

**Clasificación de clasto 3:** Basalto (campo 10a diagrama Streckeisen)

Clasto 4

Textura hipocristalina xenomórfica compuesta principalmente por clinopiroxenos (augita), plagioclasa y minerales opacos correspondientes posiblemente con remanentes de olivino, los cuales se disponen en una textura microspinfex en la cual todos estos componentes minerales con formas aciculares se disponen de manera radial divergente en direcciones aleatorias.

Por su alteración de oxidación y sericitación, no es posible distinguir con certeza sus componentes, se estima que aproximadamente el 15% corresponde con vidrio alterado el cual contiene en sus intersticios magnetita con forma acicular, un 20% de feldespatos (posiblemente solo plagioclasa) y el restante 75% estaría compuesto por clinopiroxeno (augita). No es posible determinar contenido de anortita.

**NOMENCLATURA DE LA MUESTRA PC2-D1-13U-D EN GENERAL:**

*Brecha epiclástica monomítica.*

**5. Código: PC2-D2-13-1**

**Fecha de recolección:** 13 de octubre de 2022

**Localidad:** camino hacia Santo Domingo de Sámará desde Puerto Carrillo.

**Coordenadas:** 1093201.112 N / 337705.798 E.

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Roca color gris oscuro porfirítica, distinguibles piroxenos como parte de una sección máfica con respecto a una félsica de la cual no se distinguen sus componentes macroscópicamente, se encuentra alterada por algunas vetillas de zeolitas.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura hipocristalina porfirítica seriada, con tamaño promedio de 0.11 mm x 0.10 mm, con fenocristales de 0.55 mm x 0.07 mm. Se compone de plagioclasa, augita, minerales opacos y vidrio dispuestos en una textura basáltica en la cual las plagioclasas halladas aleatoriamente contienen augitas en sus intersticios. Presenta alteración a sericita, óxidos de hierro y zeolitas.

-Augita: minerales xenomórficos en los intersticios de feldespatos, presentan tamaño promedio de 0.06 mm x 0.05 mm.

-Plagioclasas: hipidiomórficas – tabulares con tamaños mínimos de 0.225 mm x 0.025 mm, promedio 0.15 mm x 0.02 mm hasta fenocristales de 0.45 mm x 0.04 mm con alteraciones a sericita.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 10° y ángulo mayor 14°: Oligoclasa.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión								
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	Promedio
<b>Augita</b>	62	57	56	46	52	55	60	65	56 %
<b>Plagioclasa</b>	30	33	37	49	48	40	35	30	38 %
<b>Opacos</b>	8	10	7	5	8	5	5	5	6%

M = 62%

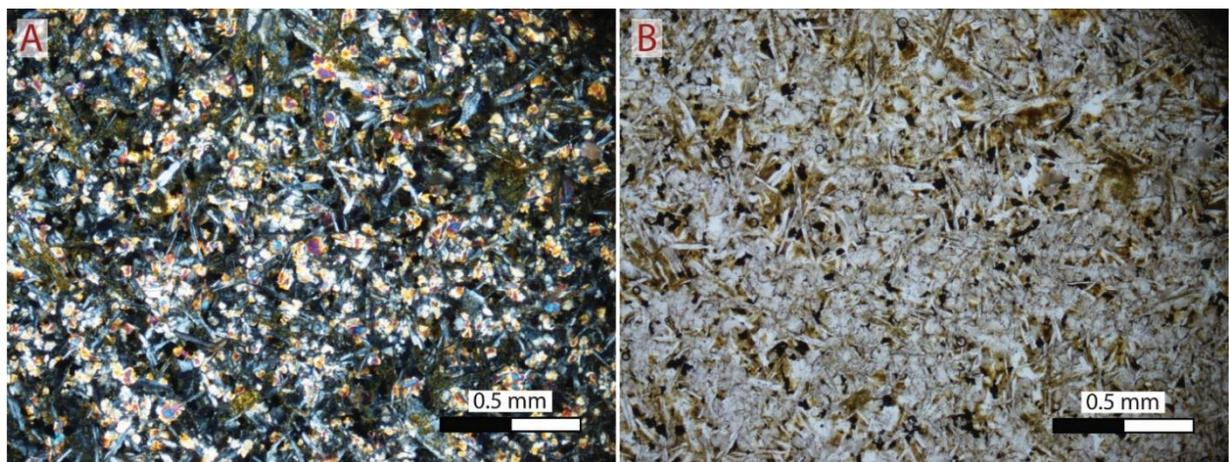
Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 0%, P = 100%.

Campo 10 b - diagrama de Streckeisen.

## CLASIFICACIÓN DE MUESTRA PC2-D2-13-1: *Basalto*.

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC2-D3-13-1.



*Microfotografía de muestra con código PC2-D1-13-1. A: nicoles cruzados. B: nicoles paralelos.*

## 6. **Código: D2-PC1-U1**

**Fecha de recolección:** 19 de enero de 2020.

**Localidad:** estratotipo bahía Puerto Carrillo.

**Coordenadas:** 1091082.180 N / 337361.181 E.

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Arenisca fina gris verdosa de composición calcárea, en contacto neto con una arenisca muy gruesa o microbrecha color gris oscuro a verdoso con gránulos silíceos y opacos, ambas partes generan una reacción de ligera a media al HCl. Se encuentra alterada por vetillas de calcita.

### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

La lámina se compone de una arenisca muy fina y una arenisca gruesa, las cuales se encuentran en contacto de tipo neto.

Por lo que se describen cada una de estas litologías por separado:

#### **Descripción de la arenisca muy fina**

La arenisca muy fina, contiene gránulos de composición variable, dentro de las que se encuentran plagioclasa, cuarzo, augita, alteraciones de esta última a uralita, zeolitas y glauconita, son flotantes en un 60% de matriz composición calcárea (micrita), misma que su cemento. Se encuentran algunos contactos puntuales.

Porosidad: ocasionalmente hay espacios vacíos cedidos por minerales que han sido removidos, sin embargo, la mayoría de poros han sido rellenados por calcita mineral idiomórfica, así como por micrita y cuarzo microcristalino.

Se encuentran microfracturas completamente rellenas de calcita o bien sin ningún relleno.

Tamaños de grano: se hallan desde microcristales hasta granos con eje mayor de 0.15 mm como máximo y en promedio son de 0.06 mm.

Grado de redondez y disposición: los cristales son angulares y muy angulares, encuentran distribuidos de manera uniforme a lo largo de toda la muestra y sin ninguna orientación preferencial.

Madurez textural: clastos bien seleccionados, mal redondeados (angulosos) y sin contenido de arcillas.

Madurez composicional: el esqueleto se constituye de minerales de baja estabilidad que se encuentran en compañía otros de mayor estabilidad, como lo es augita con cuarzo y plagioclasa.

Fósiles: se encuentran algunos fragmentos de foraminíferos, su porcentaje alcanza como máximo el 1% y aparecen de manera esporádica en la sección de la arenisca fina.

#### Composición mineralógica de la matriz:

-Augita: minerales xenomórficos principalmente subangulares, distribuidos aleatoriamente en toda la sección, con tamaños promedio de 0.045 mm. Algunos se encuentran alterados a uralita y clorita.

-Plagioclasa: presentan tamaños desde los 0.03 mm hasta los 0.05 mm. y son constituyentes de la matriz a lo largo de toda la muestra, con maclas polisintéticas y extinción ondulante.

-Calcita: se encuentra como cemento soportante de la matriz, relleno de espacios y fracturas. Con tamaños < 1mm hasta 0.5 mm x 0.1 mm. También se encuentran sobrecreciendo a otros minerales y líticos.

Minerales de alteración o secundarios:

-Clorita: se encuentra ocasionalmente y de manera aleatoria a lo largo de la sección delgada con tamaño promedio de 0.06 x 0.05 mm.

-Glauconita: también se encuentra de manera ocasional y dispersa en la lámina, con tamaños promedio de 0.08 mm x 0.03 mm.

Componentes clasificatorios de arenisca fina:

Cuarzo: 5%, Feldespatos: 20%, Clinopiroxenos: 4%

Líticos: 0%, Otros: 1% (fragmentos de bioclastos)

Minerales no reconocibles: 10% (minerales oxidados)

Matriz: 60% (micrítica y matriz de cemento de calcita).

Clasificación composicional: Wackstone.

**Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia**

Observación de conteos hecha con 20X Microscopio Nikon Eclipse E400 pol.

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conteo</i>	<i>Porcentaje modal</i>
<b>Cuarzo</b>	Qnu Monocristalino – no onduloso	12	3.97% ≈ 4 %
	Qu Monocristalino -onduloso	14	4.64% ≈ 5 %
	Qp Policristalino	0	0%
	Qm Microcristalino	0	0%
	Qc Calcedonia	0	0%
<b>Feldespatos</b>	K Feldespatos potásicos	10	3.31% ≈ 3 %
	P Plagioclasa	242	80.13% ≈ 80 %
<b>Líticos</b>	Lvf Félsicos	0	0%
	Lvv Vítreos	0	0%
	Lvl Basálticos	0	0%
	Lvm Microlítico	0	0%
	Lvt Traquítico	0	0%
	Lva Amigdaloides	0	0%
	Lvs Tobáceos	0	0%
	Lv Lv+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	0	0%
	Lsm Sedimentario	0	0%
	Lsh De lutita	0	0%
	Lsc De carbonato	24	7.94% ≈ 8%
	Ls Lsm+Lsh+Lsc	24	8%
	Lm Metamórfico	0	0%

### Cálculos modales:

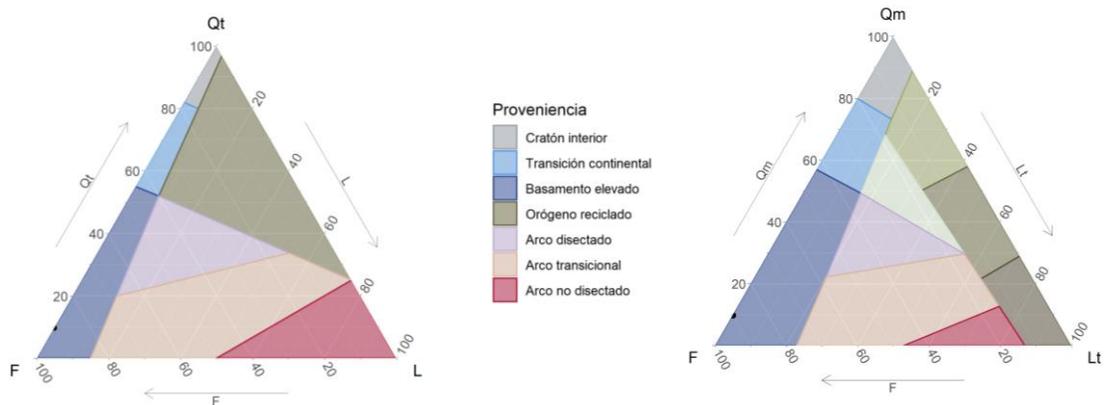
$$\sum \text{total de minerales contados} = 302$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

### Resultados de minerales indicadores

F: 83% / Qmo: 09 % / Qpo: 0% / Lt: 0 % / Qt: 09 % / L: 0%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia



### Descripción de la arenisca gruesa

Presenta gradación por lo que el contenido de la matriz varía desde un 40% hasta un 60%. La matriz corresponde con una arenisca media grano soportado principalmente y arenisca fina matriz soportada, también se encuentran algunos contactos puntuales entre granos y están unidos por cemento de calcita. Se encuentran agregados subparalelos de laminillas de plagioclasa a lo largo de toda la sección delgada. Es común la concentración de fenocristales de plagioclasa en conjunto con fenocristales de augita.

**Porosidad:** se estima que un 10% de la microbrecha (o arenisca muy gruesa) presenta espacios vacíos, asimismo, se encuentran fracturas sin relleno mineral.

**Tamaños de grano:** los líticos que se encuentran presentan tamaños mínimos de: 0.5 mm x 0.375 mm y máximos de 2.125 mm x 1 mm, en promedio presentan tamaños de 1 mm x 0.5 mm.

**Grado de redondez y disposición:** los líticos son principalmente angulares y algunos subangulares. Presenta gradación, por lo que varía el tamaño de grano y la proporción de matriz.

**Madurez composicional:** el esqueleto se constituye de minerales de baja estabilidad, se encuentran clinopiroxenos en compañía otros de mayor estabilidad, como lo son los cuarzos y los feldespatos.

**Fósiles:** se encuentran algunos fragmentos de foraminíferos.

**Composición mineralógica:** la mayoría de los litoclastos se encuentran completamente alterados, resultando óxidos de hierro (hematita). Se distinguen líticos de origen volcánico con texturas variolíticas y basálticas, también se constituye por fragmentos de vidrio volcánico. En la matriz, se hallan los siguientes minerales libres:

-Plagioclasa: principalmente son minerales tabulares y algunos xenomórficos, con maclas polisintéticas y de Carlsbad, con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.05mm.

-Cuarzo: son angulosos y principalmente se encuentran de los tipos monocristalino con y sin extinción ondulosa, en muy baja proporción son policristalinos y en promedio tienen tamaños de 0.04 mm x 0.03 mm.

-Augita: xenomórfica con tamaño máximo de 0.12 mm x 0.14 mm y mínimo de 0.02 mm x 0.03 mm.

Minerales de alteración-accesorios-secundarios: la mayoría de las alteraciones corresponden con óxidos de hierro, también se encuentran plagioclasas alteradas a sericita y augitas alteradas a clorita.

Por otra parte, hay reemplazos y rellenos de calcita y zeolita. Un mineral secundario que se presenta es glauconita.

Componentes clasificatorios:

Cuarzo: 3.65 %. Recalculo para clasificación de arenisca: 18.26%.

Feldespatos: 10.14 %. Recalculo para clasificación de arenisca: 50.73%.

Clinopiroxenos: 6.2 %

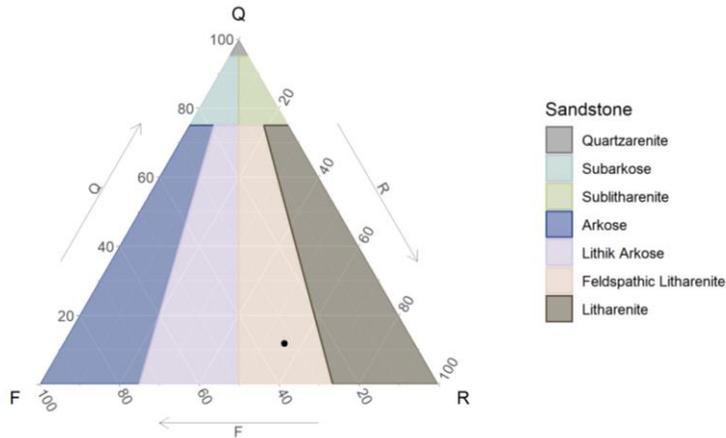
Líticos: 17.24 %. Recalculo para clasificación de arenisca: 86.24%.

Otros: 1.82 % (fragmentos de bioclastos)

Minerales no reconocibles: 26.37 % (minerales oxidados, clinopiroxenos, glauconita)

Matriz: 34.48 % (promedio) (micrítica y matriz de cemento de calcita).

Clasificación de la arenisca gruesa: Litarenita feldespática.



## Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia

Observación de conteos hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conteo</i>	<i>Porcentaje modal</i>	
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso	17	<b>11.80 ≈ 12 %</b>
	Qu	Monocristalino -onduloso	19	<b>13.19 ≈ 13 %</b>
	Qp	Policristalino	0	<b>0</b>
	Qm	Microcristalino	1	<b>0.69 ≈ 1%</b>
	Qc	Calcedonia	0	<b>0</b>
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	13	<b>9.02 ≈ 9%</b>
	P	Plagioclasa	67	<b>46.52 ≈ 46%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	1	0.69 ≈ 1%
	Lvv	Vítreos	6	4.16 ≈ 4%
	Lvl	Basálticos	8	5.55 ≈ 6%
	Lvm	Microlítico	0	0
	Lvt	Traquítico	0	0
	Lva	Amigdaloides	1	0.69 ≈ 1%
	Lvs	Tobáceos	0	0
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	16	<b>16%</b>
	Lsm	Sedimentario	5	3.47 ≈ 3%
	Lsh	De lutita	6	4.16 ≈ 4%
	Lsc	De carbonato	0	0
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	11	<b>11%</b>
	Lm	Metamórfico	0	0

### Cálculos modales:

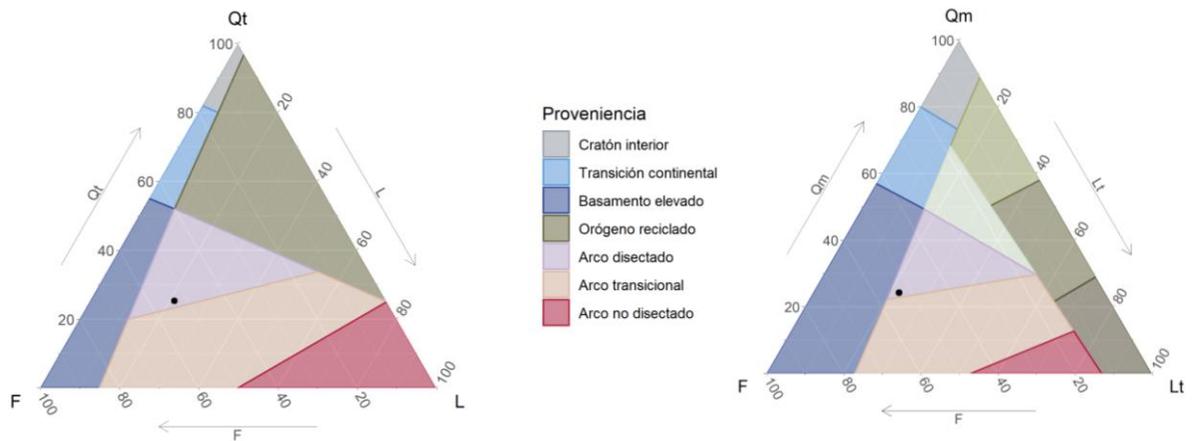
$$\sum \text{total de minerales contados} = 144$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

### Resultados de minerales indicadores

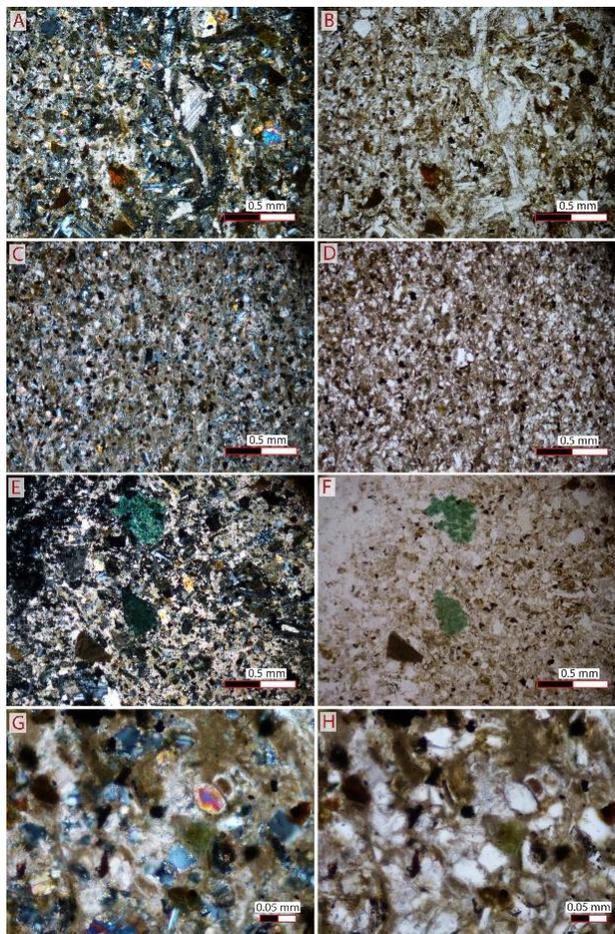
F: 55% / Qmo: 25% / Qpo: 1% / Lt: 23% / Qt: 26% / L: 22%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia



**CLASIFICACIÓN DE MUESTRA D2-PC1-U1: Wakestone en contacto neto con  
litarenita feldespática gruesa.**

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D2-PC1-U1**



*D2-PC1-U1, NX imágenes izquierdas y NII derechas. A, B y E, F: microfotografías de la arenisca gruesa. C, D, y G, F: microfotografías de la calcilutita.*

**7. Código: D2 - PC1 - U2**

**Fecha de recolección:** 19 de enero de 2020.

**Localidad:** estratotipo bahía Puerto Carrillo.

**Coordenadas:** 1091082.180 N / 337361.181 E.

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media, compuesta en un 70% de matriz y un 30% de clastos. Su matriz es de color gris correspondiente con una arenisca fina, la cual genera una reacción ligera a media al HCl. Asimismo,

presenta vetillas milimétricas de calcita. Algunos bordes de recristalización entre los clastos y la matriz también son de calcita mineral. Sus clastos son de tamaño promedio de 2 cm x 3 cm, se encuentran muy alterados, sin embargo, es distinguible su origen ígneo, posiblemente basáltico.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La lámina al extraerse de una brecha media, es posible observar solamente unas partes de los clastos constituyentes, así como de la matriz. De las relaciones observables al menos en la sección delgada, los clastos son angulosos, se encuentran en contactos puntuales y también flotantes en la matriz.

Presenta fracturas de hasta 1 mm de ancho que intersecan tanto a los clastos como a la matriz, están rellenas de cuarzo policristalino, zeolitas y óxidos, además, están bordeadas por calcita.

### Descripción de la matriz

La matriz es una arenisca fina homogénea a lo largo de toda la sección, no se encuentran gradaciones ni estructuras sedimentarias características. Se encuentra en un 70% con respecto a los minerales libres y los otros líticos de menor tamaño que contiene.

La fábrica de la matriz se encuentra constituida por:

Esqueleto: los minerales que se encuentran inmersos o flotantes en medio de la matriz corresponden con: clinopiroxeno (augita), plagioclasa, glauconita, cuarzo, minerales opacos, alteraciones de óxidos y de clinopiroxeno a clorita, pseudomorfos de foraminíferos, algunos litoclastos de cuarzo policristalino, de origen volcánico y zeolitas.

Porosidad: se encuentra tanto de tipo primaria, como secundaria, por desprendimiento y/o disolución de minerales o microfósiles y representa un 8%.

Tamaños de grano: los minerales tienen tamaño promedio de 0.12mm x 0.10mm, sin embargo, ocasionalmente se encuentran algunos litoclastos de incluso 0.65mm x 0.32mm.

Grado de redondez y disposición: los minerales libres que se encuentran en la matriz son angulares y muy angulares, los litoclastos son angulosos. No se observa ninguna orientación preferencial de los componentes.

Madurez textural: los clastos tienen alta angularidad y la presencia de arcillas es de escasa a nula.

Madurez composicional:

Inmaduro. En conjunto minerales tanto de baja estabilidad como de alta estabilidad, clinopiroxenos-cuarzo.

Fósiles: fragmentos y pseudomorfos de foraminíferos, principalmente se encuentran vacíos con sus paredes completamente reemplazadas a calcita. Estos fragmentos alcanzan como máximo el 5%, sin embargo, como la matriz y cemento también es de componente calcáreo no es posible hacer distinciones con exactitud.

Composición mineralógica:

-Cuarzo: cristales xenomórficos, del tipo monomineral no ondulado principalmente, con formas angulosas de 0.04 mm x 0.04 mm.

-Augita: principalmente xenomórfica, algunos con formas tabulares, son angulosos, con tamaño promedio de 0.0025 mm x 0.04 mm.

-Plagioclasa: cristales con formas tabulares principalmente, aunque también se presentan de manera xenomórfica con tamaños promedio de 0.15 mm x 0.05 mm.

Minerales de alteración-accesorios-secundarios

-Calcita: corresponde con el mineral más abundante conformando la matriz (micrita) y como cemento, también reemplazando fragmentos de bioclastos, rellenando espacios vacíos, fracturas y en bordes de reacción con algunos litoclastos.

-La segunda alteración que más se presenta son óxidos tanto de los minerales como en la matriz e intersticios, y ocasionalmente en acompañamiento con clorita.

- Zeolitas: se encuentran del tipo policristalino rellenando espacios vacíos y fracturas en forma de vetillas de 0.025 mm de ancho en promedio.

-En menor proporción se encuentran minerales de glauconita, xenomórficos con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.04 mm.

**Clasificación de la matriz:**

Clasificación composicional: Wackestone.

**Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia**

Observación de conteos hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conteo</i>	<i>Porcentaje modal</i>	
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso	18	<b>8,82 ≈ 9%</b>
	Qu	Monocristalino -onduloso	37	<b>18.14 ≈ 18%</b>
	Qp	Policristalino	0	0%
	Qm	Microcristalino	0	0%
	Qc	Calcedonia	0	0%
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	0	<b>0%</b>
	P	Plagioclasa	76	<b>37.25 ≈ 37%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	0	0%
	Lvv	Vítreos	0	0%
	Lvl	Basálticos	0	0%
	Lvm	Microlítico	0	0%
	Lvt	Traquítico	0	0%
	Lva	Amigdaloides	0	0%
	Lvs	Tobáceos	0	0%
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs vs	0	0%
	Lsm	Sedimentario	0	0%
	Lsh	De lutita	0	0%
	Lsc	De carbonato	76	37.25 ≈ 37%
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	76	<b>37%</b>
	Lm	Metamórfico	0	0%

**Cálculos modales:**

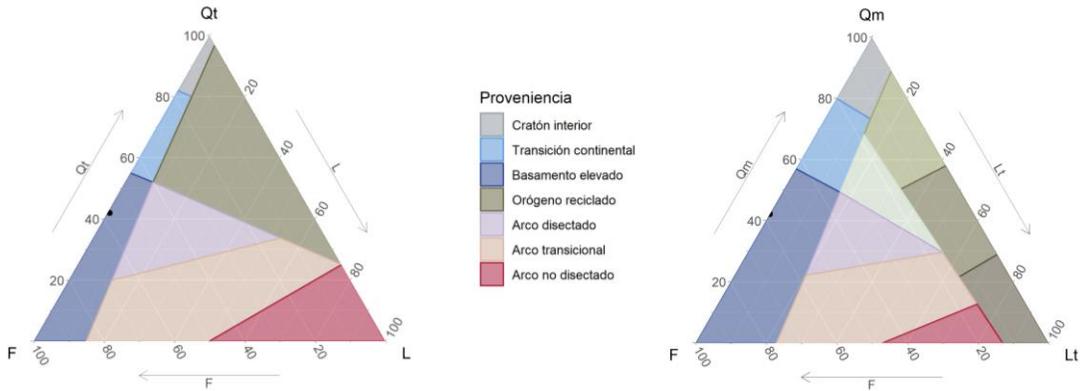
$$\sum \text{total de minerales contados} = 204$$

Cantidad considerada como el 100 para el recálculo de cada fracción mineral.

**Resultados de minerales indicadores**

F: 37% / Qmo: 27% / Qpo: 0% / Lt: 0% / Qt: 27% / L: 0%

**Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia**



**Descripción del clasto No. 1:** (clasto izquierdo inferior de la sección)

Textura hipocristalina, hipidiomórfica, compuesta por minerales de plagioclasa aciculares y augita en una textura radial principalmente en agregados subparalelos, aunque también se encuentran sin una disposición u orientación preferencial (textura basáltica). Alterado por óxidos de hierro y calcita.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 10.5° y ángulo mayor 21°: Andesina.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión				
	#1	#2	#3	#4	Promedio
<b>Opacos</b>	10%	5%	8%	5%	7%
<b>Augita</b>	40%	55%	30%	60%	46.25%
<b>Plagioclasa</b>	50%	40%	62%	35%	46.75%

M = 53.25%

Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 0%, P = 100%.

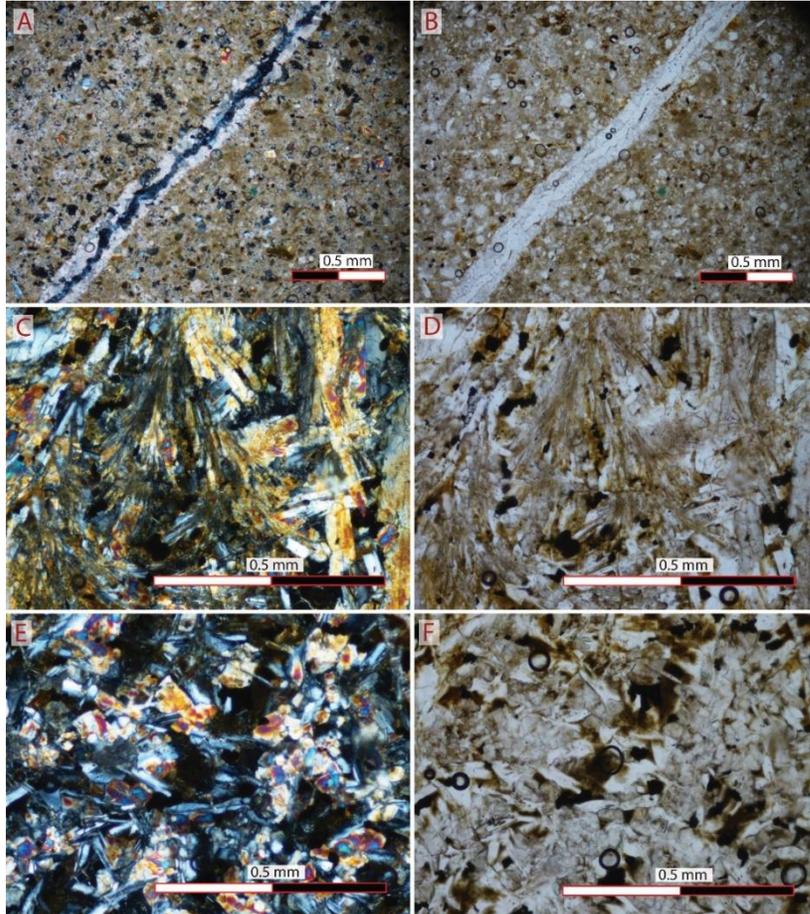
Campo 10 b - diagrama de Streckeisen: Basalto.

**Descripción del clasto No. 2:** (parte superior de la sección delgada o extremo contrario a la etiqueta del código).

Se encuentra muy desgastado con remanente textura hipocristalina, compuesta por minerales opacos, plagioclasa con formas tabulares y augitas xenomórficas, con textura ofítica. Se encuentra bordeado por calcita.

**NOMENCLATURA DE LA MUESTRA D2-PC1-U2 EN GENERAL: *Brecha epiclástica monomictica.***

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D1-PC1-U2**



*Microfotografías D2-PC1-U2. NX imágenes izquierdas y NII derechas. A y B: matriz atravesada por una fractura rellena de zeolita con borde de reacción de calcita mineral. C y D: clasto 1 con característica textura microspínifex. E y F: clasto 2.*

**8. Código: D2-PC1-U4.1**

**Fecha de recolección:** 19 de enero de 2020.

**Localidad:** estratotipo bahía Puerto Carrillo.

**Coordenadas:** 1091082.180 N / 337361.181 E

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha fina a media, constituida en un 60% de matriz y un 40% de clastos, ese 60% a su vez, corresponde con una brecha fina con 45% matriz de lutita color beige (alterada) y gris oscura (sana),

con reacción moderada al HCl y 15% de clastos con tamaños promedio de 2 mm x 1.5 mm de composición basáltica, los cuales se encuentran de manera flotante en la matriz y son angulosos.

El 40% correspondiente con los clastos de la brecha media, son de tamaño centimétrico, principalmente angulares y algunos subangulares, en promedio 5 cm, son de origen ígneo (basáltico) y otros, por su alteración se designan como lava indiferenciada ya que se encuentran muy alterados. La muestra se está interrumpida por vetillas mm de calcita. Los tipos de contactos que se encuentran son variados entre flotantes, puntuales y cóncavos convexos.



Fotografía de la muestra de mano con código D2-PC1-U4.1.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La lámina corresponde con una brecha media. De las relaciones observables en la sección delgada, los clastos abarcan un 70% y la matriz, por tanto, un 30%. Los clastos se encuentran principalmente de manera flotante, sin embargo, también hay contactos puntuales y uno de tipo cóncavo-convexo. Algunos clastos de origen ígneo presentan fracturas rellenas con calcita y/o zeolitas.

### Descripción de la matriz

La matriz corresponde con una lutita a arenisca fina, homogénea, no se observan estructuras sedimentarias ni orientaciones preferenciales de componentes. Es muy importante destacar que en la matriz de esta muestra se hallaron nanofósiles, cocolitos, específicamente corresponden con especímenes del género *Watznaueria* spp. *Watznaueria barnesae*. (Bathoniense-Maastrichtiense).

La fábrica de la matriz se encuentra constituida por:

Esqueleto: los minerales o componentes que se encuentran en la matriz corresponden principalmente con bioclastos, específicamente de foraminíferos y radiolarios (concentraciones variables, entre 15% y hasta 25%).

En una baja proporción (3%) y de manera esporádica, se hallan minerales de augita, plagioclasa, cuarzo y calcita.

Porosidad: en la mayor parte de la matriz no se encuentra porosidad, sin embargo, hay secciones de la lámina en las que se encuentran algunos espacios vacíos en medio de la muestra (8%), así como en medio de partes de los microfósiles.

Tamaños de grano: la mayor parte de la matriz corresponde con material microcristalino, específicamente micrita, así como el cemento que también es de calcita. Sin embargo, los minerales libres que se encuentran en promedio tienen tamaño de 0.12 mm x 0.04 mm.

Grado de redondez y disposición: en su mayoría son angulosos y muy angulosos.

Madurez textural: alto contenido de material fino, los pocos componentes minerales (3%) con tamaño diferencial a la matriz son muy angulosos y angulosos.

Fósiles: inmersos en la matriz, se hallan bioclastos, específicamente fragmentos de foraminíferos y radiolarios, estos se encuentran recristalizados a calcita. En total, abundan hasta en un 10% de la matriz, de estos, la mayoría (8%) corresponden a foraminíferos.

#### Composición mineralógica de la matriz:

-Plagioclasa: cristales principalmente xenomórficos angulares, con calcita (micrita) dispersa en los bordes, tamaño promedio de 0.07 mm x 0.05 mm.

-Cuarzo: se encuentra del tipo monocristalino y policristalino, son xenomórficos angulares con tamaño promedio de 0.1 mm x 0.1 mm, en su mayoría con bordes diseminados por calcita.

-Augita: cristales xenomórficos con tamaño promedio de 0.11 mm x 0.08 mm, sus bordes también se hallan alterados por calcita.

#### Minerales de alteración-accesorios-secundarios

-Calcita: corresponde con el mineral más abundante, conformando la matriz (micrita), así como constituyente de cemento, reemplazando fragmentos de bioclastos, rellenando espacios vacíos y fracturas.

-La segunda alteración que más se presenta son óxidos, tanto de los minerales como en la matriz e intersticios, y ocasionalmente junto con clorita.

-Zeolitas: se encuentran con formas aciculares rellenando espacios vacíos y fracturas de vetillas, las cuales alcanzan incluso 1 mm de ancho en promedio.

-En poca proporción (alcanzando como máximo un 1%) se encuentran minerales de glauconita de manera dispersa, son xenomórficos con tamaños promedio de 0.05 mm x 0.02 mm.

#### **Clasificación de la matriz:**

Clasificación composicional: Wackestone.

## Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia

Observación de conteos hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

Tipo de mineral-símbolo	Definición	Conteo	Porcentaje modal	
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no onduloso	7	5.51 ≈ 6%
	Qu	Monocristalino -onduloso	3	2.35 ≈ 2%
	Qp	Policristalino	1	0.78 ≈ 1%
	Qm	Microcristalino	0	0%
	Qc	Calcedonia	0	0%
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	8	6.29 ≈ 6%
	P	Plagioclasa	60	47.24 ≈ 47%
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	2	1.57 ≈ 2%
	Lvv	Vítreos	0	0%
	Lvl	Basálticos	0	0%
	Lvm	Microlítico	0	0%
	Lvt	Traquítico	0	0%
	Lva	Amigdaloides	0	0%
	Lvs	Tobáceos	0	0%
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	2	2%
	Lsm	Sedimentario	0	0%
	Lsh	De lutita	0	0%
	Lsc	De carbonato	46	36.33 ≈ 36%
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	46	36%
	Lm	Metamórfico	0	0%

**Cálculos modales:**

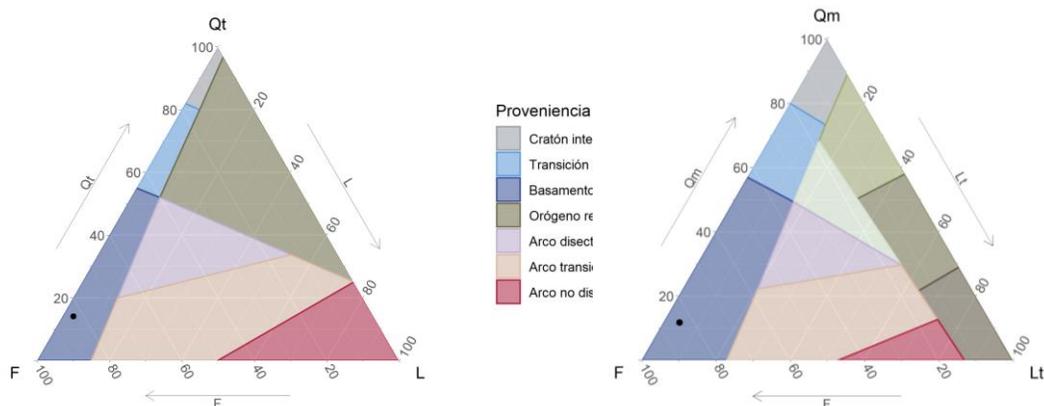
$$\sum \text{total de minerales contados} = 127$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

### Resultados de minerales indicadores

F: 53% / Qmo: 8% / Qpo: 01% / Lt: 03% / Qt: 09% / L: 02%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia



## Descripción de clastos

### Clasto No.1:

Textura hipocristalina, hipidiomórfica, compuesta por plagioclasas aciculares, en una textura radial principalmente en agregados subparalelos, también se hallan augitas xenomórficas en los intersticios de las plagioclasas, sin una disposición u orientación preferencial. Muy alterado por óxidos de hierro, arcillitización, calcita y zeolitas.

*Contenido de anortita: no es posible determinar por la disposición de las plagioclasas de manera acicular radial.*

#### Estimación semicuantitativa de componentes minerales

Mineral	Campo de visión				
	#1	#2	#3	#4	Promedio
Opacos	8%	10%	8%	8%	8.5%
Augita	42%	45%	60%	65%	53%
Plagioclasa	35%	40%	30%	22%	31.75%
Cuarzo	15%	5%	2%	5%	6.75%

M = 61.5%

Recálculo de componentes:

Q = 17.5%, A = 0%, P = 82.5%.

Campo 10 a - diagrama de Streckeisen: Basalto.

### Clasto No. 2:

Textura hipocristalina, xenomórfica con minerales tamaño promedio de 0.07 mm x 0.05 mm, compuesto por plagioclasas y clinopiroxenos (augita). Las plagioclasas son de formas aciculares dispuestas de manera aleatoria, en medio de las plagioclasas se encuentran augitas xenomórficas, en general se encuentran en una textura ofítica y se halla muy alterada por óxidos de hierro, y muy desgastada. Asimismo, se hallan mineralizaciones secundarias de calcita y zeolita.

#### Contenido de Anortita

Angulo menor 13° y ángulo mayor 37°: Labradorita.

#### Estimación semicuantitativa de componentes minerales

Mineral	Campo de visión			
	#1	#2	#3	Promedio
Opacos	5%	5%	5%	5%
Augita	35%	45%	47.5%	42.5%
Plagioclasa	50%	50%	47.5%	49.16%
Calcita	10%	0%	0%	3.33%

M = 47.5%

Recálculo de componentes:

Q = 17.5%, A = 0%, P = 82.5%.

Campo 10 a - diagrama de Streckeisen: Basalto.

### Clasto No.3:

Textura hipocristalina, xenomórfica, con minerales de tamaño promedio de 0.05 mm x 0.04 mm, compuesto por plagioclasas y augitas. Las plagioclasas son de formas aciculares dispuestas de manera radial, en medio de las plagioclasas se encuentran augitas xenomórficas, se halla muy alterada por

óxidos de hierro, y muy desgastada. Así mismo se hallan mineralizaciones secundarias de calcita y zeolita.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 25° y ángulo mayor 33°: Labradorita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión					Promedio
	#1	#2	#3	#4	#5	
<b>Opacos</b>	10%	10%	5%	10%	15%	10%
<b>Augita</b>	50%	45%	47.5%	50%	42.5%	47%
<b>Plagioclasa</b>	40%	45%	47.5%	30%	42.5%	41%
<b>Calcita</b>	0%	0%	0%	10%	0%	2%

M = 57%

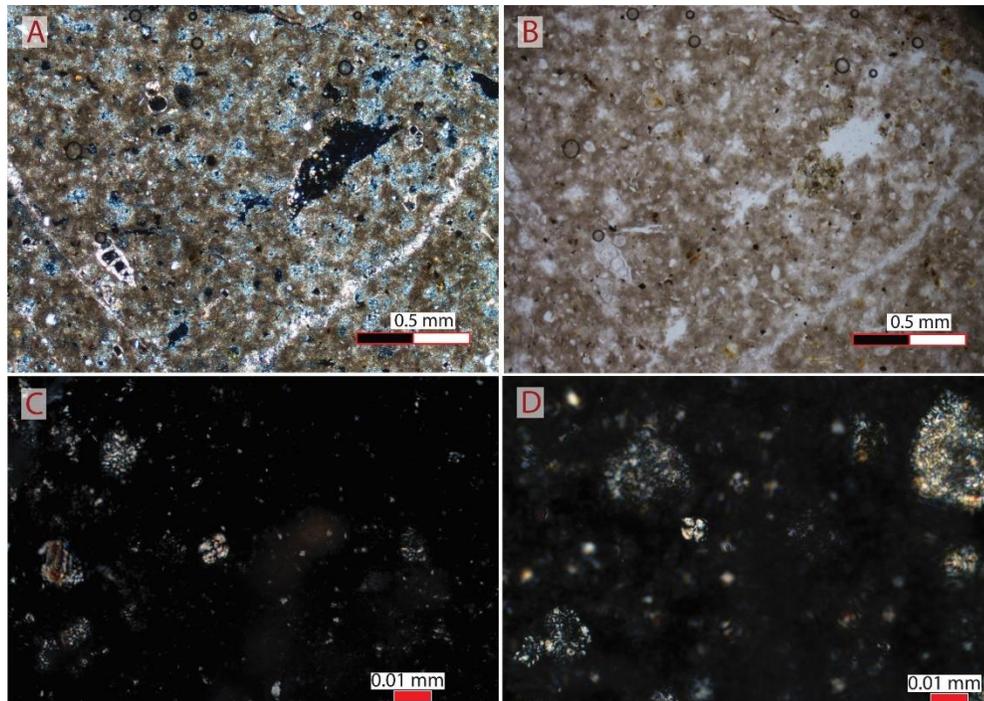
Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 0%, P = 100%.

Campo 10 b - diagrama de Streckeisen: Basalto.

### NOMENCLATURA DE LA MUESTRA D2-PC1-U4.1 EN GENERAL: *Brecha epiclástica monomíctica*

#### MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D2-PC1-U4.1



*Microfotografías de la muestra con código PC2-D1-12 U4.1. A: visión general (nicoles cruzados) de la matriz calcárea en la que destacan bioclastos y vetillas de calcita mineral. B: visión general de la matriz (nicoles paralelos). C y D: microfotografías de los nanofósiles hallados.*

## 9. Código: D2-PC1-U 4.2

**Fecha de recolección:** 19 de enero de 2020.

**Localidad:** estratotipo bahía Puerto Carrillo.

**Coordenadas:** 1091082.180 N / 337361.181 E

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Lutita color gris pardo con laminaciones irregulares de arenisca fina gris oscuro, es de composición calcárea (reacción intermedia a fuerte al HCl) y se encuentra en contacto erosivo con respecto a una brecha fina color gris verdoso constituida en un 30% de matriz y un 70% de clastos angulares y subangulares prismáticos con tamaños desde 1.5 mm x 1 mm hasta 1.7 cm x 0.8 cm, la matriz ha sido reemplazada por minerales de óxidos y zeolitas, solamente algunos litoclastos reaccionan ligeramente al HCl, la composición de estos es predominantemente basáltica.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Lamina compuesta por brecha fina y lutita, las cuales están en contacto erosivo, a continuación, se describirán cada una de estas por separado.

#### Descripción de la brecha fina

Se encuentra meteorizada y muy alterada, compuesta aproximadamente por 15% de matriz compuesta por calcita en forma mineral de tamaño de 0.15 mm x 0.13 mm, así como tamaño microcristalino (micrita). Esta brecha es matriz soportada, los contactos entre los litoclastos son de tipo planos y cóncavos-convexos.

*Esqueleto:* los litoclastos que se encuentran como componentes de la brecha fina corresponden principalmente a remanentes de origen ígneo, los cuales están total o parcialmente alterados por óxidos y han sido reemplazados por calcita, están compuestos básicamente por plagioclasa y augita dispuestos en una textura variolítica, en los que la plagioclasa se encuentra en formas aciculares agregados radialmente con los clinopiroxenos en medio, estos corresponden con aproximadamente el 90% de los clastos. Asimismo, se encuentran algunos clastos (10%) con la misma composición, pero dispuestos de manera ortofídica.

*Porosidad:* se encuentran espacios vacíos por disolución mineral, abrasión y fracturas sin rellenar en al menos un 10%.

*Tamaños de granos clastos:* la proporción de minerales libres es muy baja  $\approx 5\%$ , de estos, el tamaño promedio en el que se encuentran es de 0.08 mm x 0.08 mm. Los clastos se encuentran con tamaños desde 0.11 mm x 0.09 mm hasta 0.6 cm x 0.3 cm.

*Grado de redondez y disposición de clastos:* la mayoría son angulosos, aunque se hallan algunos subangulosos.

*Madurez textural:* clastos mal seleccionados y mal redondeados con escasa presencia de componentes finos.

*Madurez composicional:* inmaduro. Se hallan minerales de augita en conjunto con plagioclasas y cuarzos.

*Fósiles:* no presenta.

### Composición mineralógica de la matriz:

-Plagioclasa: se encuentra como minerales libres en medio de la matriz con formas xenomórficas, se concentran en la parte del contacto erosivo con la lutita, pero con formas tabulares. Poseen tamaño promedio de 0.13 mm x 0.07 mm.

-Augita: se encuentran algunos dispersos en la matriz, xenomórficos con tamaño promedio de 0.05 mm x 0.02 mm.

### Minerales de alteración-accesorios-secundarios

-Calcita: corresponde con el principal mineral de alteración, este se encuentra relleno de fracturas y reemplazando minerales y clastos. Los rellenos alcanzan hasta 0.33 mm de eje largo.

-Zeolitas: corresponde con el segundo mineral que se encuentra con frecuencia generado en medio de espacios vacíos, se observan tanto en disposición acicular y como xenomórfico con tamaños muy similares.

-Clorita: corresponde con el mineral que se halla en menor proporción. Se encuentra con coloraciones verde claras hasta dispersarse con colores cafés por la oxidación de los piroxenos. Son xenomórficos y presentan tamaño máximo de 1 mm x 0.45 mm.

### **Clasificación de la matriz:**

Clasificación composicional: Mudstone.

**Clasificación de la brecha fina:** brecha epiclástica monomítica.

### **Descripción de la lutita**

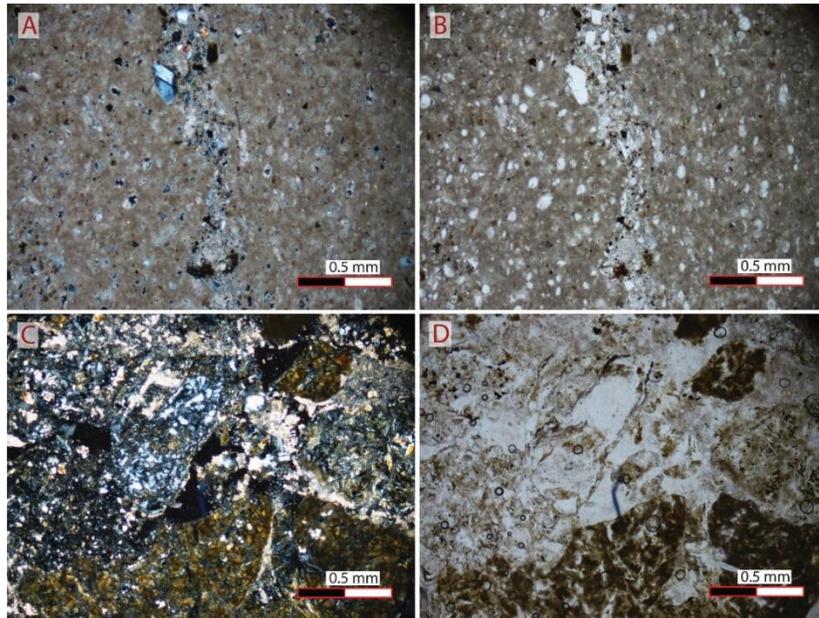
Roca de color beige de composición carbonatada (micrita y microesparita) la cual se halla interrumpida por laminaciones (0.22 mm de ancho) con formas irregulares de arenisca muy fina en la cuales se halla una concentración de minerales como plagioclasa, clorita, óxidos, augita, cuarzo, glauconita, así como bioclastos.

La composición de la muestra es variable a lo largo de la sección, se encuentra constituida en un 80% hasta un 90% por micrita y microesparita, el porcentaje restante corresponde con bioclastos de foraminíferos el cual es variable entre un 20% y un 10%.

Clasificación composicional: Mudstone - Wakestone.

Por su constitución y composición, no es posible realizar el conteo de componentes para la clasificación de indicios de proveniencia.

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D2-PC1-U4.2



*Microfotografías de la muestra con código D2-PC1- U4.2. A: fracción de lutita atravesada por una lámina de arenisca (nícoles cruzados). B: fracción de lutita a nícoles paralelos. C: fracción de brecha fina, matriz reemplazada parcialmente por calcita mineral y remanentes de litoclastos basálticos (nícoles cruzados). D: fracción de brecha fina a nícoles paralelos.*

### **10. Código: D2 PC1 U4.3**

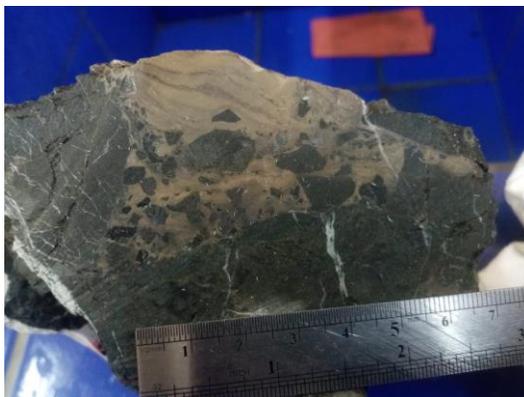
**Fecha de recolección:** 19 de enero de 2020.

**Localidad:** estratotipo bahía Puerto Carrillo.

**Coordenadas:** 1091082.180 N / 337361.181 E

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Lutita color beige a pardo con laminaciones irregulares de arenisca fina gris oscuro, interrumpida por vetillas de zeolitas, es de composición calcárea (presenta una reacción de intensidad intermedia a fuerte en algunas partes al HCl). Se encuentra en contacto erosivo con respecto a una brecha media y un basalto. La brecha tiene como matriz la misma lutita en la cual se encuentran inmersos clastos subangulosos principalmente flotantes y algunos con contactos puntuales, todos de composición basáltica. El basalto que se encuentra es de color gris oscuro, con textura afanítica y con alteración de vidrio color verdoso.



Fotografía de la muestra de mano con código D2-PC1-U4.3.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La lámina se constituye de una brecha media compuesta en un 45% por matriz de lutita arenosa de composición calcárea, el restante 55% es abarcado por litoclastos en su totalidad de origen ígneo, los cuales tienen tamaño mínimo de 1mm x 1mm y máximo observable de 1.2 cm x 1.0 mm, estos se encuentran principalmente flotantes, aunque algunos se hallan en contactos cóncavos-convexos. En general, la selección es muy mala.

### Descripción de matriz

La matriz de la brecha corresponde con una arenisca muy fina (0.125 mm – 0.06 mm), en la sección no se observan estructuras sedimentarias ni orientaciones preferenciales. La mayoría de sus componentes son bioclastos y plagioclasas. A continuación, se detalla en su constitución:

Esqueleto: el 60% se constituye de micrita, su cementación es de calcita, el 15% corresponde con bioclastos de foraminíferos y radiolarios, el 12% corresponde con minerales de plagioclasa y el restante 3% se constituye por un conjunto de minerales indeterminados por alteraciones de óxidos, uralita, clinopiroxenos y glauconita.

Porosidad: se encuentran algunos espacios vacíos en medio de la muestra, así como en el interior de los bioclastos, en total alcanzan un 8%.

Tamaños de grano: la mayor parte de la matriz corresponde con material microcristalino, específicamente micrita, así como el cemento de calcita. Sin embargo, los minerales libres que se encuentran en promedio tienen tamaño de 0.05 mm x 0.05 mm.

Grado de redondez y disposición: en su mayoría son angulosos y muy angulosos, a excepción de los bioclastos con formas redondeadas por su naturaleza, así como sus cavidades.

### Madurez composicional:

Esqueleto básicamente constituido por bioclastos y feldespatos, en coexistencia con muy pocos minerales de baja estabilidad como piroxenos.

Fósiles: inmersos en la matriz (contactos flotantes), se hallan bioclastos, específicamente fragmentos de foraminíferos y radiolarios, estos se encuentran recristalizados a calcita. En total, abundan en hasta un 15% de la matriz, de estos, la mayoría (10%) corresponden a foraminíferos.

Composición mineralógica de la matriz:

-Plagioclasa: cristales principalmente xenomorfoicos, algunos tabulares, son angulares con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.03 mm con maclas polisintéticas y de Carlsbad.

-Augita: son escasos y corresponden con cristales xeromórficos con tamaño promedio de 0.06 mm x 0.05 mm.

Minerales de alteración-accesorios-secundarios:

-Calcita: es el mineral de alteración que se presenta con mayor frecuencia, se presenta como reemplazo de microfósiles y los fragmentos de estos, asimismo, se halla relleno de fracturas y alterando bordes de litoclastos.

-Óxidos: alteración tanto de los minerales como en la matriz e intersticios, por lo que se encuentra de manera xenomórfica como remanente esquelético de minerales y ocasionalmente en acompañamiento con clorita.

**Clasificación de la matriz de la brecha fina**

Clasificación composicional: Wackestone.

**Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia**

Observación de conteos hecha con 20X Microscopio Nikon Eclipse E400 pol.

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conteo (8)</i>	<i>Porcentaje modal</i>
<b>Cuarzo</b>	Qnu Monocristalino – no ondulado	5	<b>1.92 ≈ 2%</b>
	Qu Monocristalino -onduloso	8	<b>3.06 ≈ 3%</b>
	Qp Policristalino	1	<b>0.38 ≈ 0.5%</b>
	Qm Microcristalino	0	<b>0%</b>
	Qc Calcedonia	0	<b>0%</b>
<b>Feldespatos</b>	K Feldespatos potásicos	3	<b>1.14 ≈ 1%</b>
	P Plagioclasa	210	<b>80.46% ≈ 80%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf Félsicos	1	0.38% ≈ 0.5%
	Lvv Vítreos	0	0%
	Lvl Basálticos	2	0.76 ≈ 1%
	Lvm Microlítico	0	0%
	Lvt Traquítico	0	0%
	Lva Amigdaloides	0	0%
	Lvs Tobáceos	0	0%
	Lv Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	3	<b>1.5%</b>
	Lsm Sedimentario	0	0%
	Lsh De lutita	0	0%
	Lsc De carbonato	31	<b>11.88 ≈ 12 %</b>
	Ls Lsm+Lsh+Lsc	31	12%
	Lm Metamórfico	0	0%

### Cálculos modales:

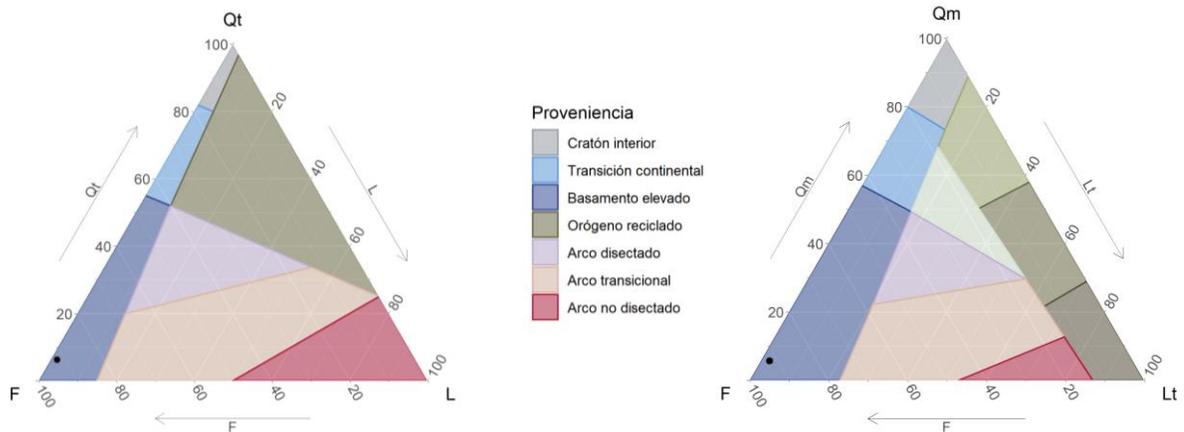
$$\sum \text{total de minerales contados} = 261$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcu de cada fracción mineral.

### Resultados de minerales indicadores

F: 81% / Qmo: 5% / Qpo: 0.5% / Lt: 0.2% / Qt: 5.5% / L: 1.5%

### Resultado de ubicación de componentes en diagramas de proveniencia



### Descripción de clastos

Se describen los clastos de tamaño mayor a 1 cm.

#### Clasto No. 1

Reconocible textura hipocristalina, minerales con tamaño mínimo de 0.20 mm x 0.15 mm, y promedio de 0.25 mm x 0.02 mm, con formas aciculares en una característica textura microespinifex (estructuras plumosas) compuesta principalmente por clinopiroxenos (reconocibles augitas) y plagioclasas, también se encuentran remanentes de olivino en intersticios, los cuales son xenomórficos. En general, se encuentra reemplazada por óxidos y con fracturas rellenas de zeolita y clorita.

No es posible clasificar por alteración.

#### Clasto No. 2

Reconocible textura hipocristalina con minerales de tamaño mínimo de 0.06 mm x 0.06 mm y promedio de 0.20 mm x 0.04 mm— formas aciculares, compuesta principalmente por clinopiroxenos (augitas) y plagioclasas aciculares. En general, se encuentra reemplazada por óxidos y calcita. (Disposiciones de los minerales de manera radial no alcanzan estructuras plumosas).

Se encuentran segmentos desprendidos por lo que el conteo no corresponde al 100% de su contenido, sin embargo, se estima aproximadamente 1% de opacos, 35% de plagioclasas y 64% de clinopiroxenos. Por oxidación es difícil distinguir plagioclasas y piroxenos.

Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 0%, P = 100%, M = 65%

Campo 10 b - diagrama de Streckeisen: Basalto.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 28° y ángulo mayor 46°: Bytownita.

### **Clasto No. 3**

Textura hipocristalina con tamaño promedio de minerales de 0.06 mm x 0.05 mm, con textura basáltica, (plagioclasas dispuestas al azar con augitas y opacos en los intersticios), plagioclasas con formas aciculares y algunos tabulares. Alteraciones óxidos (fibroso).

Composición aproximada: 10% de opacos, 15% augitas, 75% plagioclasa.

Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 13.33%, P = 86.67%, M = 25%

Campo 10 b - diagrama de Streckeisen: Basalto.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 17° y ángulo mayor 23°: Andesina.

### **Clasto No. 4**

Textura hipocristalina con componentes minerales de tamaño promedio de 0.06 mm x 0.05 mm, en una textura basáltica (plagioclasas dispuestas al azar con augita y opacos en los intersticios, las plagioclasas tienen formas laminares alargadas y algunos tabulares. En general, presenta alteraciones de óxidos.

*Contenido de Anortita*

Angulo menor 28° y ángulo mayor 31°: Labradorita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión			
	#1	#2	#3	Promedio
<b>Opacos</b>	10	5	5	6.67%
<b>Augita</b>	60	65	65	63.33%
<b>Plagioclasa</b>	30	30	30	30%

M = 43%.

Recálculo de componentes:

Q = 0%, A = 0%, P = 100%, M = 25%

Campo 9 b - diagrama de Streckeisen: Basalto.

## **NOMENCLATURA DE LA MUESTRA D2-PC1-U4.3 EN GENERAL:**

*Brecha epiclástica monomictica.*

## ***ANEXO 2***

---

*Descripciones petrográficas completas de muestras  
recolectadas en sitios ubicados en las hojas topográficas  
Golfo y Tambor*

---

## 11. Código: PC5-IC-2

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Cedros, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1089282.230 N / 403249.145 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca color gris oscuro con textura porfírica, matriz en un 85%, con 15% de fenocristales de piroxeno con tamaño promedio de 1 mm x 0.5 mm. Ligeramente alterada, con fracturas y oxidaciones. En algunas partes de la roca, presenta porosidad de hasta un 15%.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IC-2.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca hipocrystalina con textura glomeroporfírica seriada, de grano fino hasta medio. Con formas variadas, xenomórficas, hipidiomórficas y en menor proporción idiomórficos.

#### Composición mineralógica:

-Plagioclasa: se halla hipidiomórfica e idiomórfica, con tamaños que van desde 0.035 mm x 0.09 mm hasta fenocristales de 1.4 mm x 0.12 mm. Presentan maclas albita-carlsbad y carlsbad. Ligeramente alteradas a sericita.

-Augitas: minerales xenomórficos generalmente en medio de la plagioclasa, con tamaño mínimo de 0.03 mm x 0.06 mm y máximo de 0.20 mm x 0.31 mm.

#### *Contenido de Anortita*

Ángulo menor 29° y ángulo mayor 45°: Bytownita.

#### *Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión								Promedio
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	
Plagioclasa	45	38	58	69	25	30	54	54	46.6%
Augita	52	60	40	30	70	68	45	45	51.2%
Opacos	3	2	2	1	5	2	1	2	2.2%

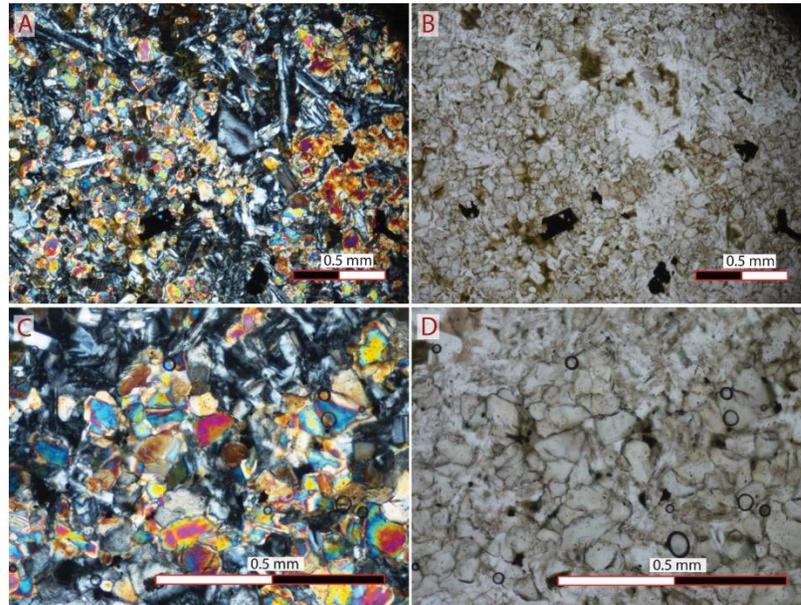
M = 53.4%

Recálculo de componentes: Q = 0%, A = 0%, P = 100%

**Clasificación de clasto 1: Basalto** (campo 10b diagrama Streckeisen).

**CLASIFICACIÓN: Basalto.**

#### MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IC-2.



*Microfotografías de la muestra PC5-IC-2. A: vista general de la muestra a nícoles cruzados. B: vista general a nícoles paralelos. C y D: detalle a menor escala con nícoles cruzados y paralelos respectivamente.*

## 12. **Código: PC5-IJ-1**

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Jesusita, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1088598.082 N / 402633.059 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca color gris con textura porfirítica, la matriz abarca un 70%. Los fenocristales tienen un tamaño promedio de 1 mm x 1 mm y se hallan completamente oxidados, asimismo, hay un porcentaje de porosidad correspondiente al 10%, estos espacios se encuentran en conjunto con oxidaciones, indicadores de porosidad por disolución y no primaria. La muestra está interrumpida por vetillas de calcedonia.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IC-1

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra se halla muy meteorizada, al menos el 50% de sus componentes han sido desprendidos, también estos mismos espacios vacíos en algunos sectores de la muestra han sido rellenados con zeolitas principalmente, y también cuarzo microcristalino tipo sílex.

Los componentes remanentes indican que corresponde con una roca hipocristalina con textura subofítica equigranular de grano fino, promedio: 0.08 mm x 0.15 mm.

### Composición mineralógica:

Se compone de pseudoaugitas xenomórficas, ya que la mayoría de estos clinopiroxenos han sido reemplazados a clorita. Tienen tamaño promedio de 0.08 mm x 0.1 mm, y se encuentran en aproximadamente un 59%.

Se hallan remanentes de plagioclasas principalmente xenomórficas, también tabulares con tamaño promedio de 0.12 mm x 0.08 mm. Abarcan aproximadamente un 30%.

Un 3% corresponde con minerales opacos.

\*\*Su estimación es un aproximado basado sobre componentes presentes ya que en promedio no se halla ni el 50% de los componentes originales.

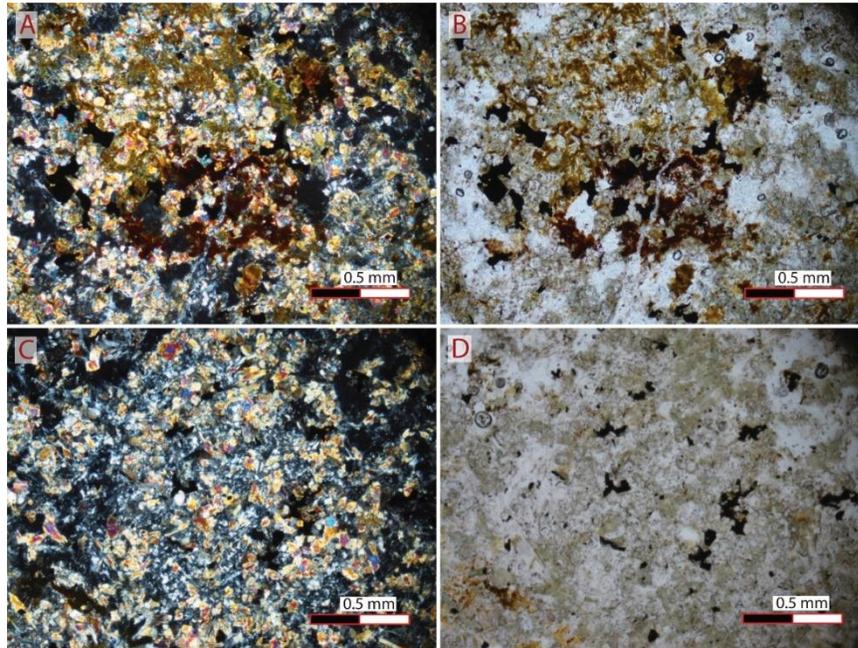
### Minerales de alteración:

El 95% de las augitas se encuentran alteradas a clorita y epidota.

De manera general se halla alterada por oxidaciones y reemplazos de cuarzo microcristalino.

## CLASIFICACIÓN: Basalto.

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IJ-1



*Microfotografías de la muestra PC5-IJ-1. A: vista general de la muestra, estado principalmente de la muestra, muy alterada a óxidos, a nícoles cruzados. B: misma vista que A, pero a nícoles paralelos. C y D: vista general de la muestra con menos alteración de óxidos, pero importante reemplazo a minerales secundarios como zeolitas, a nícoles cruzados y paralelos respectivamente.*

### ***13. Código: PC5-IN-2.2 a***

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Negritos Adentro, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1086331.419 N / 406587.224 E.

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media clasto soportada (algunas secciones son matriz soporte) constituida en un 20% de matriz correspondiente con una lutita color beige cuando está sana, alterada, que es como principalmente se encuentra, presenta una característica coloración rojiza con pátinas color verde lima, esta es de composición calcárea (fuerte reacción al HCl). Los clastos se encuentran con tamaños desde 0.5 mm x 0.5 mm hasta 1.75 cm x 1.15 cm, son subangulares y subredondeados, en su totalidad son de composición ígnea con texturas afaníticas y porfíricas con fenocristales de plagioclasas y piroxenos.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.2a.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Corresponde con una brecha media, constituida por un 20% de matriz y un 80% de clastos de origen ígneo en su totalidad, con tamaños similares en promedio de 1.1 cm x 0.8 cm.

### Descripción de la matriz

La matriz es de composición calcárea, un 85% de esta corresponde con micrita y microesparita el restante 15% se encuentra en forma de calcita cristalina. Asimismo, el cemento y bordes de reacción de los clastos en la matriz se constituyen de calcita cristalina. Se encuentra alterada por oxidaciones de particular coloración marrón-rojizo de hierro.

### Porosidad:

Se halla un 10% de espacios vacíos por desprendimiento de clastos (abrasión mecánica) y disolución de componentes de la matriz.

### Tamaño de clastos:

Los tamaños de cada clasto se detallan en sus descripciones, como mínimo se hay clastos con tamaño de 3 mm x 1.5 mm, en promedio de 0.6 cm x 0.7 cm y máximo de 1.3 cm x 0.6 cm

### Grado de redondez y disposición-soporte de clastos:

Son subredondeados y subangulares. La mayor parte de la sección es clasto soportada.

Los clastos están en contactos puntuales, cóncavos-convexos y tangenciales.

### Madurez composicional:

Minerales libres inmersos en la matriz alcanzando como máximo un 10%, la mayoría están completamente oxidados, ocasionalmente se encuentran minerales de augita y plagioclasa con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.06 mm.

Fósiles: no presenta.

### Composición mineralógica:

**Clasto No. 1** Tiene un tamaño de 1 cm x 0.7 cm, es subanguloso y corresponde con un clasto hipocristalino con textura microspinifex compuesta en un 4% de vidrio, un 20% por minerales opacos con tamaño promedio de 0.02 mm x 0.02 mm, un 16% de plagioclasas aciculares con tamaño promedio de 0.31 mm x 0.04 mm principalmente, algunas son xenomórficas y se hallan dispuestas

de manera aleatoria. El restante 60% de la composición mineral corresponde con augita, la cual se disponen en estructuras plumosas y radiales divergentes con tamaños de 0.25 mm x 0.07 mm.

**Clasto No. 2:** tamaño de 0.6 cm x 0.7 cm, es subredondeado, corresponde con un clasto hipocristalino con una textura en la que las plagioclasas en forma de aguja se hallan dispuestas de manera aleatoria con augita en medio, ocasionalmente estos se encuentran de manera radial divergente. La plagioclasa con forma acicular tiene un tamaño promedio de 0.12 mm x 0.02 mm y abunda en un 60%, un 27% corresponde con augitas xenomórficas con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.05 mm, un 5% es de vidrio y un 8% de minerales opacos.

\*\* la diferencia con el clasto 1, es que las augitas también se hallan de manera intersticial y el contenido de plagioclasa aumenta.

**Clasto No. 3:** tiene un tamaño de 1 cm x 0.6 cm y es subredondeado, corresponde con un fragmento de roca hipocristalina con textura glomeroporfirítica, la matriz se compone de plagioclasa dispuesta aleatoriamente con augita en medio. Los cristales de plagioclasa son en un 25% son tabulares y aciculares con tamaño promedio de 0.08 mm x 0.02 mm el resto es xenomórfica. Las augitas son xenomórficas con tamaño promedio de 0.02 mm x 0.03 mm, se hallan alteradas por oxidaciones y clorita, abundan en un 60%, un 5% corresponde a vidrio y un 10% a minerales opacos. Presenta una aglomeración de fenocristales de plagioclasa y augita en una textura basáltica.

**Clasto No. 4:** con tamaño de 0.65 cm x 0.55 cm, es subredondeado y corresponde con un clasto hipocristalino con textura microspínifex del mismo tipo que clasto 1.

**Clasto No. 5:** tamaño de 1.8 cm x 0.4 cm, clasto de origen ígneo remanente de textura microspínifex reconocible solamente clinopiroxenos (augitas) en estructuras plumosas con pseudomorfos de plagioclasas y olivino. Presenta un halo de alteración diferencial, presenta un núcleo de alteración a óxido de hierro con coloraciones rojizas.

**Clasto No. 6:** mismo que el tipo 1.

**Clasto No. 7:** tienen un tamaño de 1 cm x 0.5 cm con forma subredondeada, corresponde con un fragmento de origen ígneo hipocristalino con textura basáltica de grano fino compuesta en un 7% de vidrio, un 8% de minerales opacos, 30% de augita y un 55% de plagioclasa la cual se dispone de manera aleatoria junto con la augita. Cabe destacar que al menos un 10% de los minerales conformantes de este clasto han sido desprendidos. Presenta alteraciones a óxidos y arcillas.

**Clasto No. 8:** tamaño de 0.35 cm x 0.25 cm y corresponde con un clasto completamente oxidado con coloraciones marrón y rojizas con remanentes estructuras ramificadas o aciculares divergentes sin alcanzar estructuras plumosas y formas esqueléticas de pseudomorfos de plagioclasa acicular y olivino.

**Clasto No. 9:** mismo que el tipo 1 con un alto grado de meteorización.

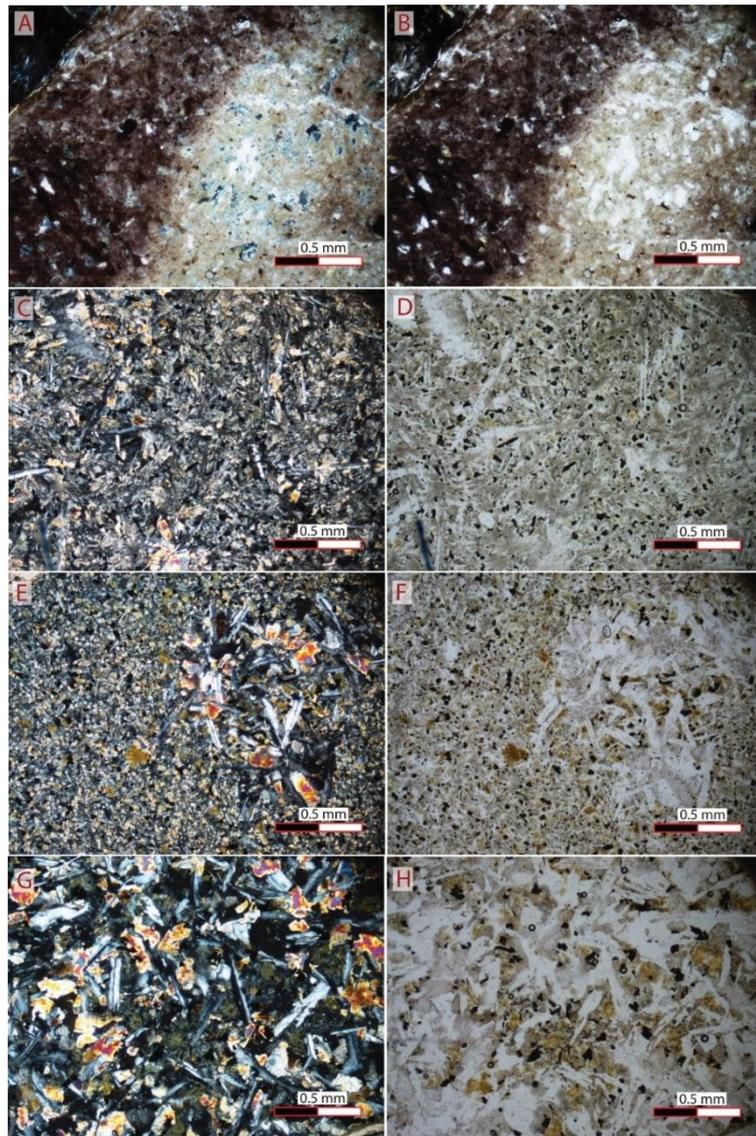
**Clasto No. 10:** mismo tipo que el 8.

#### Minerales de alteración:

La principal alteración que se presenta corresponde a óxidos, característicamente con coloraciones rojizas (óxidos de hierro). Tanto en los clastos como en la matriz. También se hallan reemplazos de calcita y alteraciones de clorita.

## **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC5-IN-2.2 a: Brecha epiclástica monomictica.**

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IN-2.2 a



*Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.2 a. A y B: vista general de la matriz. C y D: vista del clasto 1 con textura microspínifex. E y F: vista del clasto No. 3. G y H: vista del clasto. G y H: vista del clasto No. 7.*

### **14. Código: PC5-IN-2.2b**

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Negritos Adentro, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1086331.419 N / 406587.224 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha media clasto soportada, compuesta en un 15% de matriz y 85% de clastos. La matriz al contener un porcentaje de abundancia bajo, dificulta la identificación de su composición, se distingue una granulometría muy fina color verdosa de la cual en algunas secciones genera reacción al HCl (principalmente en los bordes de los clastos) y en otras no, asimismo, se hallan segmentos de matriz constituidos completamente por óxidos y se distingue también una sección de la matriz correspondiente con chert.

Los clastos se encuentran con tamaños desde 1 mm x 1mm hasta 1.6 cm x 2.95 cm, de composición ígnea en su totalidad correspondientes con fragmentos de color gris oscuro con textura porfírica de la cual se distinguen concentraciones color negro posiblemente piroxenos. Los contactos que más se presentan son tangenciales-planares, sin embargo, también se observan algunos puntuales y cóncavos-convexos. El 40% de los clastos presenta un núcleo de alteración (oxidación de hierro) reconocible por su coloración rojiza.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-2.2b.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra corresponde con una brecha media, con tamaño promedio de clasto observable de 1.5 cm x 1.05 cm, la cual se constituye por un 15% de matriz y un 85% de clastos.

### Descripción de la matriz

La matriz se compone en su totalidad de calcita, la cual se encuentra principalmente de manera cristalina, aunque una proporción baja (máximo 10%) se encuentra como microcristales (micrita-microsparita). Asimismo, el cemento corresponde con calcita cristalina.

Además de la matriz, se hallan rellenos y bordes de reacción de clastos compuestos de calcita cristalina.

**Porosidad:** la mayoría de los espacios vacíos producto de la porosidad primaria, se encuentran rellenos por microsparita – micrita y calcita mineral. Sin embargo, hay algunos espacios de fracturas y desprendimientos de clastos por abrasión sin relleno alcanzando como máximo 1%.

**Tamaños de clastos:** tienen tamaños desde 0.04 mm x 0.04 mm inmersos en la matriz, hasta tamaño centimétrico observable de 1.5 cm x 1.05 cm.

Grado de redondez y disposición-soporte de clastos: los clastos son 50% subangulosos y 50% subredondeados.

La brecha se encuentra grano-soportada, en los cuales los clastos mantienen contactos planares-tangenciales.

Generalmente, los clastos están fragmentados y en medio de las fracturas se hallan rellenos de calcita cristalina.

Madurez composicional: presenta muy pocos minerales libres en la matriz, prácticamente solo glauconita y óxidos.

Fósiles: no se encontraron.

### **Clastos con textura microspínifex**

Se hallan clastos correspondientes a un solo tipo de litología, los cuales se encuentran en distintos estados de meteorización y presentan distintas alteraciones. Son de origen ígneo con textura hipocristalina compuesta por plagioclasa, augita, vidrio, minerales opacos y remanentes de olivino, los cuales se disponen en una textura del tipo microspínifex.

-Plagioclasa: el 90% de los cristales de plagioclasa tienen formas aciculares o de aguja dispuestas aleatoriamente a lo largo de la sección con tamaños desde 0.05 mm x 0.01mm hasta 0.40 mm x 0.01 mm. En menor proporción (10%) son xenomórficos en medio de espacios entre minerales de augita, con tamaño promedio de 0.09 mm x 0.05 mm. Las plagioclasas abundan en un 25%.

-Augita: son minerales xenomórficos creando estructuras plumosas o aciculares divergentes. Las estructuras miden en promedio 0.45 mm x 0.15 mm. Este clinopiroxeno abarca un 59%.

-Minerales opacos: cristales con tamaño de grano fino y abundan en un 15% en conjunto con vidrio.

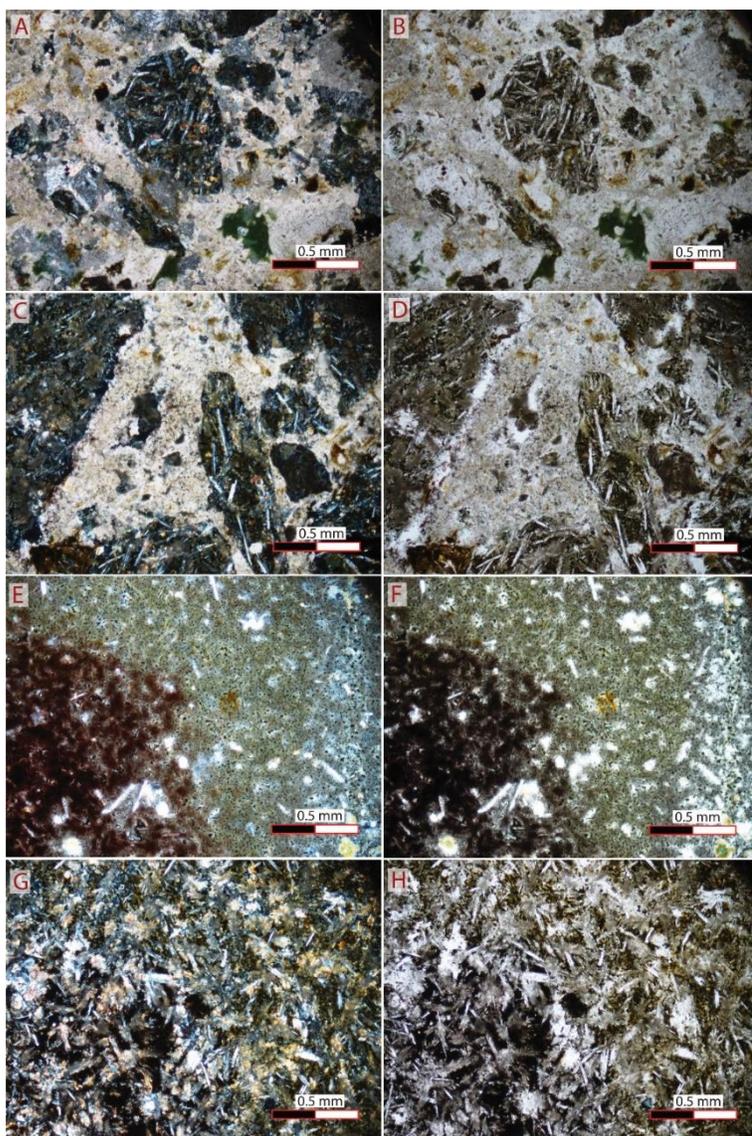
-Olivino: pseudomorfos con tamaño de 0.03 mm x 0.02mm, abundan en un 1%.

### Minerales de alteración:

Presenta alteración de óxidos en toda la muestra, coloraciones marrones, café claro, rojo vino, y café oscuro, en muy baja proporción (menos del 1%) se encuentra clorita. Se hallan clastos con alteraciones diferenciales entre su núcleo y borde de reacción, en su interior, la alteración tiene coloraciones marrón-rojizo en sus intersticios.

## **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC5-IN-2.2 b: Brecha epiclástica monomítica.**

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IN-2.2b



*Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.2b. A, B, C y D: vista general de la brecha en las que se incluye parte de la matriz y clastos con textura microspinitex. E y F: remanentes de clastos con alteración diferencial de óxidos. G y F: detalle de los clastos con textura microspinitex.*

### **15. Código: PC3-D3-A1-CP**

**Fecha de recolección:** 16 de setiembre 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, Paquera, Península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha fina constituida en un 60% de matriz y un 40% de clastos. La muestra se encuentra muy alterada y meteorizada (poco consolidada-deleznable), presenta una coloración verdosa por su alteración, algunas vetillas son de composición calcárea, sin embargo, la matriz no reacciona al HCl. Se encuentra clasto soportado (existe una pequeña fracción con granulometría más fina soportando la matriz). Los contactos entre clastos son principalmente puntuales y algunos planos. Sus formas son subangulares, con tamaño promedio de 0.7 cm x 0.45 cm y mínimo de 1 mm x 1 mm. Macroscópicamente y por el alto grado de alteración, la composición de los clastos se dificulta, se distinguen litoclastos que serían de origen sedimentario (lutitas) y algunas lavas indeterminadas de color gris oscuro con borde de alteración color gris claro.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-CP.*

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca corresponde con una brecha media muy alterada. La matriz se encuentra completamente reemplazada por clorita en conjunto con minerales de alteración de óxidos y vetillas de calcita; y representa un 40%, mientras que los clastos abundan en un 60%.

### **Descripción de la matriz**

En la matriz se encuentran solamente remanentes de clorita y óxidos, del 40% de dicha pasta, el mayor porcentaje, aproximadamente un 28% corresponde con espacios vacíos.

#### Porosidad:

La muestra se encuentra muy desgastada mecánicamente por lo que no es posible determinar, estimar y diferenciar correctamente los espacios vacíos producto de la abrasión con respecto a los espacios de porosidad primaria y/o secundaria. El 28% de la matriz se encuentra con espacios vacíos.

#### Tamaños de grano:

Los tamaños de los clastos se encuentran desde 0.12 mm x 0.23mm, en promedio 1 mm x 0.5 mm y máximo 0.7 cm x 0.4 cm.

#### Grado de redondez y disposición:

Los clastos que se encuentran son sub redondeados. Se deducen dos tipos de contactos cóncavos-convexos y flotantes, sin embargo, por la gran alteración de la matriz puede generarse un sesgo visual.

#### Madurez textural:

Las diferencias de tamaños entre clastos no son considerablemente amplias, aproximadamente un 70% de los clastos se halla dentro del tamaño promedio estimado (1mm x 0.5 mm), a partir de lo cual se considera una muestra moderadamente uniforme en cuanto al tamaño.

Madurez composicional:

Por su alto grado de alteración no es posible determinar la constitución original de los minerales libres en la matriz, se encuentran algunos de augita y en muy baja proporción (1%), plagioclasas.

Fósiles:

No se determinó su presencia en la matriz.

Composición mineralógica:

Se distinguen al menos 4 tipos de clastos con litologías variables:

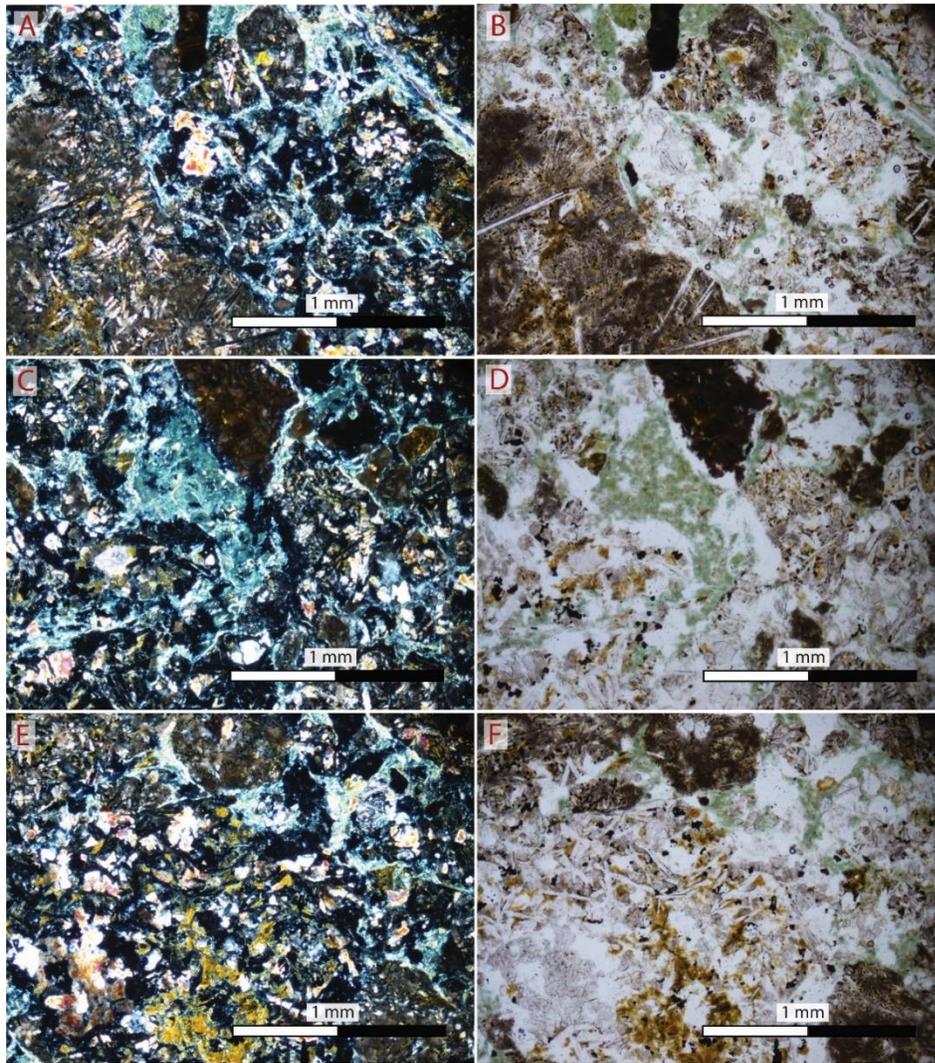
1. Litoclastos ígneos remanentes de textura microspínifex: alteraciones de vidrio oxidado indicador de clastos hipocristalinos con fantasmas de piroxenos con formas aciculares dispuestos de manera radial y plumosas. También se hallan en sus intersticios, minerales finos de opacos con formas tabulares alargadas.
2. Litoclastos de origen ígneo remanentes con textura basáltica, fantasmas de plagioclasa, dispuestos de manera aleatoria en una matriz hipocristalina con augitas y opacos en sus intersticios (0.015mm x 0.02 mm, tamaño promedio).
3. Litoclastos de origen ígneo. Hipocristalinos con una textura en la que las plagioclasas con formas aciculares y tabulares alargadas (0.07 mm x 0.04 mm promedio) se disponen de manera aleatoria con cristales de augita (0.015 mm x 0.015mm).
4. En una proporción muy baja (1%) se encuentran fragmentos de vidrio oxidados.

Minerales de alteración:

El 80% de lo que se encuentra de la matriz corresponde con productos de alteraciones minerales. La mayoría se ha convertido en clorita y clorita en combinación con epidota, seguido en abundancia se hallan los óxidos de hierro, asimismo, rellenos de calcita mineral, y algunos accesorios como la glauconita.

**CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-CP: Brecha alterada de origen volcánico.**

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-CP:



*Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-CP. A, B, C, D, E y F: corresponden con vistas microscópicas generales en las que se observa remanentes de matriz completamente alteradas a clorita, así como remanentes de clastos con texturas microspínifex y basálticas.*

### **16. Código: PC3-D3-A1-U1**

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, Península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Lutita color gris oscuro cuando se encuentra sano y color café cuando está alterada, es de composición silícea y está interrumpida por vetillas de cuarzo, asimismo, se encuentran algunos granos de pirita diseminada.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U1.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Barro arenoso impregnado con arcillas y granos de óxidos dispersos – flotantes, contiene minerales de plagioclasa, augita, glauconita, clorita, cuarzo, fragmentos de vidrio y opacos. Presenta vetillas de cuarzo policristalino, zeolita y calcita. Se configura en un 70% de matriz y en un 30% de granos.

### Porosidad:

Porosidad en el 15% de la totalidad de la muestra en promedio, porosidad primaria y secundaria por disolución de minerales.

Tamaños de grano: el tamaño promedio de los granos es de 0.02 mm x 0.015 mm.

Grado de redondez y disposición: principalmente subredondeados sin embargo, también se encuentra subangulares.

Madurez textural: uniformidad en la granulometría de la muestra, en general muy fino, de tamaño arcilla a máximo arenisca muy fina.

Madurez composicional: los componentes que más abundan corresponden con minerales estables, cuarzos y feldespatos.

Fósiles: bioclastos de foraminíferos (menos del 1%).

### Composición mineralógica:

Cuarzo: 15%

Feldespatos: 5%

Líticos: 0%

Otros (bioclastos, glauconita, vidrio, augitas, clorita): 5%

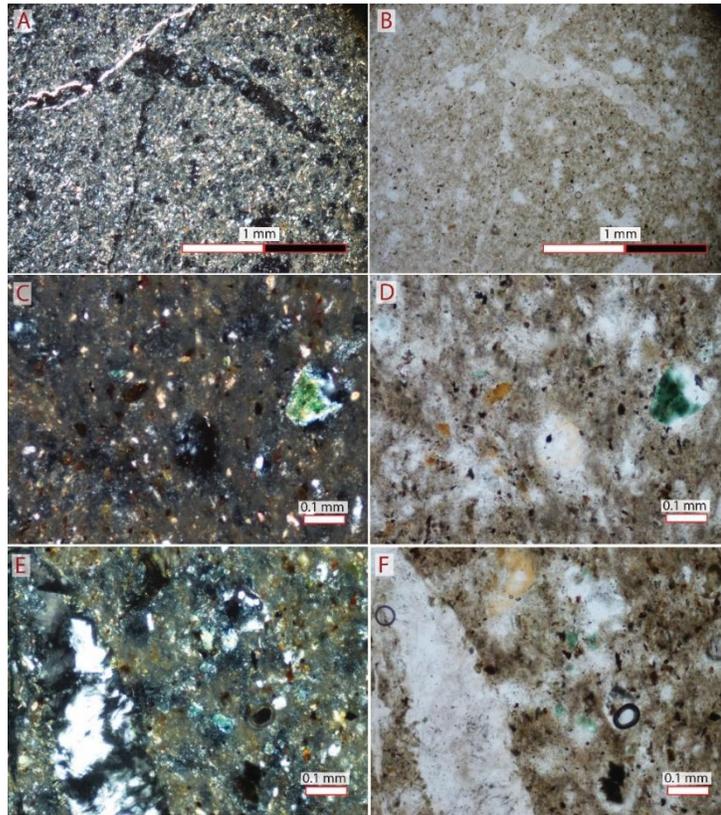
Minerales no reconocibles: 5%

Pasta (matriz, porosidades y cemento): 70%

## CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U1:

Lutita -arenosa siliciclástica.

### MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U1.



*Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U1.*

### **17. Código: PC3-D3-A1U2.1**

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, Península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

#### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media constituida en un 90% de clastos y un 10% de matriz, se encuentra clasto soportada. Los componentes de su matriz no son distinguibles macroscópicamente. Los tamaños de clastos se presentan desde 3 mm x 4 mm hasta de 3.3 cm x 1.2 cm, estos son de composición basáltica en su totalidad, pero con distintas texturas, hay afaníticos de color negro y porfiriticos de composición intermedia (distinguible al menos un 40% de piroxenos), la mayoría presenta un borde de alteración

blanco, están en contactos puntuales y tangenciales principalmente, aunque también hay algunos cóncavos-convexos.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U2.1.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra corresponde con una brecha media a gruesa, constituida en un 5% por matriz y un 95% por clastos. La totalidad de los clastos son de origen ígneo.

### Descripción de la matriz

La matriz se constituye de vidrio volcánico, generalmente oxidadas (coloraciones cafés), con alteraciones de clorita y reemplazos a zeolita.

Esqueleto: brecha clasto soportada con contactos tangenciales.

Porosidad: los espacios vacíos que presenta corresponden a desprendimientos o desgaste de secciones de la matriz, afectando a la muestra en al menos un 20%.

### Tamaños de clasto:

se encuentran clastos con tamaño mínimo de 0.55 mm x 0.31 mm, promedio de 0.5 cm x 0.35 cm, y máximo de 2 cm x 1 cm.

### Grado de redondez:

los clastos son subredondeados principalmente, algunos subangulosos.

### Madurez composicional:

minerales de feldespato (plagioclasa) en conjunto con clinopiroxeno (augita) los cuales se encuentran libres en la matriz.

Fósiles: no presenta.

### Descripción de tipos de clastos

1. Clastos hipocristalinos con textura glomeroporfíutica seriada, en una matriz con textura basáltica compuesta por plagioclasas hipidiomórficas en un 20% con tamaño promedio de 0.14 mm x 0.04 mm. Un 10% corresponde a minerales opacos, otro 10% a vidrio en conjunto con componentes no identificables por oxidación, el restante 60% corresponde a augita xenomórfica con tamaño promedio de 0.12 mm x 0.13 mm.

2. Clastos hipocristalinos con textura subofítica constituida por plagioclasas idiomórficas tabulares e hipidiomórficas aciculares con tamaño promedio de 0.32 mm x 0.11 mm. Augita xenomórfica rellenando intersticios con tamaño promedio de 0.1 mm x 0.31 mm.
3. Clastos hipocristalinos con textura microspínifex constituida por plagioclasas aciculares dispuestas de manera aleatoria con tamaño promedio de 0.31 mm x 0.02 mm las cuales abundan en un 10%, el 75% de este tipo de clasto se compone de augita en estructuras plumosas y un 15% corresponde con minerales no identificables por oxidación, vidrio y minerales opacos.
4. Clastos completamente oxidados con remanentes de microlitos de augita.

## **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U 2.1: Brecha alterada de origen volcánico.**

### ***18. Código: PC3-D3-A1U2.2***

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, Península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Brecha media conformada en un 15% de matriz la cual se encuentra completamente alterada a óxidos, presenta coloraciones verdosas y se distinguen rellenos de zeolitas, no genera reacción al HCl, por otra parte, el restante 85% de la muestra se constituye de clastos subangulosos de origen ígneo, se identifica un 15% de clastos con textura afírica color negro, el restante 70% corresponde son clastos con textura porfírica en la que se distingue un 40% de composición félsica (posiblemente plagioclasas) y un 30% de composición máfica (posibles piroxenos), estos presentan un borde alteración blancuzco. Los clastos se encuentran en contactos tangenciales y cóncavos-convexos, tienen tamaños que van desde 1 mm x 2 mm hasta de 5 cm x 1.7.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U2.2.*

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra corresponde con una brecha media constituida en un 15% de matriz y un 85% de clastos, los contactos son tangenciales, dichos clastos tienen tamaño máximo de 3.2 cm x 2.4 cm y mínimo de 1 cm x 0.8 cm, son de origen ígneo en su totalidad.

### Descripción de la matriz

La matriz de dicha brecha media corresponde a su vez con una brecha fina, constituida en un 30% de matriz y 70% de clastos (sin embargo, esta proporción es variable, en ocasiones, se encuentra en un 20% hasta máximo un 40%) la cual se compone de vidrio volcánico muy alterado. Los clastos se encuentran muy alterados, sin embargo, se distingue por sus texturas, que son remanentes de fragmentos de composición ígnea, son principalmente angulosos con tamaños desde los 0.5 mm x 0.23 mm hasta 1 mm x 0.53 mm.

Las composiciones de los clastos de la brecha fina que constituye la matriz se encuentran las siguientes variedades ígneas:

- Clastos hipocrystalinos con textura basáltica (tamaño promedio de 0.1 mm x 0.06 mm) compuestos en aproximadamente en 10% de minerales opacos, 5% por vidrio volcánico, 25% por plagioclasa y un 60% de augita. Se encuentran alterados por óxidos y presenta rellenos de calcita.
- Clastos hipocrystalinos constituidos por pseudomorfos de augitas y de plagioclasas, minerales opacos muy finos, todos estos inmersos en una matriz indistinguible completamente oxidada.
- Clastos hipocrystalinos con textura microspínifex constituidos por plagioclasas hipidiomórficas principalmente aciculares con tamaño promedio de 0.11 mm x 0.02 mm, abarcan aproximadamente un 5% de los clastos; asimismo, se hallan minerales opacos con formas aciculares en un 20%, con tamaño promedio de 0.09 mm x 0.01 mm. Un 3% corresponde a vidrio y el restante 72% augita.

La fábrica de la matriz se encuentra caracteriza por:

*Porosidad:* los espacios vacíos que se observan en la matriz corresponden a secciones de la matriz de vidrio desprendido por abrasión mecánica principalmente, llegando a abarcar incluso un 20%.

#### Tamaños de clastos:

Clastos con tamaño desde los 0.5 mm x 0.23 mm hasta 1 mm x 0.53 mm.

#### Grado de redondez de los clastos:

Son principalmente angulosos, aunque también se hallan algunos subangulosos.

*Fósiles:* no presenta.

#### Minerales de alteración-accesorios-secundarios:

La mayor parte de la muestra se encuentra alterada por óxidos, los clastos específicamente por óxidos de hierro (coloraciones cafés y naranjas) y la matriz tanto a óxidos como a clorita.

Los clastos de mayor tamaño (centimétricos) que se encuentran están incompletos, ya que sus componentes minerales han sido desprendidos por abrasión. Se distinguen los siguientes tipos de clastos:

- Clastos hipocrystalinos constituidos por plagioclasas hipidiomórficas dispuestas aleatoriamente (o en textura basáltica) con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.02 mm abarcando la mayor abundancia

mineral (65%), seguidamente en un 20% se encuentran augitas xenomórficas con tamaño promedio de 0.04 mm x 0.03 mm, el restante 15% es abarcado por minerales opacos en conjunto con minerales oxidados no identificables y vidrio.

- Clastos hipocristalinos con minerales de plagioclasa acicular dispuesta aleatoriamente con tamaño promedio de 0.09 mm x 0.01 mm las cuales se distribuyen en medio de augita xenomórfica con tamaño promedio de 0.08 mm x 0.03 mm. Un aproximado de la abundancia mineral corresponde a un 3% de vidrio, 12% de opacos, 20% de plagioclasa y un 65% de augita.

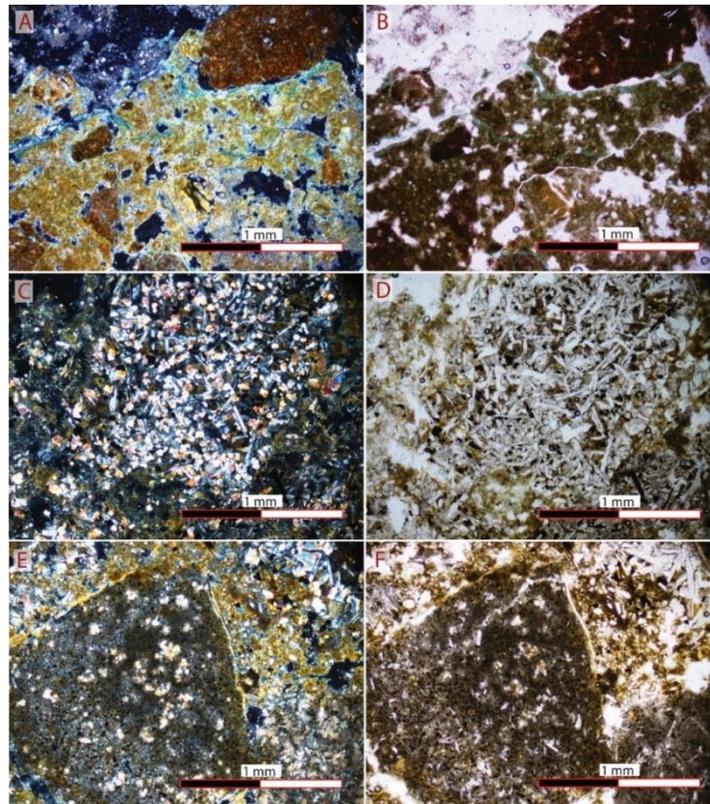
-Se encuentra otro tipo de clasto, sin embargo, el 40% de sus minerales han sido desprendidos y en ocasiones rellenos por zeolitas, reconociendo minerales de plagioclasas hipidiomórficas con tamaño promedio de 0.6 mm x 0.06 mm. y augitas con tamaño promedio de 0.4 mm x 0.25 mm. En general, está muy alterada a óxidos y clorita.

-Clastos con textura microspínifex remanente.

-Remanentes de clastos de origen ígneo con microlitos de augita: subangulosos con tamaño promedio de 1.3 mm x 1.7 mm.

### **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U 2.2: Brecha alterada de origen volcánico.**

#### **MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U 2.2.**



*Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U2.2. A y B: vista general de la muestra en la que se observa remanente de la matriz alterada a clorita y clastos completamente oxidados.*

*C y D: clasto con textura basáltica. E y F: clastos con textura remanente microspínifex.*

## 19. Código: PC3-D3-A1U5

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca de origen ígneo color gris con textura porfírica, se distinguen piroxenos de tamaños milimétricos (~1 a 1.5 mm) abundando en un 30% inmersos dentro de una matriz gris oscura. Se observan ligeras alteraciones a óxidos y zeolitas.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U3.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca hipocrystalina, glomeroporfírica seriada, con textura basáltica (plagioclasas dispuestas de manera aleatoria con augita en medio). Las formas de los minerales son hipidiomórficas principalmente.

#### Composición mineralógica:

-Plagioclasas: principalmente idiomórficas con tamaños que van desde los 0.10 mm x 0.05 mm hasta fenocristales de 1.2 mm x 0.26 mm. Se disponen de manera aleatoria, sin embargo, cabe destacar que se encuentran también, pero en menor proporción, generando estructuras plumosas. La mayoría se encuentra fracturadas y con alteración de sericita, con zonación ondulosa y no ondulosa.

-Augitas: xenomórficas con tamaños desde 0.02 mm x 0.02 mm, hasta máximo 0.57 mm x 0.34 mm.

#### Minerales de alteración:

La muestra principalmente presenta alteraciones de óxidos, zeolitas y arcillitización (sericita en feldespatos). Asimismo, presenta alteraciones de clorita en conjunto con epidota.

#### Contenido de Anortita

Ángulo menor 17° y ángulo mayor 23°: Andesina.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión								
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	Promedio
<b>Plagioclasa</b>	75	70	52	70	52	50	64	49.5	58.19%
<b>Augita</b>	20	15	30	20	35	35	25	40	27.5%
<b>Opacos</b>	2	5	3	5	3	5	1	0.5	3.06%
<b>Alteración (clorita+epidota)</b>	3	10	15	5	10	10	10	10	9.12%

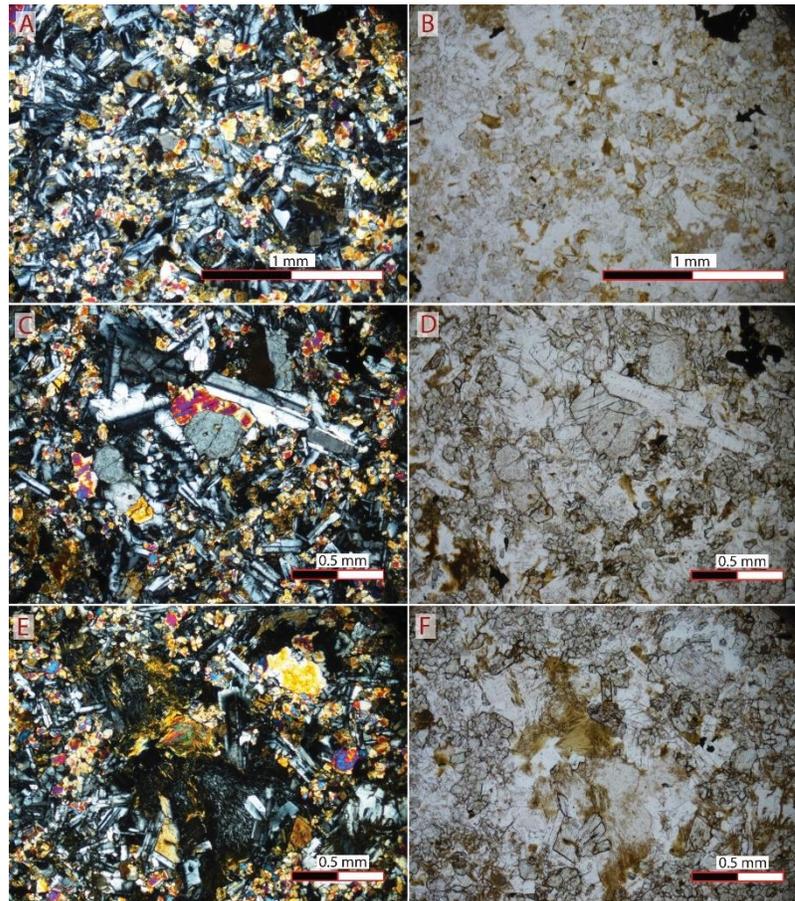
M = 30.56%

Recálculo de componentes: Q = 0%, A = 3.05%, P = 83.79%

**Clasificación: Basalto** (campo 10 diagrama Streckeisen).

**CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U5: Basalto.**

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U5.**



*Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U5. Basalto caracterizado con una textura basáltica, glomeroporfírica seriada.*

## 20. Código: PC3-D3-A1U4

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha media color gris verdosa, compuesta por 75% de clastos de tamaño que van desde 1mm x 2mm, hasta máximo observable de 2 cm x 1.5 cm, los cuales son subangulosos y angulosos, en su totalidad de composición basáltica con textura afírica, y presentan diferentes grados de meteorización. La matriz abarca un 25% de esta un 15% se encuentra completamente alterada, reconocible la presencia de zeolitas solamente. Es matriz soportada y los clastos mantienen contactos puntuales y tangenciales.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U4.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra corresponde con una brecha media (clastos con tamaño promedio de 0.4 cm x 0.35 cm) configurada por un 80% de clastos y un 20% de matriz. Presenta un alto grado de alteración que no permite la identificación original de la matriz y así como la de la mayoría de clastos.

#### Descripción de la matriz

La matriz se encuentra completamente reemplazada por óxidos de hierro e hidróxidos en al menos la mitad de su proporción, la otra mitad se encuentra disuelta dejando espacios vacíos que han sido rellenados por minerales secundarios de calcita y zeolitas. En algunos reemplazos de óxidos es distinguible la alteración de vidrio, por lo que se deduce que la matriz era vidrio el cual se encuentra ahora alterado a óxidos sino reemplazados.

La fábrica de la matriz se encuentra constituida por:

*Porosidad:* los espacios vacíos que se encuentran corresponden a desprendimientos por abrasión, así como por la disolución de matriz. En general se estima que se encuentra un 10% de espacios vacíos en toda la muestra.

Tamaños de clastos: los clastos de menor tamaño son de 0.67 mm x 0.48 mm, en promedio miden 0.4 cm x 0.35 cm y máximo de 0.9 cm x 0.6 cm.

Grado de redondez y disposición:

El 80% de los clastos son angulosos, un 10% son muy angulosos y el restante 10% son subangulosos. Estos se encuentran como grano soporte con contactos puntuales y tangenciales.

Madurez textural:

La mayoría de los clastos (70%) presentan tamaños con valores cercanos al promedio, no existen diferencias significativas entre los tamaños de clastos.

Madurez composicional:

Los clastos son de origen ígneo en su totalidad. Y los minerales que más se preservan corresponden a augita.

Fósiles: no presenta.

Composición mineralógica: se encuentran los siguientes tipos de clastos.

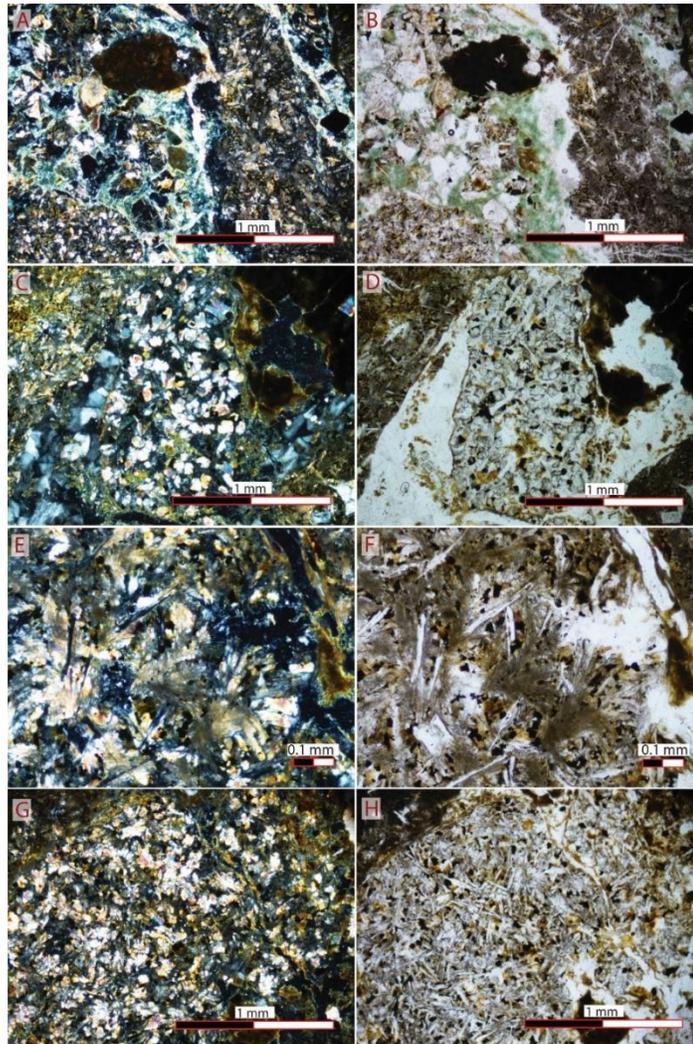
1. Clastos de origen ígneo con textura microspínifex, son hipocristalinos, constituidos por 10% de vidrio, 10% de minerales opacos y 80% de augita, la cual tiene formas aciculares radiales y en estructuras plumosas, en promedio estas tienen tamaño de 0.35 mm x 0.12 mm.
2. Clastos de origen ígneo con textura basáltica, se encuentran solamente pseudomorfos de plagioclasa, dispuestas de manera aleatoria en conjunto con augitas xenomórficas con tamaño promedio de 0.07 mm x 0.05 mm. Se constituyen en aproximadamente 15% de vidrio, 8% de minerales opacos, 20% remanentes de plagioclasa y 71% de augita.
3. Clastos de origen ígneo completamente oxidados (coloraciones cafés oscuras) remanentes de posibles plagioclasas con formas aciculares divergentes.
4. Clastos de origen ígneo similares a los descritos en el punto 1, con la variante de que si se reconocen plagioclasas hipidiomórficas con tamaño promedio de 0.20 mm x 0.04 mm. También es hipocristalina con textura microspínifex. 20% es vidrio, 10% minerales opacos, 10% de plagioclasa y 60% de augita xenomórfica.
5. Clastos de origen ígneo conformados por una matriz hipocristalina muy alterada a óxidos con pseudomorfos de plagioclasa.
6. Fragmentos de vidrio.

Minerales de alteración-accesorios-secundarios:

Los principales minerales de alteración que se encuentran son óxidos de hierro e hidróxidos los cuales se encuentran reemplazando tanto la matriz, como los clastos. En la totalidad de la muestra hay clorita, pero en muy baja proporción del (menos del 1%). Al menos un 15% corresponde con zeolitas y un 5% reemplazos por calcita.

## **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U4: Brecha alterada de origen volcánico.**

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U4.



*Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U4. En las imágenes A, B, C, D: se muestra la configuración general de la brecha con su remanente brecha constituida por vidrio principalmente reemplazado por óxidos y clorita. En E, F, G y H: se detallan clastos con textura microspinifex y basáltica respectivamente.*

### **21. Código: PC3-D3-A1U3**

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Grande conocida como playa Órganos, península de Nicoya.

**Coordenadas:** 1085414.529 N / 401884.756 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha fina constituida en un 15% de matriz y 85% de clastos, la matriz se encuentra muy alterada y su bajo contenido dificulta la identificación, se reconocen rellenos y vetillas de zeolitas conformando la matriz. Los clastos son de origen ígneo (basáltico), con texturas variables, se encuentran afaníticas color negro y gris oscuro, así como porfiríticas de composición intermedia entre máficos (50%) y félsicos (50%), son clastos angulosos y subangulosos, presentan un borde de alteración de coloración blanca y coloraciones en tonos cafés posiblemente por oxidaciones; los tamaños van desde 1 mm x 1 mm, hasta 1.5 cm x 1 cm. Menos del 1% de los componentes (como vetillas o minerales libres) generaron reacción al HCl.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A1-U3.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Brecha fina a media, constituida en un 15% de matriz y un 85% de clastos de origen ígneo, en su mayoría se encuentran fragmentados y oxidados.

### Descripción de la matriz

Se encuentran fragmentos remanentes de lo que sería la composición de la matriz original, la cual correspondería a vidrio, la mayoría ha sido reemplazada por zeolita y calcita.

*Esqueleto:* grano soporte con contactos tangenciales.

*Porosidad:* los espacios vacíos corresponden a desprendimientos y desgaste de secciones de la matriz, afectando a la muestra en al menos un 15%.

*Grado de redondez y disposición:*

Los clastos son principalmente subangulosos.

*Madurez composicional:*

No contiene minerales de cuarzo libres, si la remanencia y coexistencia de plagioclasa y augita.

*Descripción de clastos:*

-La mayoría de los clastos están completamente alterados a óxidos con pseudotexturas radiales y minerales opacos en sus intersticios.

-Clastos hipocristalinos con textura basáltica, compuestos por augita xenomorfa en aproximadamente un 20%, 5% de cuarzo xenomórfico monocristalino con extinción ondulante, 3%

de opacos y 72% de plagioclasa, en general muy alterados por oxidación. Tamaño promedio de minerales de 0.35 mm x 0.09 mm.

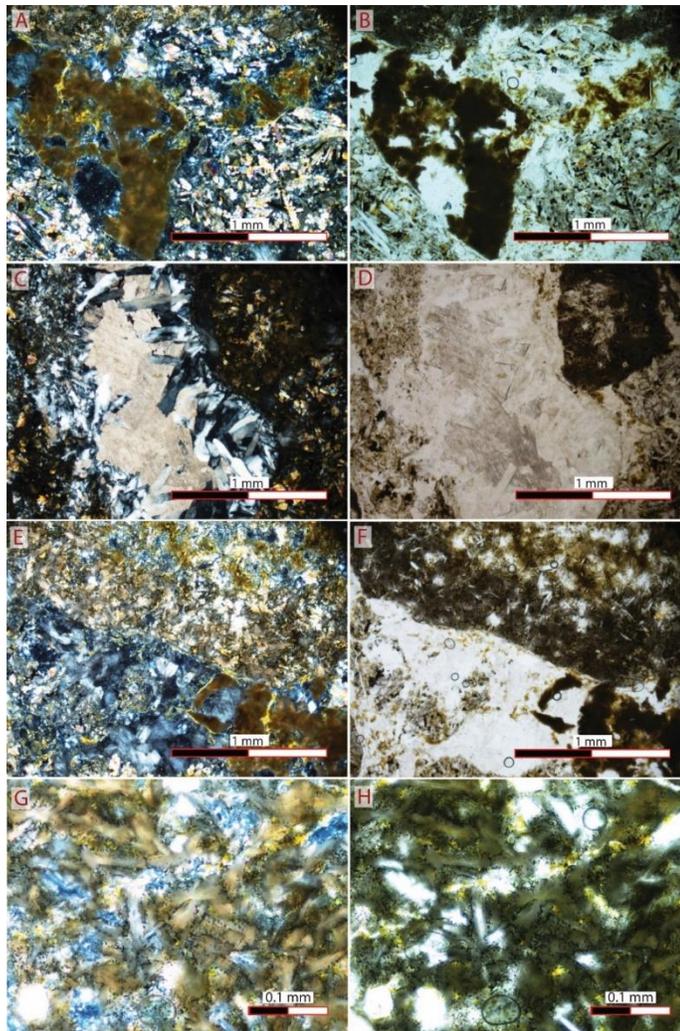
-Clastos remanentes hipocristalinos con texturas plumosas de augita, plagioclasa acicular (5% máximo de abundancia) dispuestas de manera aleatoria y minerales opacos con formas aciculares.

-Clastos hipocristalinos, reconocible solamente augita con tamaño promedio de 0.02 mm x 0.02 mm, en conjunto con minerales opacos.

### CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U3.

#### Brecha alterada de origen volcánico.

#### MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A1-U3.



*Microfotografías de la muestra PC3-D3-A1-U3. A-B: visión general de la brecha en la que se observa clasto oxidado remanente. C-D: reemplazo de matriz por borde de zeolita con relleno de calcita cristalina. E-F: Remanente de clasto con textura microspínifex con alteración diferencial de óxidos. G-H: detalle de un clasto con textura microspínifex.*

## 22. Código: PC5-IA-1

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Alcatraz, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 10881976.559 N / 401145.411 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca color gris oscuro con textura porfírica, la matriz abarca un 80% y destacan fenocristales de plagioclasa con tamaños máximos de 1.5 mm x 1.5 mm. Se encuentran vetillas milimétricas y menores a 1 mm con coloraciones cafés por alteración de óxidos, ocasionalmente se halla pirita diseminada o en concentraciones, con tamaño menor a 1 mm.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IA-1.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca hipocristalina glomeroporfírica seriada con textura basáltica (cristales de plagioclasa dispuestos de manera aleatoria con augita entre ellos).

#### Composición mineralógica:

-*Plagioclasa*: principalmente presenta forma acicular (forma de aguja) dispuesta sin una orientación preferencial con tamaño promedio de 0.25 mm x 0.03 mm, también se hallan fenocristales hipidiomórficos de formas tabulares con tamaño promedio de 0.55 mm x 0.05 mm. La mayoría se encuentra fracturada y ligeramente alteradas a sericita.

-*Augita*: minerales principalmente xenomórficos, con tamaño promedio de 0.03 mm x 0.05 mm, también se hallan fenocristales fracturados con tamaño máximo de 1.15 mm x 0.13 mm.

#### Minerales de alteración:

La matriz compuesta por vidrio está alterada a óxidos. Los minerales de plagioclasa se hallan alterados a sericita.

También se encuentran fracturas rellenas de óxidos (coloraciones rojizas-hematita).

#### Contenido de Anortita

Angulo menor 21° y ángulo mayor 29°: Labradorita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión								
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	Promedio
Plagioclasa	55	40	30	40	38	35	45	40	39.4%
Augita	25	30	40	40	37	40	35	40	35.9%
Opacos	20	30	30	20	25	25	20	20	23.8%

M= 59.7.

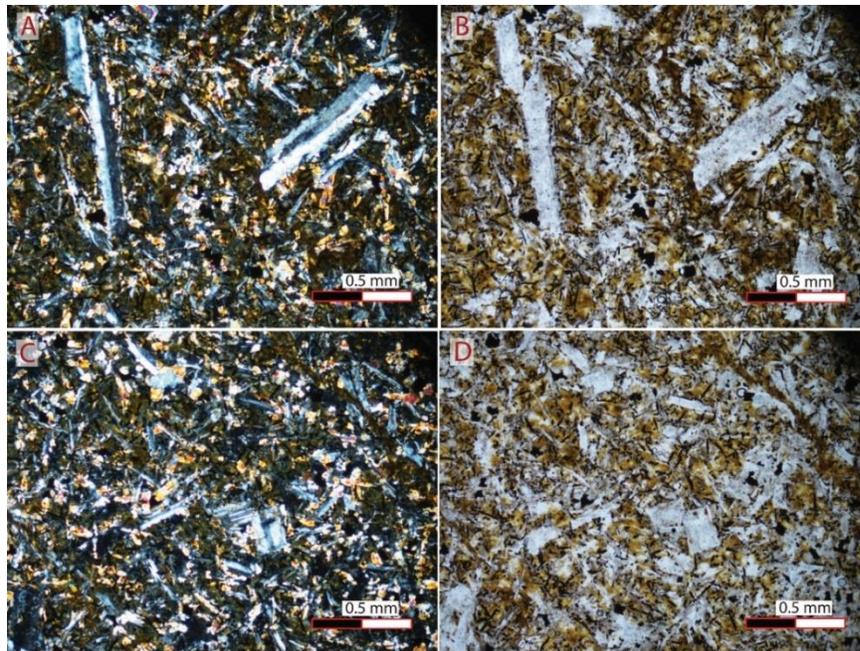
Fenocristales: 15% augita 85% plagioclasas / 70% plagioclasas y un 30%.

Recálculo de componentes: Q = 0 %, A = 2.23%, P = 97.77%.

Campo 10b – Diagrama Streckeisen.

### CLASIFICACIÓN: Basalto.

#### MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IA-1.



*Microfotografías de la muestra PC5-IA-1. A, B, C, D: vista general de la muestra con textura basáltica glomeroporfírica seriada.*

### 23. Código: PC5-ITo-1

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Tolinga, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1080734.544 N / 402348.983 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca de origen sedimentario color gris pardo, de granulometría muy fina (lutita) y de composición silíceo (no genera reacción al HCl), se encuentra interrumpida por fragmentos a alargados ondulados (de hasta 0.7 cm x 4.5 cm) de calcedonia color marrón-rojizo.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-Ito.1.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Lutita constituida por granos muy finos tamaño de arcilla color marrón con alteraciones lineales irregulares de óxidos. Se halla atravesada por una veta de 3.5 cm de longitud x 2 mm de ancho la cual se encuentra rellena de cuarzo microcristalino.

### Esqueleto:

Lutita silíceo, compuesta por minerales microcristalinos de cuarzo, así como arcillas, óxidos y opacos. Ocasionalmente se hallan minerales de clorita y fragmentos de vidrio (con tamaño promedio de 0.03 mm x 0.02 mm), estos últimos abarcan en conjunto como máximo el 3% de abundancia. El componente principal que contiene la lutita son bioclastos de radiolarios los cuales se encuentran en al menos un 70%. Presenta minerales de glauconita en un 3%.

### Porosidad:

No se observa porosidad primaria ni secundaria, las fracturas y espacios vacíos de microfósiles han sido reemplazados en su totalidad por cuarzo microcristalino.

### Tamaños de grano:

El tamaño máximo de los granos en la matriz, es de 0.002 mm x 0.002 mm, el resto posee tamaños menores, hay cuarzo microcristalino componiendo la totalidad de la muestra o bien relleno de espacios.

### Grado de redondez y disposición de clastos:

Los componentes constituyentes de la muestra son bien redondos ya que corresponde con restos de radiolarios los cuales se hallan flotantes en la matriz, en algunos sectores incluso se encuentran soportando la matriz.

Fósiles:

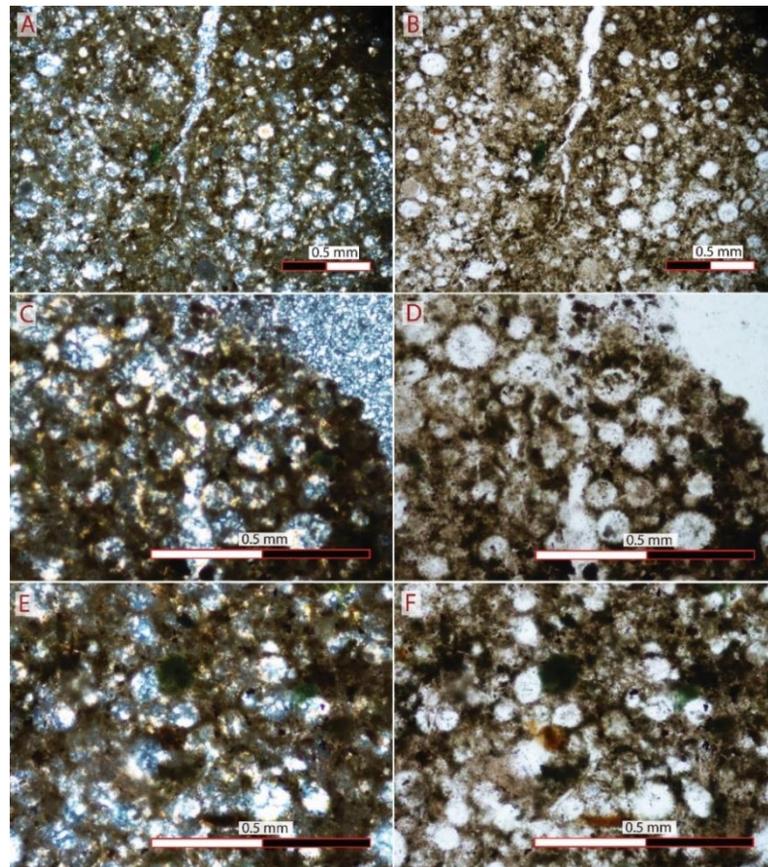
Fragmentos de radiolarios con tamaño promedio de 0.08 mm x 0.08 mm. Cerca del 5% son reconocibles y permitieron ser identificados como radiolarios ya que la mayoría han sido reemplazados y rellenados con cuarzo microcristalino.

**CLASIFICACIÓN**

Clasificación por tamaño de grano: Lutita silícea o chert.

Clasificación composicional: Radiolarita.

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-Ito-1.**



*Microfotografías de la muestra PC5-Ito-1. A-B: vista general de la muestra en la que se observa una fractura. C, D, E, F: detalle de la matriz y restos de radiolarios y rellenos de cuarzo policristalino.*

**24. Código: PC5-IN 2.1**

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

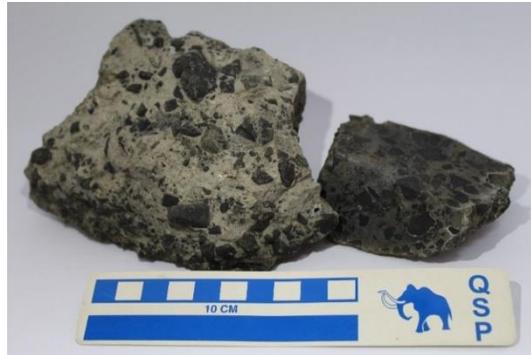
**Localidad:** Isla Negritos Adentro, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1086331.419 N / 406587.224 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha fina a media, el tamaño de sus componentes es muy variable, contiene clastos con tamaño menor a 0.5 mm hasta 3 cm x 1.7 cm. Asimismo, la abundancia de su matriz varía desde un 30% hasta un 70% la cual corresponde con una lutita de color beige de composición calcárea, presenta alta reacción al HCl, aleatoriamente, se encuentran concentraciones de clastos de tamaño milimétrico (desde arenisca media).

Los clastos son principalmente subangulosos y de composición ígnea en su totalidad con textura afanítica color negro y con contactos flotantes, puntuales, tangenciales y cóncavos-convexos.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IJ-1.*

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La muestra microscópica corresponde con una brecha fina (promedio de tamaños de clastos de 2 mm x 2.5 mm), la configuración de abundancia clasto-matriz es variable, en un sector de la muestra se encuentra en 60% matriz y 40% de clastos y en otro de 20% matriz con 80% de clastos.

### **Descripción de la matriz**

La matriz se compone calcita microcristalina (micrita), con minerales de plagioclasa, cuarzo, augita y óxidos inmersos en ella. Está alterada por óxidos que se encuentran en fracturas.

*Porosidad:* se halla porosidad primaria principalmente, la cual alcanza como máximo un 8% en algunos sectores.

*Tamaños de granos y clastos:* los minerales libres presentan tamaño mínimo de 0.05 mm x 0.03 mm y máximo 0.17 mm x 0.12 mm. Los clastos se encuentran con tamaño mínimo de 0.17 mm x 0.10 mm hasta máximo de 1 cm x 0.4 cm.

*Grado de redondez y disposición:* los minerales libres son muy angulares y angulares, se hallan principalmente flotantes y algunos en contactos puntuales. Los litoclastos son subredondeados, ocasionalmente subangulosos y se encuentran en contactos tangenciales y cóncavos-convexos.

*Madurez textural:* el contenido de material fino (micrita) es mayor al 5%.

*Madurez composicional:* se encuentran minerales de baja estabilidad y de alta estabilidad, plagioclasa, augita y cuarzo

Fósiles: contiene bioclastos, específicamente fragmentos de radiolarios (máximo de abundancia, 5%) y bioclastos de foraminíferos (1%).

Composición mineralógica:

-Plagioclasa: hipidiomórficas e idiomórficas, muy angulosos con formas tabulares de tamaño promedio 0.16 mm x 0.24 mm y con maclas de Carlsbad principalmente.

-Augitas: xenomórficas con tamaño promedio de 0.05 mm x 0.05mm, se halla en baja proporción, como máximo en un 3%.

-Cuarzo: xenomórficos y subangulosos con tamaño promedio de 0.26 mm x 0.12 mm.

Minerales de alteración:

-Calcita: corresponde con el mineral más abundante, conformando la matriz (micrita), como cemento, reemplazando fragmentos de bioclastos, rellenando espacios vacíos, fracturas y generando bordes de reacción con algunos litoclastos.

- Uralita y clorita: aparición recurrentemente, producto de la alteración de piroxenos los cuales han sido total o parcialmente reemplazados.

- Óxidos: después de la calcita, corresponde con el mineral de alteración más recurrente, oxidaciones de coloraciones cafés oscuras y claras, tonalidades naranja-rojizas, hasta minerales completamente opacos.

**Clasificación de la matriz**

Clasificación composicional: Wackstone

**Conteo de minerales libres en la matriz para la clasificación de indicios de proveniencia**

\*\* Cabe destacar que su heterogeneidad en la distribución clasto-matriz genera un sesgo en los campos de visión y distribución de minerales en la matriz, para efectos de conteo.

Observación de conteos hecha con 20X Microscópio Nikon Eclipse E400 pol.

<i>Tipo de mineral-símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conteo</i>	<i>Porcentaje modal</i>	
<b>Cuarzo</b>	Qnu	Monocristalino – no ondulado	3	<b>6.5%</b>
	Qu	Monocristalino -onduloso	1	<b>2.2%</b>
	Qp	Policristalino	0	<b>0%</b>
	Qm	Microcristalino	0	<b>0%</b>
	Qc	Calcedonia	0	<b>0%</b>
<b>Feldespatos</b>	K	Feldespatos potásicos	0	<b>0%</b>
	P	Plagioclasa	15	<b>32.6%</b>
<b>Líticos</b>	Lvf	Félsicos	1	2.2%
	Lvv	Vítreos	6	13%
	Lvl	Basálticos	17	37%
	Lvm	Microlítico	0	0%
	Lvt	Traquítico	0	0%
	Lva	Amigdaloides	0	0%
	Lvs	Tobáceos	0	0%
	Lv	Lvf+Lvv+Lvl+Lvm+Lvt+Lva+Lvs	0	<b>52.2%</b>
	Lsm	Sedimentario	0	0%
	Lsh	De lutita	0	0%
	Lsc	De carbonato	3	6.5%
	Ls	Lsm+Lsh+Lsc	3	<b>6.5%</b>
	Lm	Metamórfico	0	0%

Cálculos modales:

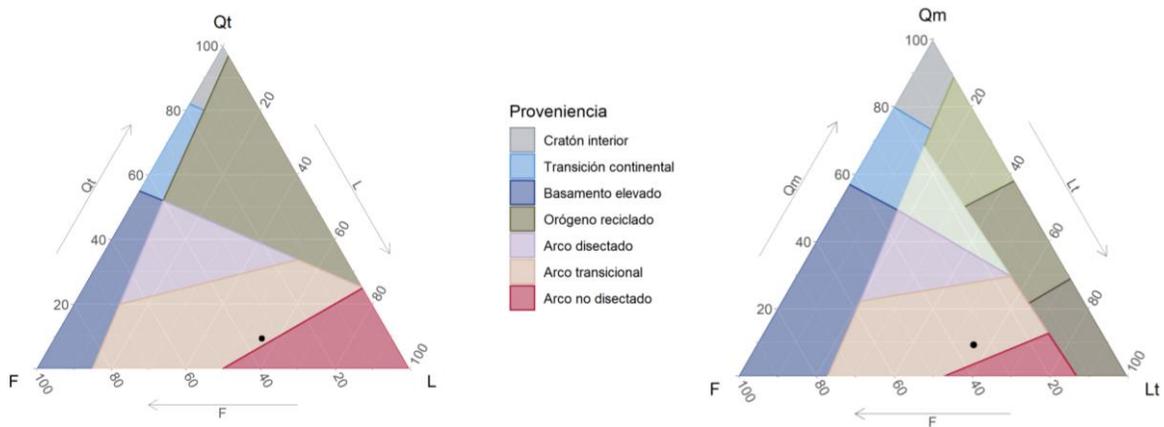
$$\sum \text{Total de minerales contados} = 46$$

Cantidad considerada como el 100 para el recalcular de cada fracción mineral.

Resultados de minerales indicadores

F: 32.6% / Qmo: 8.7% / Qpo: 0% / Lt: 52.2% / Qt: 8.7% / L: 52.2%

### Resultado de ubicación de componentes en diagrama proveniencia



### Descripciones de clastos

#### Tipo de clasto N°1:

Textura hipocristalina con minerales tamaño promedio de 0.04 mm x 0.01mm, compuesta en su totalidad por plagioclasa y augita, los cuales conforman una matriz con textura microspínifex, su abundancia se distribuye entre un 15% de minerales opacos, un 30% de plagioclasa y un 55% de augita. Los minerales de plagioclasa presentan formas aciculares o de aguja de manera aleatoria. Las augitas se hallan en estructuras plumosas o ligeramente ramificadas dificultando su identificación. *Clasificación: Basalto.*

#### Tipo de clasto N°2:

Textura hipocristalina, minerales con tamaños similares, los cuales en promedio son de 0.15 mm x 0.04 mm. Contiene plagioclasas con formas aculares o de aguja, dispuestas de manera aleatoria con augita en sus intersticios, asimismo, este clinopiroxeno se halla en estructuras plumosas. El contenido de vidrio es muy poco, como máximo alcanza un 5%, los minerales opacos abundan en un 15%, las plagioclasas abarcan un 45% y las augitas en un 35%. *Clasificación: Basalto.*

#### Tipo de clasto N°3:

Textura hipocristalina, minerales con tamaño promedio de 0.05 mm x 0.01 mm, se compone principalmente de augitas dispuestas en estructuras plumosas y aciculares creando una textura microspínifex. Se constituye de un 3% de vidrio, 7% de minerales opacos, 15% de plagioclasas y 75% de augitas. *Clasificación: Basalto.*

#### Tipo de clasto N°4:

Textura hipocristalina, con minerales de plagioclasa y augita de tamaño promedio de 0.37 mm x 0.10 mm dispuestos en una textura basáltica (plagioclasas sin orientación preferencial con augita en sus

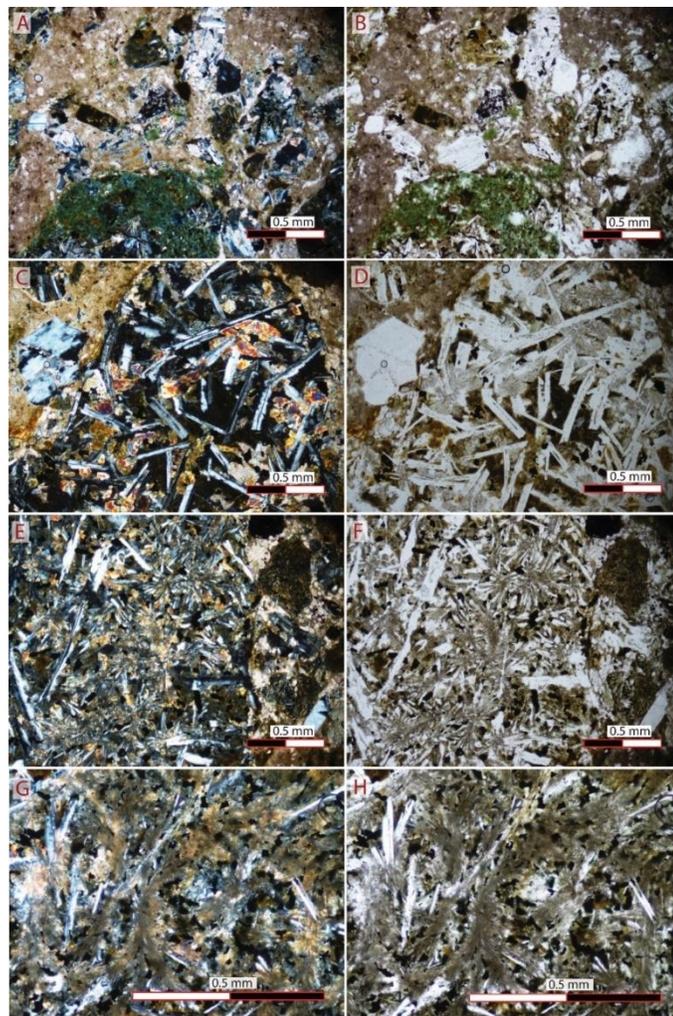
intersticios). La plagioclasa se presenta en minerales hipidiomórficos tabulares y en menor proporción xenomórficos, con tamaño mínimo de 0.06 x 0.09 mm y máximo de 0.60 mm x 0.23 mm, se hallan ligeramente fracturados y alterados con sericita. La augita como minerales xenomórficos relleno intersticios con tamaño mínimo de 0.02 mm x 0.02 mm y máximo de 0.38 mm x 0.10 mm.

**Tipo de clasto N° 5:**

Vidrio alterado con coloraciones verdes y cafés. \*\* distinto de clastos completamente alterados a clorita. Minerales opacos: 5%. Plagioclasa: 60% y Augita: 35%. *Clasificación: Basalto.*

**CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC5-IN-2.1**  
*Brecha epiclástica monomítica.*

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IN-2.1**



*Microfotografías de la muestra PC5-IN-2.1. A-B: vista general de la muestra en la que se observa parte de la muestra constituida por una matriz de wackestone con clastos alterados. C-D: Clasto con textura dolerítica. E – F: clasto con textura particular con plagioclasas dispuestas en forma radial o divergente. G y H: detalle de clasto con clinopiroxenos en estructura plumosa.*

## 25. Código: PC5-IN-1

**Fecha de recolección:** 15 de setiembre 2022.

**Localidad:** Isla Negritos Adentro, golfo de Nicoya.

**Coordenadas:** 1086288.711 N / 405983.769 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha fina compuesta en un 20% por matriz de granulometría muy fina con ligera reacción al HCl. Los clastos soportantes son subangulares con tamaño promedio de 1.5 mm x 1.5mm, presentan contactos puntuales y su composición es principalmente ígnea (textura afanítica) sin embargo, hay un porcentaje que no es reconocible macroscópicamente por alteración.



Fotografía de la muestra de mano con código PC5-IN-1.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Corresponde con una brecha fina con clastos de tamaño promedio de 1.5 mm x 1 mm constituida por un 15% a 20% de matriz, la cual ha sido reemplazada por calcita mineral, y en algunas secciones se halla constituida por micrita-microesparita. Presenta un alto grado de meteorización y alteración a óxidos. (Por lo que no es posible realizar conteo para clasificación de indicios de proveniencia).

#### Descripción de la matriz

Porosidad: por su alto grado de meteorización y desprendimiento de minerales y fracciones de clastos, se halla aproximadamente 15% de porosidad secundaria.

Tamaños de clastos: como mínimo se hallan clastos con tamaño de 0.22 mm x 0.24 mm, en promedio de 0.90 mm x 1.5 mm, y máximo de 4.5 mm x 1.5 mm.

Grado de redondez y disposición: los clastos son principalmente subangulares, aunque también hay subredondeados y se encuentran en contactos puntuales y tangenciales.

#### Madurez composicional:

Hay partes de la sección que presentan micrita-microesparita, sin embargo, no se hallan minerales libres, asimismo, la mayor parte de la matriz primaria ha sido reemplazada por calcita cristalina.

**Clastos tipo 1:** clastos de origen ígneo, son hipocristalinos con textura microspínifex en la cual los minerales de augita se disponen en estructuras de plumas y/o radiales divergentes, tienen tamaño promedio de 0.06 mm x 0.26 mm y abundan en aproximadamente un 70%. La restante composición se establece con un 8% de minerales opacos, 5% de vidrio y un 16% de pseudomorfos de plagioclasas aciculares con tamaño promedio de 0.34 mm x 0.03 mm.

**Clastos tipo 2:** clastos de origen ígneo, hipocristalinos, constituidos por augita en un 70% dispuesta de manera radiales divergentes a plumosos. Asimismo, se encuentran pseudomorfos de plagioclasa distribuidos de manera aleatoria en un 10%, otro 10% corresponde con minerales opacos y el restante 10% corresponde a vidrio.

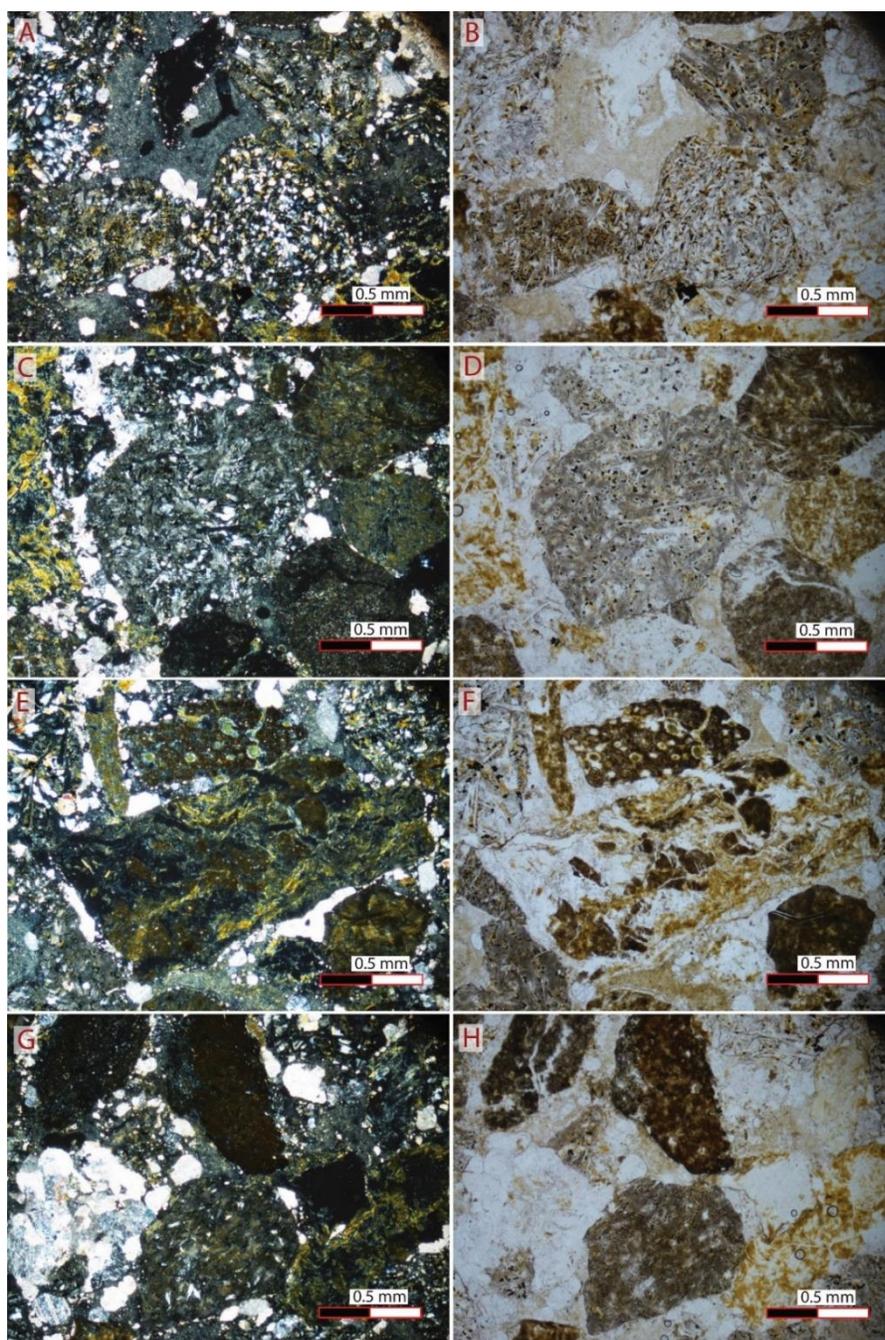
**Clastos tipo 3:** clastos de origen ígneo, hipocristalinos, compuestos en un 15% por vidrio alterado por oxidación, un 5% por minerales opacos, un 55% por clinopiroxenos (augitas) xenomórficas con tamaño promedio de 0.06 mm x 0.08 mm, por último, se halla un 25% corresponden con fantasmas de plagioclasas hipidiomórficas tabulares alargadas con tamaño promedio de 0.20 mm x 0.03 mm, también se hallan algunos xenomórficos.

**Clastos tipo 4:** hay una importante proporción de clastos no reconocibles por su alto grado de alteración a óxidos y arcillas. Se encuentran remanentes de granulometría muy fina irreconocibles en una matriz completamente oxidada.

## **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC5-IN-1:**

*Brecha epiclástica monomítica.*

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC5-IN-1



*Microfotografías de la muestra PC5-IN-1. Vistas generales de la configuración de la brecha. A-B, C-D: clastos con remanente textura microspinfex – variolítica. E-F y G-H: secciones de matriz con recristalizaciones de calcita cristalina, también se hallan fragmentos de vidrio y clastos completamente oxidados.*

## ***ANEXO 3***

---

*Descripciones petrográficas completas de muestras  
recolectadas en sitios ubicados en las hojas topográficas  
Río Arío y Tambor*

---

## 26. Código: PC3-D2-A3A

**Fecha de recolección:** 15 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Muertos, Pochote, provincia de Puntarenas.

**Coordenadas:** 1077803.653 N / 391199.066 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca de origen sedimentario color gris pardo de granulometría muy fina (variable entre lutita y arenisca muy fina) no presenta estructuras sedimentarias ni fósiles, es de composición silíceo y tiene ligeras coloraciones cafés por alteraciones de óxidos.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D2-A3A.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Lutita arenosa constituida por sílice microcristalino-amorfo, interrumpido por alteración de óxidos.

Porosidad: se hallan principalmente espacios vacíos por fracturas sin rellenar, así como cavidades vacías alcanzando como máximo un 5%.

Tamaños de grano: los componentes de mayor tamaño que se encuentran son de tamaños similares y en promedio de 0.03 mm x 0.02 mm. El resto de la muestra corresponde con granulometrías menores a 0.02 mm correspondientes con el material microcristalino de composición silíceo.

Grado de redondez y disposición:

Los minerales libres que se encuentran son bien redondeados y flotantes de manera dispersa en la lutita, sin ninguna orientación preferencial.

Madurez composicional:

Minerales de cuarzo coexistiendo con minerales plagioclasa.

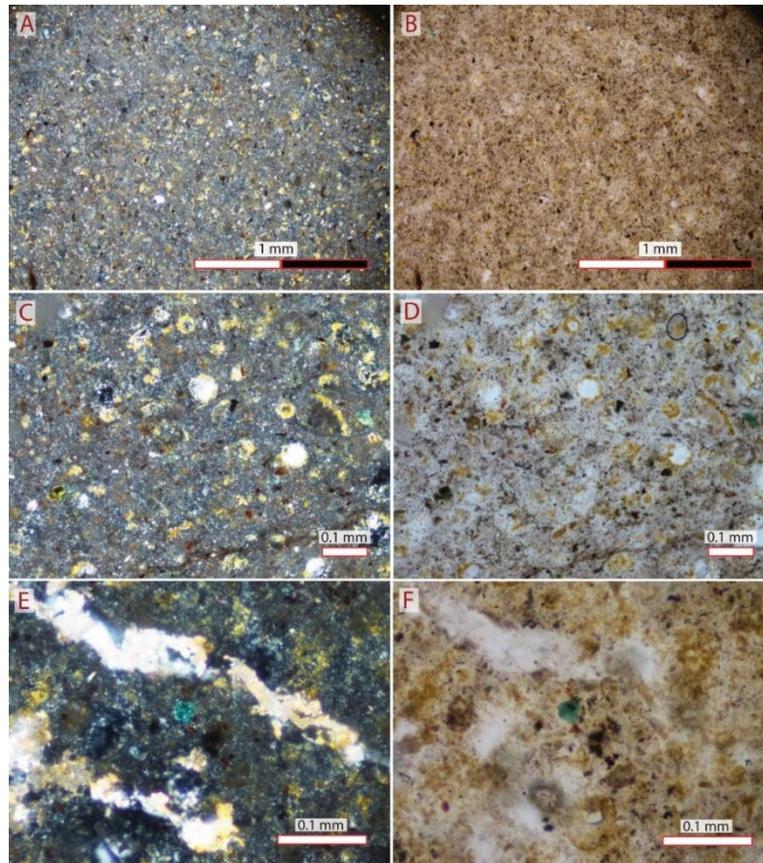
Fósiles: no presenta.

Composición: de 80% a 90% de minerales libres corresponden con minerales de óxidos producto de alteraciones, el restante 20% a 10% es variable entre cuarzo policristalino, cuarzo monocristalino ondulado y no ondulado, así como plagioclasa.

Con un porcentaje menor al 3% se hallan minerales de clorita producto de la alteración de piroxenos, así como escasamente algunos de glauconita. Cuarzo: 15%, Líticos: 0%, Feldespatos: 2%, Otros: 3%, Minerales no reconocibles: (óxidos) 30%, Matriz: 50%.

### **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D2-A3A: Lutita arenosa siliciclástica.**

#### **MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D2-A3A.**



*Microfotografías de la muestra PC3-D2-A3A. A-B: vista general de la muestra. C-D: detalle de los componentes granulares principalmente cuarzo monocristalino con bordes de óxidos. E-F: detalle de veta rellena de cuarzo policristalino y de mineral de glauconita.*

## **27. Código: PC3-D2-A3B**

**Fecha de recolección:** 15 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Muertos, Pochote, provincia de Puntarenas.

**Coordenadas:** 1077803.653 N / 391199.066 E.

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca de origen sedimentario color pardo, de granulometría muy fina (lutita) y de composición silícea, no se observa la presencia de fósiles ni estructuras sedimentarias. Se encuentra alterada por óxidos desarrollados en fracturas dendríticas en las cuales ocasionalmente se halla arenisca muy fina.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Lutita arenosa constituida por sílice microcristalino-amorfo, impregnada con óxidos y presenta vetillas de calcita.

*Porosidad:* espacios vacíos de fracturas sin rellenar, así como cavidades vacías alcanzando como máximo un 10%, la mayoría de espacios vacíos correspondientes a porosidad primaria han sido rellenados por cuarzo amorfo y en general, alterados por zeolitas y óxidos.

*Tamaños de grano:* los componentes de mayor tamaño son similares, en promedio de 0.03 mm x 0.02 mm. El resto de la muestra corresponde con granulometrías menores a 0.02 mm correspondientes con el material microcristalino de composición silícea.

*Grado de redondez y disposición:*

La mayoría de minerales son subredondeados y se encuentran de manera flotante.

Los componentes están dispersos, no presentan ninguna orientación preferencial, distribuidos homogéneamente a lo largo de la sección.

*Madurez textural:* el tamaño de los minerales dispersos en el material fino es muy similar y bien redondeados.

*Madurez composicional:* la mayoría de los minerales libres son de cuarzo, aunque también se hallan coexistiendo con algunas plagioclasas y augitas.

*Fósiles:* se observa en muy baja proporción (- 1%) bioclastos de foraminíferos.

*Composición mineralógica:*

el principal componente que se encuentra en la sección corresponde con impregnaciones de óxidos alterantes de la lutita (57%), las cuales se encuentran sobre cuarzo microcristalino amorfo original del cual se identifica un 20%, seguidamente en abundancia, corresponden los minerales de cuarzo monocristalinos, con y sin extinción ondulante así como policristalinos (15% en total) y como mínimo se hallan plagioclasa (3%), augita (2%), el restante 3% corresponde con un conjunto de minerales de alteración (hematita, clorita y glauconita).

Cuarzo: 20%

Líticos: 0%

Feldespatos: 3%

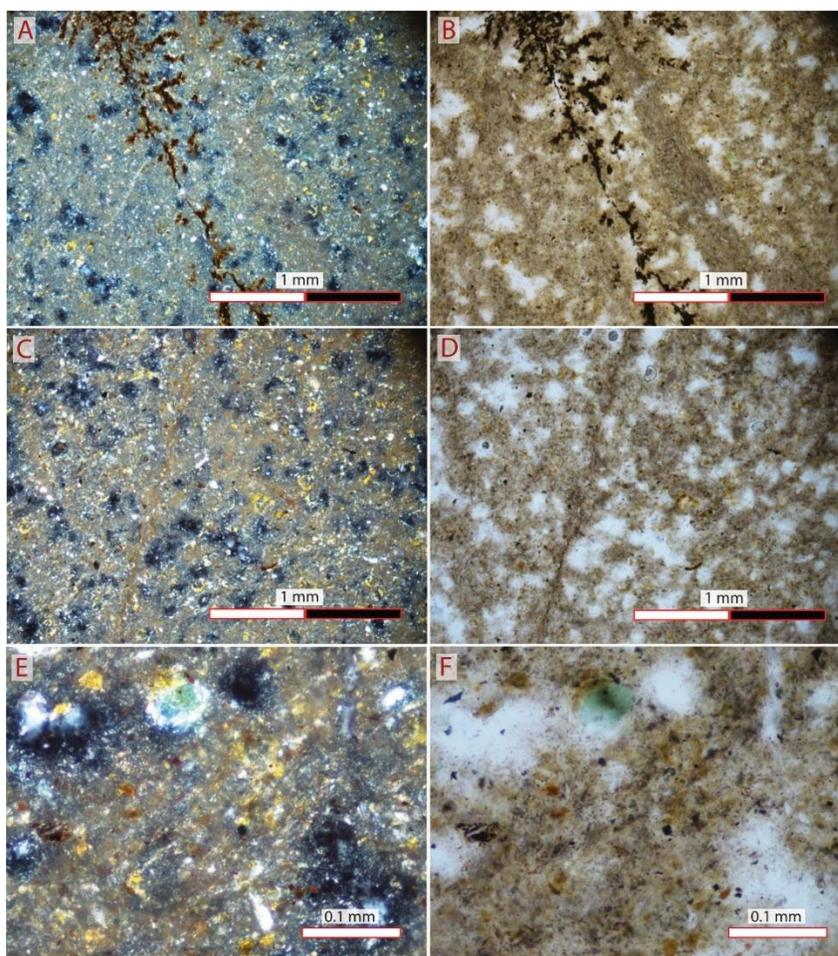
Otros: 3%

Minerales no reconocibles: (óxidos) 24%

Matriz: 50%

**CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D2-A3B: Lutita siliciclástica.**

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D2-A3B.



*Microfotografías de la muestra PC3-D2-A3B. A-B: alteración de óxidos en estructura dendrítica común en esta muestra. C-D: vista general de la muestra. E-F: detalle de gránulos presentes en los que destacan cuarzo y glauconita.*

### **28. Código: PC3-D2-A2.2cl**

**Fecha de recolección:** 15 de febrero 2022.

**Localidad:** Playa Muertos, Pochote, provincia de Puntarenas.

**Coordenadas:** 1077803.653 N / 391199.066 E

### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Roca color gris, de origen ígneo con textura porfírica, composición intermedia (50% de los componentes de grano fino son félsicos y 50% de contenido máfico), destacan minerales de color negro y con tamaño promedio de 1 mm correspondientes con piroxenos.



Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D2-A3B.

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca hipocristalina con textura microspínifex, compuesta en su totalidad por augita, la cual se dispone en estructuras plumosas en medio de las cuales se hallan minerales opacos y son interrumpidas por minerales de plagioclasa aculares distribuidos de manera aleatoria en distintas direcciones. Se encuentran algunos pseudomorfos, de los cuales únicamente se reconoce su forma, no se descarta la posibilidad de que sean plagioclasas.

### Composición mineralógica:

-Augita: por su disposición en estructuras plumosas, sus formas y ángulos de extinción son variables, sin embargo, también se hallan de manera acicular permitiendo distinguir augitas. Los minerales aciculares tienen un tamaño mínimo de 0.06 mm x 0.01 mm, promedio de 0.23 mm x 0.01 mm y máximo de 0.31 mm x 0.06 mm.

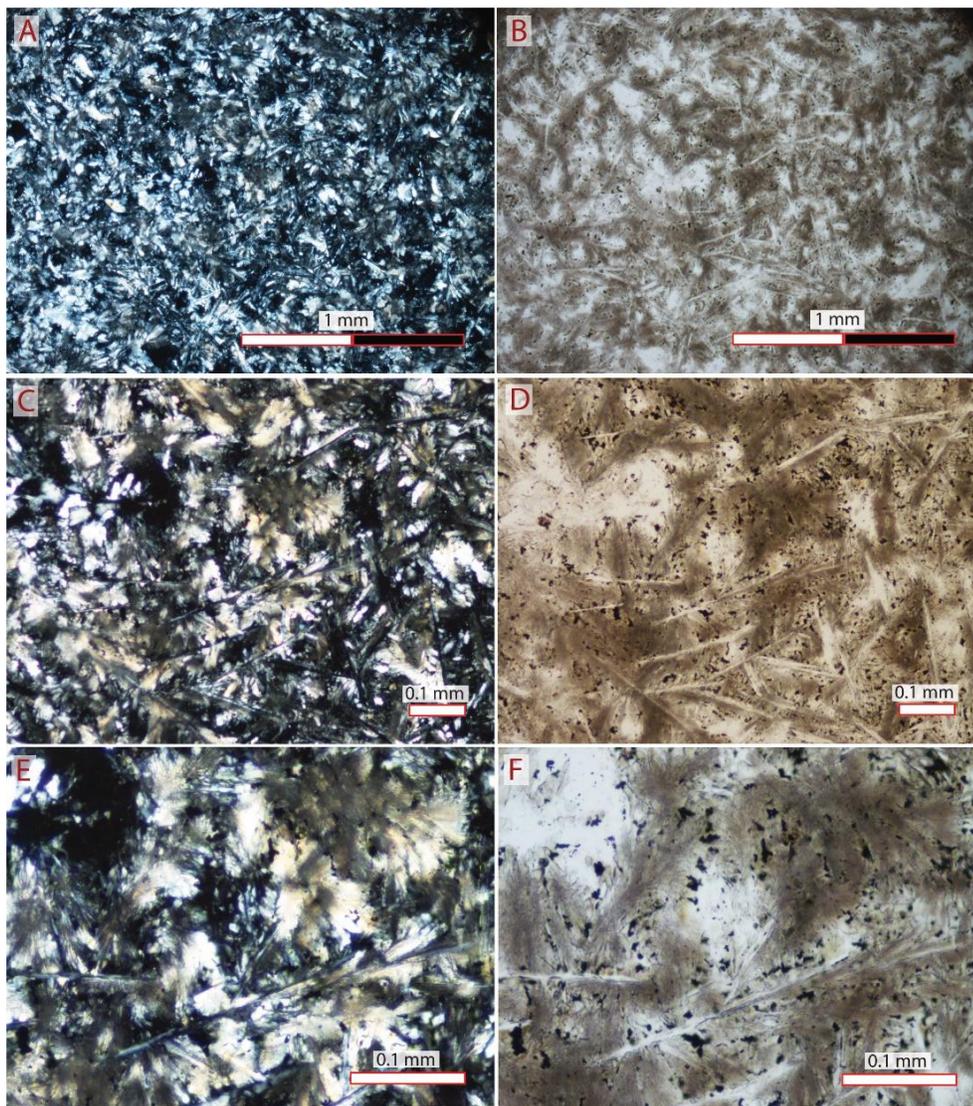
-Plagioclasa: en un porcentaje de abundancia muy bajo (5%) se encuentran solamente de manera acicular con tamaño promedio de 0.10 mm x 0.01 mm.

-Se estima aproximadamente un 1% de vidrio, un 15% de minerales opacos, 5% plagioclasas y un 79% de augitas.

-Por su característica textura microspínifex, no es posible determinar el contenido de anortita, ya que no se encuentran plagioclasas con maclas.

## CLASIFICACIÓN PC3-D2-A2.2cl: *Basalto.*

## MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA *PC3-D2-A2.2cl*



*Microfotografías de la muestra PC3-D2-A2.2 cl.*

## ***ANEXO 4***

---

*Descripciones petrográficas completas de muestras  
recolectadas en sitios ubicados en la hoja topográfica  
Venado*

---

## 29. *Código: PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T*

**Fecha de recolección:** 16 de febrero 2022.

**Localidad:** Sobre carretera 21. Colinas a la derecha de la carretera en sentido Jicaral-Paquera.

**Coordenadas:** 383348.561 E / 1101999.337 N.

**\*\*NOTA:** A partir de la muestra de mano con código PC3-D3-A2, se extraen dos secciones delgadas con la finalidad de extraer la mayor cantidad posible de información ya que la muestra se encuentra muy alterada y meteorizada.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha media constituida en un 15% por matriz y un 85% de clastos, se encuentra clasto soportada. La matriz es de color blanca y no genera reacción al HCl, su composición corresponde con un material arcilloso (posiblemente zeolitas). Los clastos son principalmente subangulosos, abarcan tamaños desde 1 mm hasta 1.9 cm x 1.4 cm, en promedio mantienen 0.5 cm x 0.4 cm, su composición no es distinguible macroscópicamente, se encuentran completamente alterados con coloraciones violáceas, verdes y beige.



*Fotografía de la muestra de mano con código PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T.*

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

#### Descripción general de las secciones

Corresponde con una brecha fina muy alterada y meteorizada de la cual se logra distinguir una abundancia de clastos del 70% en contraste con un 30% de matriz. Presenta una selección moderada, el soporte es variable, principalmente matriz soportada, sin embargo, en algunas partes se encuentra clasto soportada, por tanto, los contactos entre clastos también son variables desde flotantes, puntuales y hasta planos.

#### Descripción de la matriz

Los clastos se encuentran unidos por calcita mineral la cual ha reemplazado a la matriz original de la brecha. Asimismo, en medio de los clastos se encuentra una importante proporción de zeolitas

generadas como relleno de espacios vacíos por la disolución de los componentes originales, las cuales a su vez son interrumpidas por vetillas de calcita.

### **Descripción de clastos**

Los clastos distinguibles que se encuentran son de origen ígneo y algunos de composición silícea, se encuentran de manera esquelética alterados por óxidos e hidróxidos con coloraciones rojizas, y café amarillentas, con texturas masivas y granulares, estos relictos han sido agrupados en tres tipos:

**Tipo 1.** Relictos de origen ígneo, con coloraciones principalmente rojizas (en nícoles paralelos) y algunas café (nícoles cruzados), presentan textura masiva de la cual se distinguen minerales alargados y aciculares de plagioclasas constituyentes de un 8% del clasto, con tamaños promedio de 0.03 mm x 0.23mm. Se encuentran pseudomorfos de plagioclasas que fueron rellenas por zeolitas.

**Tipo 2.** Relictos de origen volcánico, con coloraciones amarillentas en nícoles cruzados y café en nícoles paralelos, presentan texturas masivas granulares, y contienen minerales de augita alterada (tamaño promedio de 0.05 mm x 0.05 mm) correspondientes con un 40% del total del clasto, un 2% corresponde con plagioclasa.

**Tipo 3.** Otro grupo de clastos que se encuentran dentro de la brecha corresponden con fragmentos de vidrio reconocibles por su alto relieve, coloración amarillenta y café.

**Tipo 4.** Remanentes de clastos con textura basáltica.

#### Tamaño promedio de clastos:

Los tamaños de los clastos o componentes son similares, en promedio se encuentran con tamaño de 0.83 mm x 0.52 mm.

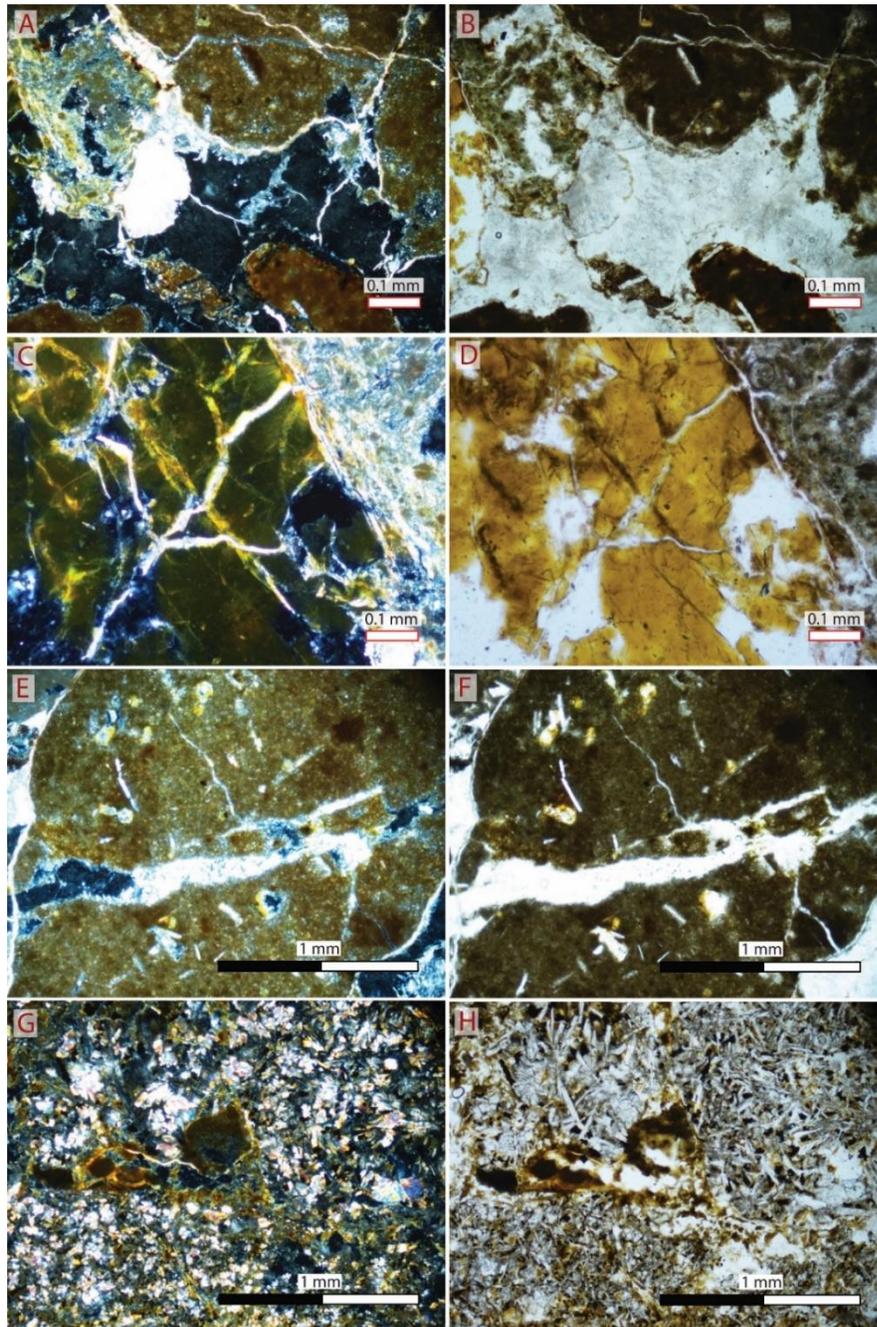
#### Porosidad:

Se encuentran un porcentaje importante (20%) de espacios vacíos generados por la disolución de los componentes, sin embargo, la mayoría han sido rellenos por zeolitas y cuarzo amorfo. Restando un 10% libre.

### **CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA PC3-D3-A2T y PC3-D3 A2T:**

#### **Brecha alterada de origen volcánico.**

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T.**



*Microfotografías de las muestras PC3-D3-A2L y PC3-D3-A2T. A-B: vista general de brecha en la que se observa el reemplazo de la matriz original por calcita cristalina y zeolita. C-D: fragmento de vidrio. E-F: clastos del tipo 2. G -H: clastos del tipo 1 en la parte superior y del tipo 4 en la esquina inferior izquierda.*

### 30. *Código: D1-PC4-A1*

**Fecha de recolección:** 11 de agosto 2022.

**Localidad:** Vainilla, Jicaral, Puntarenas.

**Coordenadas:** 1101117.448 N / 368090.157 E.

#### **DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

Roca color gris oscuro, de origen ígneo con textura afanítica. Presenta vetillas irregulares de sílex color rojo con espacios fracturados y con disoluciones o porosidades en algunos sectores alterados por óxidos de hierro.



*Fotografía de la muestra de mano con código D1-PC4-A1.*

#### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

Remanente de roca hipocrystalina xenomórfica compuesta por augita, plagioclasa y minerales opacos, en una textura glomeroporfirítica con matriz basáltica.

La roca presenta un alto grado de meteorización y alteración, en el que las plagioclasas originales ya no se encuentran, su lugar se hallan zeolitas y cuarzo mineral (este también se encuentra en algunas vacuolas sin rellenar, bordeando solamente sus límites). También presenta una importante proporción de alteraciones a clorita.

##### Composición mineralógica:

-Pseudomorfos de plagioclasa: estructuras tabulares alargadas y en formas aciculares sin orientación preferencial con tamaño mínimo de 0.08 mm x 0.01mm hasta 0.52 mm x 0.04 mm, sin embargo, estos han sido reemplazados por zeolitas.

-Augita:

Minerales xenomórficos con tamaño promedio de 0.05 mm x 0.03 mm.

-Minerales opacos:

Con tamaños de 1 mm x 1 mm, se encuentran con formas aciculares de 0.03 mm x 0.01 mm.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

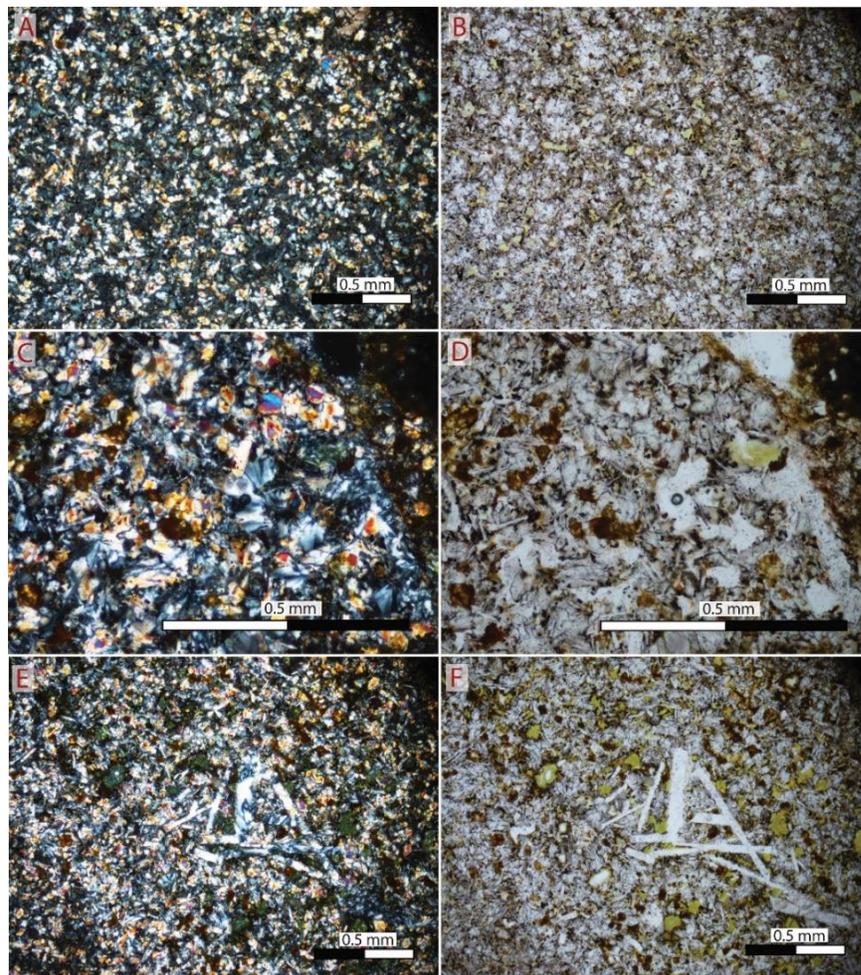
Mineral	Campo de visión								Promedio
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	
<b>Pseudo plagioclasas</b>	37	17	20	30	43	33	23.5	10	26.7%
<b>Augitas</b>	40	40	50	37	42	43	23.5	30	38.2%
<b>Clorita</b>	3	10	15	15	0	2	20	10	9.4%
<b>Opacos</b>	10	8	8	10	10	10	15	10	10.1%
<b>No reconocibles oxidación.</b>	5	20	5	5	2	5	15	38	11.8%
<b>Vidrio remanente</b>	5	5	5	3	3	5	3	2	3.8%

M = 48.3.

Recálculo de componentes: Q = 0%, A = 0%, P = 100%

**Clasificación: Basalto** (campo 10 diagrama Streckeisen).

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D1-PC4-A1.**



*Microfotografías de la muestra D1-PC4-A1. Vistas generales en las que se observan la alteración a clorita y reemplazo de plagioclasas a zeolitas en lo que corresponde a remanentes de una textura glomeroporfírica -basáltica.*

## 31. Código: D1-PC4-A3

**Fecha de recolección:** 11 de agosto 2022.

**Localidad:** Vainilla, Jicaral, Puntarenas.

**Coordenadas:** 1101224.102 N / 369187.213 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Roca de origen ígneo de color gris oscuro con textura porfirítica compuesta en un 60% por componentes máficos y 40% de félsicos con fracturas alteradas por oxidación. Destacan fenocristales de plagioclasa.



*Fotografía de la muestra de mano con código D1-PC4-A3.*

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca hipocristalina hipidiomórfica con textura basáltica, compuesta por plagioclasa, augita, vidrio y minerales opacos en una textura intergranular. Las plagioclasas se hallan de manera aleatoria y en medio de ellas se encuentran augitas xenomórficas y en estructuras subparalelas (similares a estructuras plumosas).

#### *Composición mineralógica:*

-Plagioclasa: se encuentran con formas hipidiomórficas tabulares alargadas de manera aleatoria, con tamaño mínimo de 0.05 mm x 0.015 mm, promedio de 0.14 mm x 0.015 mm y máximo de 0.37 mm x 0.04 mm, también se presenta de manera xenomórfica. Hay plagioclasa con maclas albita-carlsbad y con zonaciones discontinuas, así como extinciones ondulantes.

-Augita: se encuentra de manera xenomórfica principalmente, sin embargo, ocasionalmente se halla en conjunto con plagioclasas en estructuras subparalelas divergentes (similares estructuras plumosas), con tamaño mínimo de 0.04 mm x 0.03 mm, promedio de 0.05 mm x 0.15 mm y máximo de 0.20 mm x 0.15 mm.

-Minerales opacos: con formas cuadradas angulares principalmente, así como con formas alargadas con tamaño promedio de 0.03 mm x 0.02 mm

#### *Minerales de alteración*

Ocasionalmente se encuentra sericita alterando a las plagioclasas, así como oxidaciones de vidrio y alteraciones de epidota de piroxenos.

#### *Contenido de Anortita*

Angulo menor 25° y ángulo mayor 36°: Labradorita.

*Estimación semicuantitativa de componentes minerales*

Mineral	Campo de visión								
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	Promedio
<b>Plagioclasas</b>	35	45	47	60	35	35	27	40	40.5%
<b>Augitas</b>	30	35	30	25	45	37	40	35	34.63%
<b>Opacos</b>	15	5	5	10	10	10	10	10	9.37%
<b>No reconocibles oxidación.</b>	15	15	15	5	10	15	20	15	13.75%
<b>Vidrio</b>	5	0	3	0	0	3	3	0	1.75%

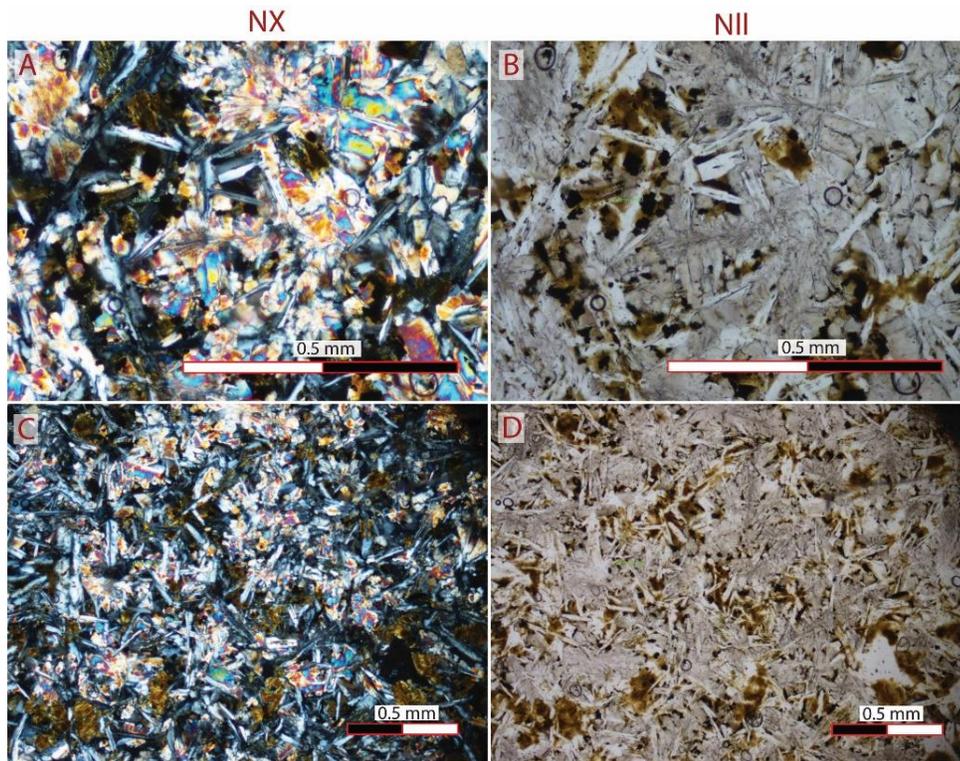
M  
=

44%

Recálculo de componentes: Q = 0%, A = 3.05%, P = 83.79%

**Clasificación: Basalto** (campo 10 diagrama Streckeisen).

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D1-PC4-A3.**



*Microfotografías de la muestra D1-PC4-A3. A-B: detalle de clinopiroxenos con textura similar a estructuras plumosas. C-D: vista general de la muestra con textura basáltica.*

## 32. Código: D1-PC4-A11

**Fecha de recolección:** 11 de agosto 2022.

**Localidad:** Santa Rosa, Jicaral, Puntarenas.

**Coordenadas:** 1097424.267 N / 380470.191 E.

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha fina, clasto soportada y constituida en un 15% por matriz, la cual se compone de minerales de alteración calcita-zeolita. El 80% de su constitución corresponde con clastos con tamaño desde 0.2 cm x 0.3 cm hasta 3 cm x 3 cm, la composición de la totalidad de clastos es basáltica, se hallan muy alterados con núcleos de oxidación rojiza.



Fotografía de la muestra de mano con código D1-PC4-A11.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Corresponde con una brecha media constituida en un 10% de matriz y un 80% de clastos, presenta un alto grado de alteración a óxidos.

#### Descripción de la matriz

La matriz original ha sido reemplazada por calcita mineral, se hallan algunos remanentes de vidrio con coloración verdosa, a partir de la cual puede inferirse que sería su composición primaria. Asimismo, no toda la fracción de la matriz se encuentra rellena con calcita, ya que se hallan espacios vacíos y con reemplazos de zeolitas.

**Porosidad:** no es posible distinguir porosidad primaria, sin embargo, se halla al menos un 15% de espacios y fracturas vacías.

**Tamaños de clastos:** clastos con tamaño mínimo de 1.5 mm x 2 mm, promedio de 4 mm x 3.5 mm y tamaño máximo de 0.9 cm x 0.65 cm.

**Grado de redondez y disposición:** principalmente subredondeados y algunos subangulares. En contactos puntuales y tangenciales-planares.

**Madurez composicional:** no se encuentran minerales libres en la matriz. Los clastos se encuentran completamente oxidados y algunos pseudomorfo minerales han sido reemplazados a con calcita mineral.

Se encuentran los siguientes tipos de clastos:

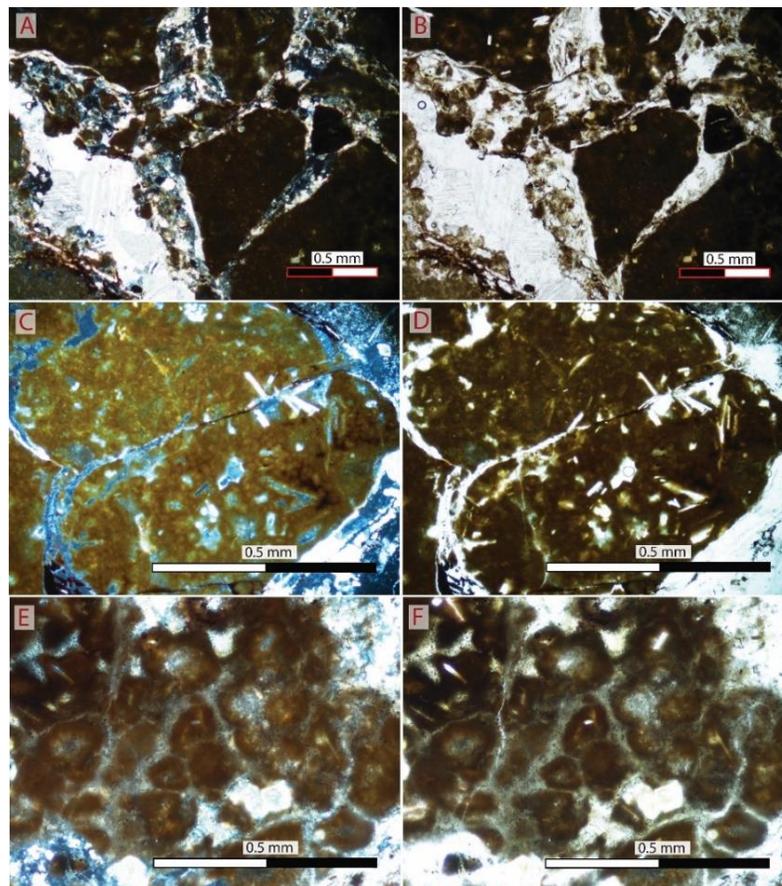
- 1- Remanentes de textura similar a esferolitas con coloraciones naranjas a rojizas y pseudomorfos de plagioclasas en un 3% las cuales han sido reemplazadas por cuarzo microcristalino.
- 2- Clastos remanentes con textura porfirítica compuesta por una matriz posiblemente hipocristalina de clinopiroxenos con pseudomorfos de fenocristales de plagioclasa, en general impregnado con cuarzo microcristalino.

Minerales de alteración-accesorios-secundarios:

La mayoría de los clastos se encuentran fracturados. Y la principal alteración corresponde con la oxidación, coloraciones cafés, naranja y rojizas. Asimismo, se hallan remplazos de calcita y zeolita (en muy baja proporción).

**CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA D1-PC4-A11: Brecha alterada de origen volcánico.**

**MICROFOTOGRAFÍAS DE LA MUESTRA D1-PC4-A11.**



*Microfotografías de la muestra D1-PC4-A11. A-B: vista general de la brecha en la que se observa el reemplazo de la matriz por calcita cristalina soportando clastos completamente oxidados. C-D: clastos del tipo 2. E -F: clastos del tipo 1.*