



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

INGENIERÍA GEOLÓGICA

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA EN LA ZONA COSTERA DE LAS PLAYAS
EL ASTILLERO, GUASACATE Y POPOYO DEL SUROESTE DE NICARAGUA”**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

Elaborado por:

1. Br. Judith Scarleth Almendarez Contreras.
2. Br. Jocelyne Margarita Campos Gutiérrez.
3. Br. Kristhiam Belen Torres Paredes.

Tutor: Msc. Gema Velásquez Espinoza.

Asesor: Msc. Xochilt Esther Zambrana Áreas.

Asesor Metodológico: Msc. Karen Acevedo.

Managua, 2020



Dedicado con mucho amor a Dios y a nuestros padres.

Agradecimientos.

A Dios primeramente por darnos vida, salud y la sabiduría para ejercernos profesionalmente.

A nuestros padres por brindarnos el apoyo y motivación durante nuestra formación académica.

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra asesora Msc. Xóchilt Esther Zambrana Áreas y a nuestra tutora Msc. Gema Velásquez Espinoza por su tiempo, dedicación y consejos durante esta investigación, y a todos nuestros maestros en general que formaron parte durante toda la carrera.

¡Muchas Gracias!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

Managua 10 de noviembre, 2020.

MSc. Elim Campos

Director
Departamento de Tecnología
Presente

Estimado Msc. Campos

El motivo de la presente es para comunicarle que he dirigido y revisado el trabajo de Seminario de Graduación elaborado por las Brs.: **Judith Scarleth Almendarez Contreras, Jocelyne Margarita Campos Gutiérrez y Kristhiam Belen Torres Paredes** de la carrera de Ingeniería Geológica de la UNAN-Managua. Dicho trabajo lleva por título "**Caracterización Geológica en la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo del Suroeste de Nicaragua**".

Dado lo anterior, ratifico que dicho trabajo contiene conocimientos que son científicamente aceptados y técnicamente prácticos, enmarcados en el tema.

Sin más a que referirme, me despido deseándole éxito en sus labores diarias.

Atentamente

MSc. Gema Velásquez Espinoza
Docente de la carrera de Ing. Geológica Departamento de
Tecnología/Facultad de Ciencias e Ingeniería

¡A la libertad por la Universidad!

Resumen

La provincia geológica del Pacífico coincide en gran parte con una cuenca de sedimentación conocida como “cuenca Sandino” ubicada entre la Depresión de Nicaragua donde se localiza el arco volcánico activo y la fosa Mesoamericana y continúa hacia el SE. La cuenca está rellena por depósitos sedimentarios constituyendo una secuencia de espesor mayor a los 10 km, incluyendo depósitos pelágicos y turbidíticos depositados durante el Cretácico-Paleoceno, y sedimentos someros depositados durante el Terciario (*Hodgson, 2000 p. 1*).

Mediante esta investigación académica se procuró caracterizar geológica y estructuralmente las zonas costeras de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo ubicadas en el municipio de Tola, departamento de Rivas al SW de Nicaragua, donde se describieron los afloramientos y de éstos se identificaron 7 unidades litológicas asociadas a un ambiente deposicional marino de edad del Terciario pertenecientes a la Formación Brito y posteriormente se elaboró una correlación litoestratigráfica.

Estructuralmente el área de estudio está sometida principalmente por fallas normales y lateral izquierda que van en dirección NE y EW las cuales están asociadas a las estructuras regionales, sin embargo están afectando a las rocas, ocasionando un alto grado de fracturamiento lo que provoca que éstas se desprendan con facilidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.	3
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	5
IV.	JUSTIFICACIÓN.	6
V.	OBJETIVOS.	7
	Objetivo General.....	7
	Objetivos Específicos	7
VI.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	8
VII.	MARCO TEÓRICO.....	12
	7.1. Marco Tectónico de Centroamérica y Nicaragua.....	12
	7.2. Geología Regional De Nicaragua.....	13
	7.3. Provincia de la Costa del Pacífico.	14
	7.4. Formación Rivas (Kr).	15
	7.5. Formación Brito (Te-b).	16
	7.6. MARCO CONCEPTUAL.	19
VIII.	HIPÓTESIS.	31
IX.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	32
	9.1. Tipo de estudio.....	32
	9.2. Área de estudio.....	32
	9.3. Universo y Muestra.	32
	9.4. Tipo de muestreo.	32
	9.5. Definición y Operacionalización de variables.	33
	9.6. Métodos, técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	34
	9.7. Procedimiento para la recolección de datos.	36
	9.8. Levantamiento Litológico.....	36
	9.9. Levantamiento Estructural.....	36
	9.10. Plan de análisis y procesamiento de los datos.....	37
X.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	38
	10.1. Playa El Astillero.....	38

10.1.1. Geología Local.	38
10.1.1.1. Litología.	39
10.1.1.1.1. Unidad de areniscas. (Teb-a).	39
10.1.1.1.2. Unidad de alternancia rítmica de lutitas con areniscas. (Teb-lu-a).	40
10.1.1.1.3. Unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas. (Teb-a-lu).	42
10.1.1.1.4. Suelo moderno (Hsm).	43
10.1.2. Geología Estructural.	45
10.1.2.1. Fallamiento Local.	45
10.1.2.1.1. Falla El Astillero	46
10.1.2.1.2. Fracturas.	46
Fracturas Paralelas.	46
Fracturas en abanico.	47
Fracturas escalonadas o en échelon.	48
10.2. Playa Guasacate.	49
10.2.1. Geología Local.	49
10.2.1. Litología.	50
10.2.1.1. Unidad de arenisca (Teb-a).	50
10.2.1.2. Unidad de alternancia rítmica de areniscas-lutitas (Teb-a-lu).	53
10.2.1.3. Unidad de arenisca de grano grueso (Teb-a).	54
10.2.1.4. Suelo moderno (Hsm).	55
10.2.2. Geología estructural.	57
10.2.2.1. Fallamiento local.	57
10.2.2.1.1. Falla Guasacate 1.	57
10.2.2.1.2. Falla Guasacate 2.	58
10.2.2.1.3. Fracturas.	59
10.3. Playa Popoyo.	61
10.3.1. Geología Local.	61
10.3.1.1. Litología.	62
10.3.1.1.1. Unidad de areniscas de grano fino a medio (Teb-a).	62
10.3.1.1.2. Unidad de lutita de grano fino (Teb-lu).	63
10.3.1.1.3. Unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas (Teb-a-lu).	63
10.3.1.1.4. Unidad de areniscas de grano medio (Teb-a).	64

10.3.1.1.5. Unidad de conglomerado (Teb-Con).....	65
10.3.1.1.6. Suelo moderno (Hsm).....	65
10.3.2. Geología estructural.	67
10.3.2.1. Fallamiento local.	67
10.3.2.1.1. Falla Popoyo.	67
10.3.2.1.2. Fracturas.	68
10.4. Correlación Estratigráfica.....	72
XI. CONCLUSIONES.....	74
XII. RECOMENDACIONES.	75
XIII. BIBLIOGRAFÍAS.....	76
XIV. ANEXOS.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de vías de acceso desde la ciudad de Managua hasta las playas en estudio.	9
Figura 2. Localización del área de estudio: A. República de Nicaragua, Departamento de Rivas. B. Departamento de Rivas, Municipio de Tola. C. Zona Costera del Municipio de Tola, las estrellas representan las playas estudiadas... 10	10
Figura 3. Mapa Tectónico de América Central y de placas relacionadas. Las flechas indican la dirección de subducción de la placa Coco bajo la placa Caribe, así como su velocidad. (Frishbutter, 2002).....	13
Figura 4. Mapa de las provincias de Nicaragua (Glen Hodgson, Ministerio de Energía y Minas, MEM., 1998).....	14
Figura 5. Clasificación de las rocas sedimentarias detríticas. (Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.).....	19
Figura 6. Clasificación de las Rocas Sedimentarias químicas. (Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005).....	20
Figura 7. Esta roca, denominada coquina, consiste en fragmentos de conchas; por consiguiente, tiene un origen bioquímico. (Foto de E. J. Tarbuck).....	20
Figura 8. Estratos Sedimentarios. (Google, 2020).	21
Figura 9. Ambientes sedimentarios. (Cahuao Laura, Daza Adrian., 2018).	23
Figura 10. Ambientes marinos según su profundidad y distancia. (W. Griem., 2020).	24
Figura 11. Litofacies y Biofacies. (Campos Emiliano, Facies Sedimentarias).....	25
Figura 12. Representación de una columna litológica. (W. Griem., 1999-2016)... 25	25
Figura 13. Deformación de la corteza terrestre provocada por las fuerzas tectónicas y los esfuerzos asociados resultantes del movimiento de las placas litosféricas/Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.	26
Figura 14. Bloque diagrama de los principales tipos de estratos plegados/Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.	27
Figura 15. Bloques diagrama que ilustra una falla normal. A. Estratos rocosos antes de la falla. B. Movimiento relativo de los bloques desplazados. El desplazamiento puede continuar formando un relieve montañoso limitado por fallas a lo largo de millones de años y que representa muchos episodios de fracturación espaciados en el tiempo. C. Cómo puede la erosión modificar el bloque levantado. D. Finalmente	

el período de deformación acaba y la erosión se convierte en el proceso geológico dominante/ Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.....	28
Figura 16. Bloque diagrama que muestra el movimiento/Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.....	28
Figura 17. Bloque diagrama que ilustra las figuras asociadas con las fallas con desplazamiento horizontal/Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.....	28
Figura 18. Rumbo, Buzamiento, Dirección de la inclinación. (W. Griem, 2018)....	29
Figura 19. Arreglos diversos de fallas. Tomada de Davis y Reynolds (1996).	29
Figura 20. Distintos tipos de fracturas secundarias asociadas a un plano de falla principal M. Las fallas Riedel sintéticas y antitéticas de bajo y alto ángulo respecto del movimiento a lo largo del plano de falla principal, son R y R'. Las fracturas de tensión son T. Las fallas P presentan bajo ángulo respecto del plano principal pero opuesto a la orientación de R.....	30
Figura 21. Columna litológica de playa El Astillero.	44
Figura 22. Diagrama de roseta de playa El Astillero.	49
Figura 23. Columna litológica de playa Guasacate.	56
Figura 24. Diagrama de roseta de playa Guasacate.....	61
Figura 25. Columna litológica de playa Popoyo.	66
Figura 26. Diagrama de roseta de playa Popoyo.	70
Figura 27. Mapa geológico de la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.	71
Figura 28. Correlación Estratigráfica de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.	73

ÍNDICE DE FOTOS

Fotografía 1. Bahía El Astillero.....	38
Fotografía 2. A) Base del afloramiento constituido por arenisca (Teb-a). B) Laminación convoluta con presencia de fracturas rellenas con carbonato de calcio. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.....	39
Fotografía 3. Unidad de alternancia rítmica de lutitas y arenicas (Teb-lu-a) altamente fracturadas y meteorizadas ubicado en las coordenadas UTM 1273606N-589855E.	40
Fotografía 4. A) Sucesión rítmica de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) presentando laminación paralela. B) y C) Capa representativa de arenisca de la unidad (Teb-lu-a) donde se distingue una estructura de carga. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.....	41
Fotografía 5. Lente de conglomerado en la unidad de alternancia rítmica de lutitas y areniscas (Teb-lu-a). Coordenadas UTM 1273606N-589855E.....	42
Fotografía 6. Unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas (Teb-a-lu) ubicado en la parte superior del afloramiento. Coordenadas 1273606N-589855E.	42
Fotografía 7. Suelo moderno (Hsm) con abundante vegetación. Coordenadas 1273606N-589855E.....	43
Fotografía 8. Capa más representativa de arenisca de la unidad (Teb-lu-a). A) Foto sin editar. B) Apreciación del desplazamiento de los estratos, en la cual se generó un sigmoide y una fractura secundaria T producto del movimiento de la falla principal. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.....	46
Fotografía 9. Fracturas paralelas rellenas de carbonato de calcio, al lado derecho se aprecia la falla principal con dirección SW en la unidad de arenisca. Coordenadas	47
Fotografía 10. Fracturas con terminación en abanicos rellenos de carbonato de calcio en dirección NE. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.....	47
Fotografía 11. Fracturas escalonadas o en échelon en la unidad de alternancia de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) en dirección NE. En la imagen se observa un mini graben. Coordenadas 1273606N-589855E.	48
Fotografía 12. Playa Guasacate.....	50
Fotografía 13. Unidad de areniscas de grano fino a medio. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	50

Fotografía 14. Estructuras en Slumps encontrados en la unidad de areniscas de grano fino a medio Coordenadas: 1268541N-594178E.....	51
Fotografía 15. Imbrincación de clastos en la unidad de areniscas de grano fino a medio. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	52
Fotografía 16. Fósiles de la especie nummulites encontrados en la unidad de areniscas de grano fino a medio. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	52
Fotografía 17. Unidad de arenisca con intercalación de lutita (Teb-a-lu). Coordenadas: 1268541N-594178E.....	53
Fotografía 18. Laminación convoluta en la unidad de arenisca con intercalación de lutita (Teb-a-lu). Coordenadas: 1268541N-594178E.	53
Fotografía 19. Unidad de arenisca de grano grueso. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	54
Fotografía 20. Meteorización esferoidal en la unidad de arenisca de grano grueso. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	54
Fotografía 21. Estructura sedimentaria conocida como burrow o galerías encontradas en la unidad de arenisca de grano grueso (Teb-a). Coordenadas 1268541N-594178E.....	55
Fotografía 22. Secuencia de todas las unidades encontradas. El techo del afloramiento es el suelo moderno (Hsm). Coordenadas: 1268541N-594178E.....	55
Fotografía 23. Falla lateral izquierda, la línea roja representa la falla, las figuras romboides en color negro representan los sigmoides, la línea amarilla divide las unidades geológicas. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	57
Fotografía 24. Falla lateral izquierda, la línea roja indica el plano de falla y el sentido de movimiento. Coordenadas: 1268541N-594178E.	58
Fotografía 25. Estructura sigmoidal encontrada en la falla lateral. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	58
Fotografía 26. Fracturas paralelas representadas por las líneas de color rojo. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	59
Fotografía 27. Fracturas conjugadas representadas por las líneas rojas, las líneas amarillas marcan el límite de las unidades a las que están afectando. Coordenadas: 1268541N-594178E.....	59
Fotografía 28. Fractura rellena de carbonato de calcio encontrada en la unidad de arenisca de grano fino (Teb-a). Coordenadas: 1268541N-594178E.....	60
Fotografía 29. Playa Popoyo.....	62

En playa Popoyo se identificaron 6 unidades litológicas las cuales se describen a continuación:.....	62
Fotografía 30. Unidad de areniscas de grano fino a medio (Teb-a) (base del afloramiento). Coordenadas 1266169N-597676E.....	62
Fotografía 31. A) Unidad de lutitas de grano fino (Teb-lu). B) Lutitas con laminación paralela. Coordenadas 1266169N-597676E.....	63
Fotografía 32. A) Unidad de areniscas y lutitas (Teb-a-lu). B) Alternancia de arenisca y lutita (Teb-a-lu) con fracturas rellenas de CaCo ₃ en el afloramiento. Coordenadas 1266169N-597676E.....	64
Fotografía 33. Laminación convoluta presente en la unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas (Teb-a-lu). Coordenadas 1266169N-597676E.....	64
Fotografía 34. Unidad de areniscas de grano medio (Teb-a). Coordenadas 1266169N-597676E.	64
Fotografía 35. Unidad de conglomerado ubicado en las coordenadas 1266169N-597676E.....	65
Fotografía 36. Suelo Moderno (Hsm). Coordenadas 1266169N-597676E.	65
Fotografía 37. A) Capas desplazadas verticalmente, B) Movimiento lateral de los bloques con presencia de una estructura sigmoidal. Coordenadas 1266169N-597676E.....	68
Fotografía 38. Sistema de fracturas conjugadas en la unidad de areniscas de la base del afloramiento. Coordenadas 1266169N-597676E.	68
Fotografía 39. Fractura con terminación de abanico rellena de CaCo ₃ cristalizado en la unidad de arenisca y lutita (Teb-a-lu). Coordenadas 1266169N-597676E... 1266227N	69 83
Fotografía 40. Levantamiento de datos en Playa Popoyo.....	84
Fotografía 41. Levantamiento de datos en playa Popoyo.	84
Fotografía 42. Levantamiento de datos en playa Popoyo.	84
Fotografía 43. Levantamiento de datos en playa Guasacate.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las Estructuras Sedimentarias. Modificado de Pettijohn por Montilla (2002).	22
Tabla 2. Definición y Operacionalización de las variables.	33
Tabla 3. Rangos de fracturas tomadas en playa El Astillero.	48
Tabla 4. Rangos de fracturas tomadas en playa Guasacate.	60
Tabla 5. Rangos de fracturas tomadas en playa Popoyo.....	69
Tabla 6. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa El Astillero.	80
Tabla 7. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa Guasacate.....	81
Tabla 8. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa Guasacate.....	82
Tabla 9. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa Popoyo.....	83
Tabla 10. Ficha de campo utilizada para describir las fallas en playa El Astillero.	84
Tabla 11. Ficha de campo utilizada para describir las fallas de Playa Guasacate.	84
Tabla 12. Ficha de campo utilizada para describir las fallas de Playa Guasacate.	84
Tabla 13. Ficha de campo utilizada para describir las fallas de Playa Popoyo.	84
Tabla 14. Ficha utilizada en campo para describir las fracturas en playa El Astillero.	84
Tabla 15. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas en playa El Astillero.	84
Tabla 16. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Guasacate.	84
Tabla 17. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Guasacate.	84
Tabla 18. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Popoyo.	84
Tabla 19. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Popoyo.	84

I. INTRODUCCIÓN.

Las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo se ubican en el municipio de Tola, departamento de Rivas el cual se encuentra en la provincia del Pacífico de Nicaragua que coincide con una cuenca de sedimentación conocida como “cuenca Sandino”, geológicamente el departamento de Rivas se encuentra en un ambiente volcánico sedimentario, definido así porque se ubica en el arco volcánico activo y por presentar sistemas depositacionales de aguas profundas y de aguas someras.

La componente compresiva producida por la convergencia de las placas Coco y Caribe, han formado un sistema de anticlinales (anticlinales de Rivas, La California y en el área de la plataforma) y fallas que se ubican paralelos a la fosa, con tendencia NW-SE (*Darce y Duarte, 2002, p. 2*).

El principal objetivo de esta investigación es caracterizar geológicamente la zona costera de las playas antes mencionadas, debido a que no hay una información geológica a detalle en esta área, la cual es fundamental porque va a permitir realizar otras investigaciones a futuro.

En el área de estudio predominan sedimentos de edad del Terciario pertenecientes a la formación Brito la cual se compone de una sucesión de sedimentos volcanoclásticos y carbonatos detríticos y está compuesta esencialmente de calizas, margas y lutitas de color café ocre con intercalaciones de capas de arenas feldespáticas y cuarzosas, además de brechas y conglomerados con algunas intercalaciones de calizas en la parte Superior e Inferior, así como un marcado intemperismo esferoidal en las areniscas (*Darce y Duarte, 2002, p. 7 y 8*).

En base a los resultados obtenidos en campo se levantó una columna litoestratigráfica por cada playa y se correlacionaron las unidades encontradas, las cuales pertenecen a la formación Brito presentando en su mayoría areniscas y lutitas con presencia de estructuras sedimentarias y estructuras geológicas tales como fallas normales y laterales con indicadores cinemáticos y con diferentes arreglos de fracturas provocadas por los esfuerzos compresivos y extensivos.

También se realizó un mapa geológico general representando las formaciones y estructuras geológicas presentes en el área de estudio.

Este documento se divide en tres partes, iniciando con la parte introductoria donde se describen los estudios anteriores relacionados a nuestra investigación, la ubicación y generalidades de área de estudio con los objetivos propuestos y conceptos teóricos enfocados con la investigación. La segunda parte abarca la metodología que se empleó para llevar a cabo el estudio siguiendo con los análisis y resultados. Y la parte final está constituida por las conclusiones, recomendaciones, bibliografías que se consultaron y finalizando con los anexos.

II. ANTECEDENTES.

No existe estudios que caractericen de forma local la geología de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo, sin embargo, existen trabajos previos de carácter regional que describen la zona de estudio, los cuales se mencionarán a continuación en orden desde el más antiguo hasta el más reciente:

Paz Rivera (1965) realizó un “*Informe Preliminar sobre un Reconocimiento Geológico en la Costa del Pacífico de Nicaragua*”, contribuyó al reconocimiento geológico de las condiciones estratigráficas y estructurales que prevalecen en la zona del Pacífico. Este estudio fue de base para conocer las formaciones geológicas, tipos de rocas y estructuras predominantes cercanas a las zonas de estudio.

Servicio Geológico Nacional (1970) llevó a cabo el “*Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua*”, en el cual se describen las principales formaciones geológicas de manera regional. Esta investigación aportó para la identificación de las formaciones que se encuentran en la zona de estudio.

Kuang (1971) “*Estudio geológico del Pacífico de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos naturales, División de Geología, Informe, Geología 3, 1-101*”. Donde se hace una descripción detallada de la fisiografía, estratigrafía, litologías, las estructuras tectónicas, la geomorfología, estimación y posibles reservas en cada una de las formaciones del pacífico. Este antecedente proporcionó información para conocer la geología general del sitio de estudio.

Marín (1972) “*Geología de la Región Pacífica de Nicaragua. Depto. De Suelos y Dasonomía de catastro e inventario de Recursos Naturales*”. Managua 1972. Donde se presenta una síntesis de la geología y estratigrafía de la región del Pacífico nicaragüense, mostrando las estructuras conforme a la geomorfología de la región, generada por las distintas propiedades de cada litología, las cuales se presentan de manera dispersa en toda la Cuenca Sandino. Este escrito aporta información geológica detallada de la formación existente en el área de estudio.

Kumpulainen (1995) en su estudio “*Stratigraphy And Sedimentology In Western Nicaragua*” describen la estratigrafía y sedimentología de la parte

occidental de Nicaragua. El análisis estructural en las rocas sedimentarias de la costa Pacífica de Nicaragua detecta el primer período de deformación. Plegamiento a lo largo del eje NW-SE, (posible) empuje, levantamiento, inclinación hacia el océano y erosión de la secuencia estratigráfica que tiene lugar en el mioceno tardío. Esta investigación brindó información sobre la geología estructural de forma general en las rocas sedimentarias de las Formaciones de la Cuenca Sandino.

Astorga (1998) *“Geodinámica de las cuencas del cretácico superior – paleógeno de la región “forearc” del sur de Nicaragua y sur de Costa Rica”*. Rev. Geol. Amer. Central 9: 1-40, San José Costa Rica 1998. Donde estudia las relaciones de depositación de las cuencas sedimentarias desde el cretácico sup. – paleoceno. Se divide en cinco sistemas deposicionales. 1. Predominancia de sedimentación pelágica – hemipelágica a lo largo del cretácico hasta el maastrichtiano inferior. 2. Depositación local de sedimentos turbidíticos gruesos, asociados al relieve oceánico del cretácico. 3. Implantación de sedimentos turbidíticos a partir del maastrichtiano. 4. Erosión en dos cuencas alargadas a lo largo del paleoceno, como producto del arco volcánico moderno. 5. El patrón sedimentario cambia radicalmente a partir del levantamiento tectónico. Este tratado aporta información para conocer el tipo de ambiente sedimentario en el que fueron depositados los sedimentos de las áreas estudiadas.

(Artiles et al., 2008, julio) *“The Petroleum System in the Sandino Forearc Basin, Offshore Western Nicaragua”*, hablan sobre los aspectos geológicos y estratigráficos de la Cuenca Sandino ubicada en el antearco de Centroamérica que se extiende desde México hasta el istmo Centroamericano. La cuenca Sandino cubre la actual costa llanura, plataforma continental y talud oeste de Nicaragua y NW Costa Rica. En general, la sucesión de la cuenca es de unos 10 km de espesor, pero en las partes central y norte de la cuenca, los espesores sedimentarios superan localmente los 13 km. Este estudio contiene información del tipo de litología de las Formaciones presentes en las zonas de estudio.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La zona de investigación desde el contexto geológico se localiza en el Margen del Pacífico de Nicaragua, una de las áreas del país más propensa a la ocurrencia de fenómenos geológicos tales como; sismicidad, inundaciones, tsunami e inestabilidad de laderas que podrían afectar a las poblaciones cercanas al área de estudio.

En la actualidad no se cuenta con estudios geológicos locales a detalle que permita caracterizar la geomorfología, litología, patrones de estructuras de fallas y facturas en las zonas costeras del área de trabajo, sólo se dispone de investigaciones regionales sobre la Cuenca ante-arco Sandino.

¿Por qué no hay un estudio geológico a detalle de estas playas que permitan el desarrollo de estudios de amenazas geológicas, hidrogeológicas y la exploración de recursos de hidrocarburos?

IV. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación se realizó en la zona costera del municipio de Tola en las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo, el propósito de este estudio se debe a que esta zona carece de información geológica detallada.

Sin embargo, la necesidad de hacer un estudio que demuestre las unidades litológicas y un patrón estructural es fundamental para el desarrollo de estudios de amenazas geológicas, hidrogeológicas y la exploración de recursos de hidrocarburos.

Esta investigación académica estará disponible para estudiantes y académicos que soliciten información geológica-estructural de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo del municipio de Tola, y para las autoridades gubernamentales y privadas que requieran proponer diferentes proyectos, también para base del ordenamiento territorial, expansión de la mancha urbana y de beneficio a la población de la zona costera.

V. OBJETIVOS.

Objetivo General:

Caracterizar la Geología de la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo del Suroeste del Pacífico de Nicaragua.

Objetivos Específicos:

1. Describir las unidades litológicas en los afloramientos para proporcionar la columna litológica de las áreas de estudio.
2. Presentar la correlación estratigráfica a partir de las columnas litológicas de las áreas a investigar.
3. Realizar levantamientos de estructuras geológicas para proponer un patrón estructural predominante en los afloramientos de las zonas de investigación.

VI. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Rivas, municipio de Tola. Dicha investigación incluye las playas: (El Astillero, Guasacate y Popoyo). El municipio de Tola se encuentra a 124 Km de la ciudad de Managua y a 14 Km del departamento de Rivas. A continuación, se detallará la ubicación de las playas (Figura 1).

El Astillero:

El Astillero es una playa que se encuentra ubicada en el Departamento de Rivas al Noroeste del Municipio de Tola aproximadamente a 40 km de distancia, y a 107 km (Google Maps) de la ciudad de Managua, en la hoja topográfica 2950-I según la tercera edición de la actualización topográfica de Managua realizada por INETER en 1998 a escala 1:50000 (Figura 2).

Vías de Acceso

Para acceder a playa El Astillero desde Managua, se viaja por la carretera Panamericana hasta tomar un desvío en Ochomogo. Otra vía de acceso puede ser partiendo desde el Municipio de Tola continuando las playas y al llegar a la carretera costanera se continúa hacia el Norte hasta llegar al pueblo pesquero de El Astillero (Figura 1 A).

Guasacate:

Es una playa turística que está localizada en el departamento de Rivas, aproximadamente a 33 km (Google Maps) del municipio de Tola y a 106 km (Google Maps) de la ciudad de Managua, en la hoja Topográfica 2950-II según la tercera edición de la actualización topográfica de Managua realizada por INETER en 1998 a escala 1:50000 (Figura 2).

Vías de Acceso

Para llegar a playa Guasacate, partiendo desde la ciudad de Managua, se viaja por la carretera Panamericana hasta tomar un desvío en Ochomogo. Otra manera de llegar es partiendo desde el municipio de Tola continuando el camino hacia las playas, hasta llegar a Guasacate (Figura 1 B).

Popoyo:

Playa Popoyo se encuentra ubicada en el departamento de Rivas, municipio de Tola aproximadamente a 32 km de distancia (Google Maps). Es una de las playas más extensas del litoral pacífico, con una extensión de 2.1 kilómetros de longitud (Travel Guide Nicaragua). Desde la ciudad de Managua hasta playa Popoyo hay una distancia aproximadamente de 105 km (Google Maps), en la hoja Topográfica 2950-II según la tercera edición de la actualización topográfica de Managua realizada por INETER en 1998 a escala 1:50000 (Figura 2).

Vías de Acceso

Para acceder a playa Popoyo, desde Managua, se viaja por la carretera Panamericana hasta tomar un desvío en Ochomogo, otra manera de llegar puede ser partiendo desde el Municipio de Tola continuando el camino hacia las playas hasta llegar a Popoyo (Figura 1 C).

Playa El Astillero tiene una longitud de aproximadamente 4 km, playa Guasacate 1 km y playa Popoyo 2 km, sumando un total de 7 km de costa.

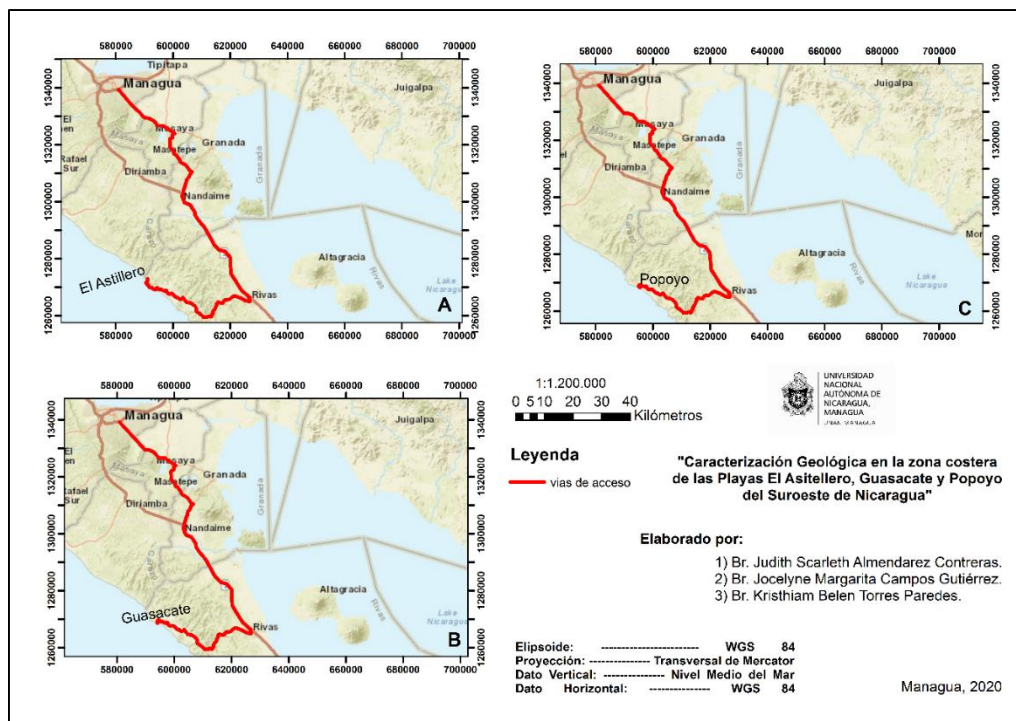


Figura 1. Mapa de vías de acceso desde la ciudad de Managua hasta las playas en estudio.

Mapa de localización

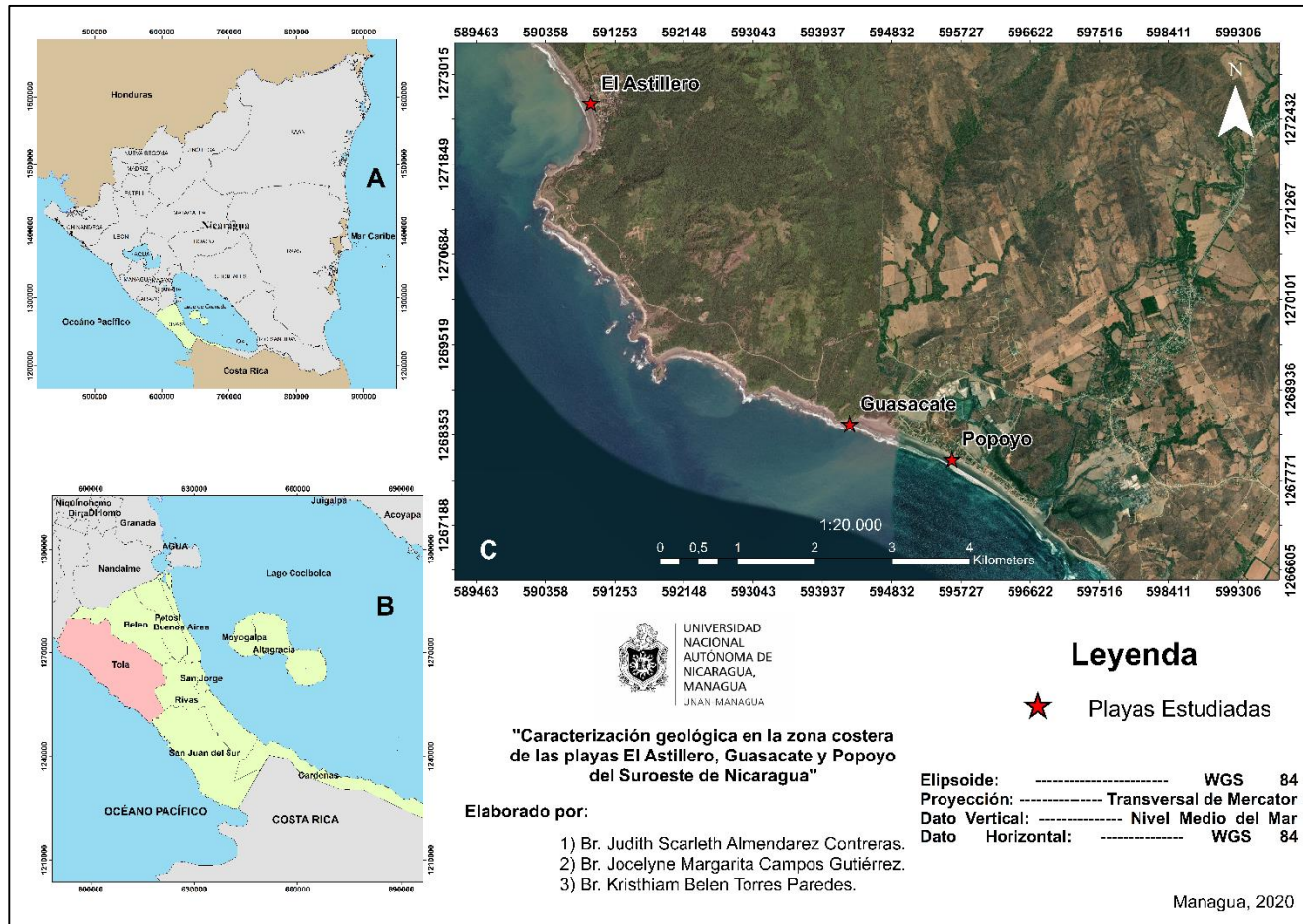


Figura 2. Localización del área de estudio: A. República de Nicaragua, Departamento de Rivas. B. Departamento de Rivas, Municipio de Tola. C. Zona Costera del Municipio de Tola, las estrellas representan las playas estudiadas.

6.1. Generalidades del área de estudio.

El municipio de Tola, se caracteriza por presentar un territorio constituido por serranías de mediana altura, las que forman crestas agudas en el relieve, con un flanco que mira al Pacífico muy tendido y un flanco frontal de mayor pendiente, como producto de la configuración morfoestructural del área. La altura de la zona de serranías puede llegar a los 447 msnm, siendo el Cerro de la Mohosa el punto de mayor elevación dentro de la comarca (*SINAPRED, 2005*).

Su red hidrográfica principal está formada por los ríos Sánchez, Chacalapa, Nancimí, Grande, Las Salinas, Limón y Brito, los que son de corta trayectoria, con nacientes en la zona serrana y con cursos rectilíneos terminan desembocando en el Pacífico (*SINAPRED, 2005*).

Este municipio es amenazado por desastres naturales o huracanes, los eventos de inundación son una de las mayores amenazas de carácter natural que afecta a este municipio. Es provocado fundamentalmente por los procesos de mareas en la región costera donde desembocan estos cursos hídricos, lo que origina que ante situaciones de nivel del mar alto o mareas fuera de lo normal, los ríos no logren desaguar, con lo que se producen reflujos hacia el interior de los cauces, los que elevan su nivel e inundan las terrazas fluviales, con diferente intensidad (*SINAPRED, 2005*).

La topografía del terreno y sus cortas trayectorias permite que estos ríos presenten crecidas súbitas en cortos períodos lluviosos, lo que representa una de las mayores amenazas en el municipio (*SINAPRED, 2005*).

VII. MARCO TEÓRICO.

7.1. Marco Tectónico de Centroamérica y Nicaragua.

América Central se localiza en la Placa Caribe entre las Placas de Norteamérica y Sudamérica, las cuales involucran el movimiento de las Placas de Cocos y Nazca (*Case et al., 1984*). Centroamérica está dividida en tres bloques tectónicos: Bloque Chortis, Bloque Chorotega y Bloque Maya.

Nicaragua al igual que el resto de Centro América, se ubica en el margen oeste de la placa caribe de corteza continental, la cual se encuentra en contacto con la Placa de Cocos, de corteza oceánica, en un proceso tectónico de subducción. La Fosa Mesoamericana marca el contacto entre estas placas. La dirección de subducción de la Placa de Cocos por debajo del margen Pacífico de la Placa Caribe, es ligeramente oblicua respecto al límite de placa que subduce con una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 y 220 km (*Burbach, 1984* y *Protti, 1993*).

Las velocidades estimadas de subducción varían de 70 a 80 mm/año (*Frischbutter, 2002*). Como consecuencia de esta subducción se origina la Depresión de Nicaragua, definida por una zona alargada y paralela a la Fosa Mesoamericana (Figura 3).

Según algunos autores (*McBirney et al., 1965*), esta Depresión empezó a formarse a finales del Cenozoico, producto de los esfuerzos de tensión local que actúan en la cresta de un geoanticlinal, como consecuencia de la compresión regional que existe sobre la Fosa Mesoamericana. A finales del Plioceno, en el extremo noroeste de la Depresión, inicia el vulcanismo que dio origen a la Cadena Volcánica de América Central, cuya porción nicaragüense se extiende desde volcán Cosigüina en el norte, hasta el volcán Maderas en el sur.

El material fundido de la Placa de Cocos asciende casi verticalmente penetrando la Placa Caribe, formando así la Cadena Volcánica Nicaragüense, a lo largo de una línea casi recta y paralela con una distancia promedio de 200 km de la Fosa Mesoamericana (*Molnar, y Sykes, 1969*).

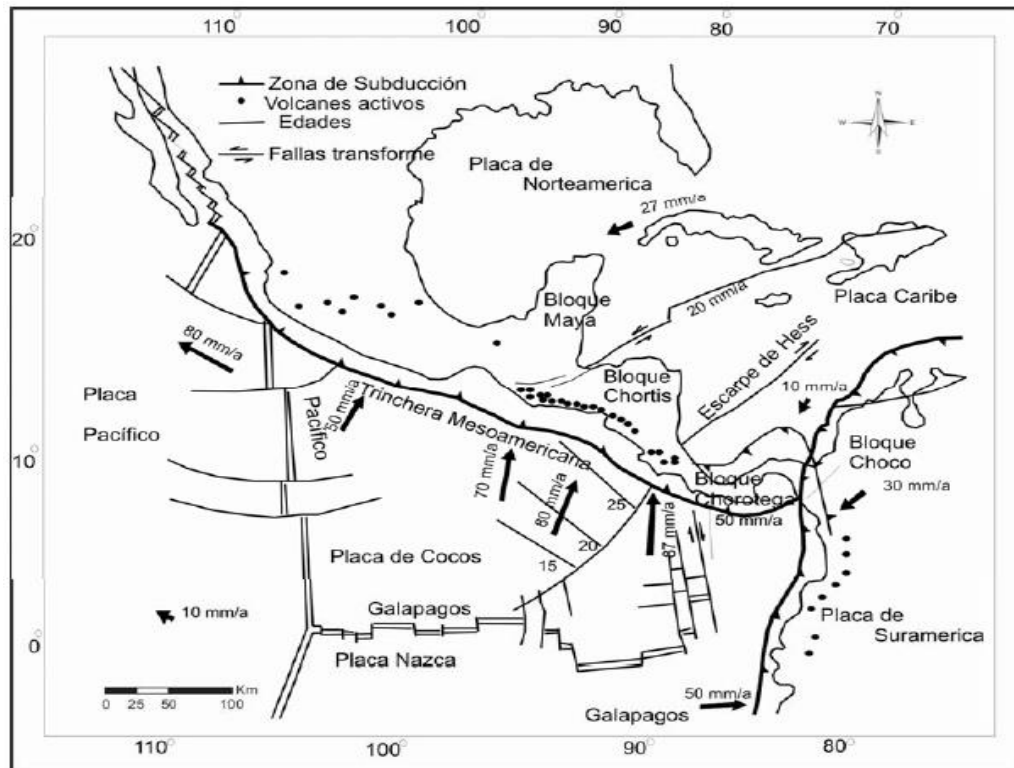


Figura 3. Mapa Tectónico de América Central y de placas relacionadas. Las flechas indican la dirección de subducción de la placa Cocos bajo la placa Caribe, así como su velocidad. (Frishbutter, 2002).

7.2. Geología Regional De Nicaragua.

McBirney, A., y Williams, H. (1965) dividen a Nicaragua en cuatro Provincias Geológicas; posteriormente Hodgson, G., (2000) agrega una provincia, quedando dividido el territorio nicaragüense oficialmente en cinco Provincias Geológicas: (Figura 4)

- a) Provincia de la Costa de Pacífico
- b) Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica
- c) Provincia Central
- d) Provincia del Norte
- e) Provincia de la Depresión de Nicaragua o Graben de Nicaragua

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia del Pacífico que se describirá a continuación:

7.3. Provincia de la Costa del Pacífico.

Se trata de una franja estrecha delimitada a lo largo de la costa del pacífico, desde Corinto en el norte hasta la frontera sur con Costa Rica, tiene de 10 a 35 Km de ancho, litológicamente se caracteriza por sedimentos de edad cretácica con aporte de material volcánico depositados en una cuenca de subsidencia de ambiente nerítico y deltaico, alcanzando un espesor aproximado de 820m. (Kuang, 1971).

Esta provincia está constituida por seis formaciones geológicas de diferentes edades, las cuales son: Formación Rivas (Cretácico Superior), Formación Brito (Eoceno), Formación Masachapa (Oligoceno), Formación El Fraile y Tamarindo (Mioceno) y Formación El salto (Plioceno) (Zoppis B. y Del Guidice, 1958).

Geomorfológicamente esta provincia comprende relieve moderado a abrupto, cerros en forma de cresta angosta y larga, con fuerte inclinación hacia el mar a veces onduladas y dislocadas, también se presentan numerosas cuevas, características de rocas estratificadas de diferentes tipos.

A continuación, se describirá las formaciones asociadas a nuestra área de estudio:

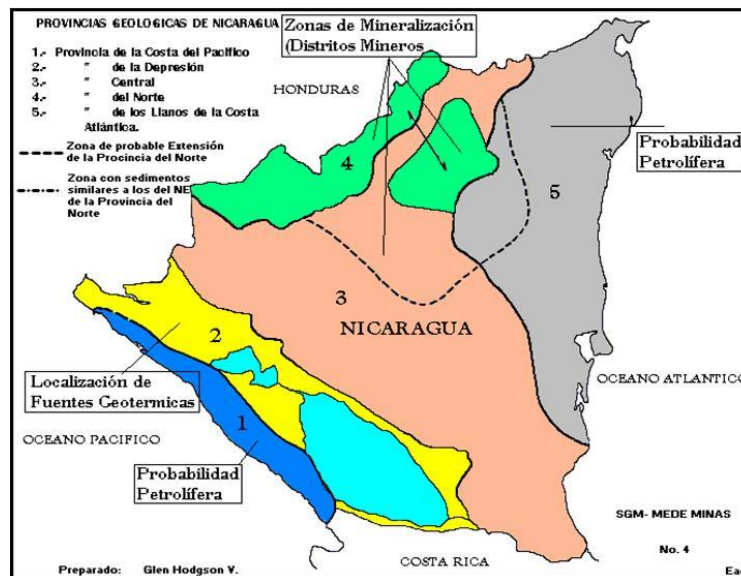


Figura 4. Mapa de las provincias de Nicaragua (Glen Hodgson, Ministerio de Energía y Minas, MEM., 1998).

7.4. Formación Rivas (Kr).

La Formación Rivas aflora en la parte SO de Nicaragua en afloramientos dispersos, se extiende por la mayor parte de la cuenca Sandino, siendo su borde más externo en tierra, hacia el Sur de Punta Cuajiniquil (Sapoá) y en la Península Santa Elena en territorio costarricense. El levantamiento del anticlinal de Rivas produjo cambios costeros a partir del Eoceno, posteriormente tuvo una relajación debido al emplazamiento de los intrusivos Huiste y Las Mesas. Una discordancia en el Plioceno - Mioceno culminó con el levantamiento del Istmo de Rivas.

De acuerdo a los resultados de los pozos perforados en tierra, Rivas-1 y Ostional-1, se ha determinado para esta Formación un espesor máximo aproximado de 1000 metros, con un mínimo de 244m en la parte superior del anticlinal de Rivas. Presenta un sistema de sedimentación turbidítica silicoclastica con predominio de lutitas, el cual se inició en el Maastrichtiano Superior y duró hasta la base del Paleoceno Superior, el cambio gradual hacia la Formación Brito ocurrió a través del denominado Miembro “Cercos de Piedra”, conformado por un paquete de turbiditas que configuran un ciclo de tendencia FU. (Sedimentación fina en la parte superior) (*Barbosa et al., 1993*).

7.4.1. Litología y Estructuras.

La principal estructura geológica de esta formación es el anticlinal de Rivas, un eje axial con tendencia NO-SE que se extiende desde la ciudad de Sapoá, cerca de la frontera con Costa Rica, hasta el Sudeste de la ciudad de Nandaime, donde es cubierto discordantemente por sedimentos volcánicos del Grupo Las Sierras; existen además algunos pliegues menores que están asociados a esta estructura.

El Paleoambiente de sedimentación se enmarca en una cuenca profunda con tendencia dominante NE, donde predominó la sedimentación por corrientes turbidíticas de baja concentración, sedimentos clásticos principalmente depositados como altas progradaciones, y complejos de abanicos turbidíticos de aguas profundas, que pasaron de sedimentos silicoclasticos entrelazados con

sedimentos volcanoclásticos (Tobas aglomeráticas y flujos lávicos de poco espesor), a depósitos de aguas profundas de alta energía.

La Formación Rivas fue primeramente reconocida en tierra en las denominadas planicies de Rivas por (*Wilson y Fagginger 1942 y Kuang J., 1971*), como una sucesión de arcosas, grauvacas, paquetes lobulares y lutitas de edad Cretácico Superior (Maastrichtiano-Campaniano.) Esta Formación presenta depósitos rítmicos de turbiditas clásticas con alternancias de lutitas y areniscas de muy finas a medias, las que ocasionalmente están entremezcladas con delgadas capas de pelitas tobáceas. Las areniscas varían de grano fino a medio y de moderada a mal seleccionado (feldespáticas o arcósicas, inmaduras con horblenda y cemento silíceo). Se pueden observar fracturamientos con dirección NS-EO, el cual está sellado por calcita proveniente posiblemente de un ambiente muy calcáreo.

En esta formación se han distinguido los siguientes tipos de facies:

- Depósitos de corrientes de turbidez lutito arenosas
 - Turbiditas con predominio de lutitas.
 - Turbiditas con predominio de areniscas.
- Depósitos de flujos turbulentos arenosos
 - Areniscas turbidíticas no organizadas.
 - Areniscas turbidíticas organizadas.
- Depósitos de flujos de lodo.
- Depósitos de "Slump".

7.5. Formación Brito (Te-b).

Se compone de una sucesión de sedimentos volcanoclásticos y carbonatos detríticos, cuyo rango de edad ha sido establecido desde el Paleoceno Superior hasta el Oligoceno Inferior. Esta Formación aflora paralela a la costa pacífica en una franja muy extensa, desde la frontera con Costa Rica hasta el área de San Rafael

del Sur (110 Km aproximadamente). Su último afloramiento en la costa ocurre en Punta de Piedra hacia el norte de esa localidad, en tierra adentro, aflora pero recubierto discordantemente por los sedimentos de la Formaciones Masachapa, El Fraile, El Salto y los depósitos Cuaternarios del grupo Las Sierras.

El espesor máximo calculado para la Formación Brito es de aproximadamente 3230 m. Se reportan 1,036m de espesor en el pozo Ostional-1, (*Parsons Co. 1972*) el cual fue perforado en tierra cerca de la frontera con Costa Rica, asimismo en el pozo Corvina-2, perforado en costa afuera, esta formación fue alcanzada a los 3,350 m de profundidad, asignándosele una edad Eoceno Superior-Medio (*Barbosa et al. 1993 y Duarte M., 1995*).

7.5.1. Litología y Estructuras.

De esta manera, se traza un pausado cambio hacia la implantación de un nuevo sistema depositacional dominado por sedimentos de flujo de gravedad. La Formación Brito fue suavemente plegada por lo que generalmente esté siendo más o menos sobreyacida discordantemente por la Formación Masachapa. En general, su edad se extiende del Paleoceno Superior al Eoceno Superior/Oligoceno Inferior.

La Formación Brito está compuesta esencialmente de calizas, margas y lutitas de color café ocre con intercalaciones de capas de arenas feldespáticas y cuarzosas, además de brechas y conglomerados con algunas intercalaciones de calizas en la parte Superior e Inferior, así como un marcado intemperismo esferoidal en las areniscas. Hay evidencias que el contenido de feldespatos decrece de la parte Sur hacia la parte Norte y el contenido de cuarzo se incrementa en esa dirección (*CanOcean Resources Ltd., 1980; Olade, 1983: y Barbosa et al., 1993*). Al igual que la Formación Rivas, Brito presenta fracturamientos con dirección NS-EO.

Astorga (1988) define a esta Formación como un conjunto de turbiditas que pasa paulatinamente de una composición normativa predominantemente basáltica, a una composición normativa predominantemente andesítica y carbonatada, trazando un pausado cambio hacia un nuevo sistema deposicional dominado por

sedimentación de flujos de gravedad. Los niveles carbonatados los interpreta como eventos de resedimentación.

Se resumen los siguientes tipos de facies para la Formación Brito:

- Depósitos de corrientes de turbidez lutito-arenosas.
- Depósitos hemipelágicos.
- Depósitos de flujos turbulentos arenosos.
- Depósitos de flujos turbulentos gravosos.
- Depósitos de Slumps.

En costa afuera y basado en los datos sísmicos de esta Formación se puede reconocer dos diferentes secuencias:

La primera se ubica entre el Paleoceno Superior-Eoceno Inferior; ésta fue depositada directamente sobre el basamento, mostrando un grueso espesor al Noreste y un fuerte buzamiento hacia costa adentro. Se puede observar una discordancia al Sudoeste de la cuenca, donde ocurrió una fuerte erosión y un tectonismo en el contacto con la Formación Masachapa que afectó al grupo del Eoceno Superior. En esta región el espesor es bastante constante lo que indica un alto rango de sedimentación sobre una cuenca de subsidencia.

La configuración interna de la secuencia muestra algunas reflexiones libres, baja amplitud y baja continuidad, así como una gran sección de modelos de “hummocky”, que sugieren áreas de baja energía y rápida deposición de depósitos de talud progradantes y de piso de cuencas con gradaciones de depósitos de alta energía, posiblemente turbiditas gruesas de aguas profundas.

La segunda secuencia se ubica entre el Eoceno Medio y el Eoceno Superior, alcanza aproximadamente los 2 segundos de espesor hacia el Noroeste de la cuenca, buzando regionalmente hacia el Noroeste. Parece ser la secuencia más gruesa de la cuenca Sandino. Hacia el Sudeste, el leve adelgazamiento de esta secuencia parece haber sido provocado por una discordancia erosional, interpretada como la incisión extensiva de depósitos de relleno de cañón. En el

Sudoeste, el flanco izquierdo de un prospecto carbonatado, se muestra limitado por una serie de fallas normales, presentando reflexiones de “Toplap” en su tope y “Onlap” y “Downlap” en su base, las que son reflexiones muy características de depósitos carbonatados.

El sistema de deposición de esta secuencia se dio en el arco externo, sobre la transición de una plataforma a talud. La presencia de una discordancia angular indica que fue erosionada en áreas extensas en el Oligoceno.

7.6. MARCO CONCEPTUAL.

7.6.1. Rocas Sedimentarias.

Una roca preexistente expuesta en la superficie de la tierra pasa por un Proceso Sedimentario (erosión o intemperismo, transporte, depósito, compactación y diagénesis) con el que llega a convertirse en una roca sedimentaria; a esta transformación se le conoce como litificación. Debido a que las rocas sedimentarias son formadas cerca o en la superficie de la tierra su estudio nos informa sobre el ambiente en el cual fueron depositadas, el tipo de agente de transporte y, en ocasiones, del origen del que se derivaron los sedimentos. (*Servicio geológico mexicano, 2017*).

7.6.2. Clasificación de las Rocas Sedimentarias.

7.6.2.1. Rocas Clásticas o Detríticas.

Los clastos derivan de la fragmentación de rocas preexistentes que afloran en la superficie terrestre y cumplen el ciclo normal de sedimentación. Según el tamaño de los clastos se dividen en: (Figura 5) “(*Barredo Silvia, Rocas Sedimentarias*)”.

Rocas sedimentarias detríticas			
Textura clástica Tamaño del clasto		Nombre del sedimento	Nombre de la roca
Grueso (más de 2 mm)		Grava (clastos redondeados)	Conglomerado
		Grava (clastos angulosos)	Brecha
Medio (de 1/16 a 2 mm)		Arena	Arenisca (Si el feldespato es abundante la roca se denomina arcosa)
Fino (de 1/16 a 1/256 mm)		Limo	Limolita
Muy fino (menos de 1/256 mm)		Arcilla	Lutita

Figura 5. Clasificación de las rocas sedimentarias detríticas. (Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.)

7.6.2.2. Rocas Químicas.

Los sedimentos químicos derivan del material que es transportado en solución a los lagos y los mares. Sin embargo, este material no permanece disuelto indefinidamente en el agua. Una parte precipita para formar los sedimentos químicos, que se convierten en rocas como la caliza, el sílex y la sal de roca. (Figura 6) (Tarbuck, E. J et al., 2005).

Rocas sedimentarias químicas		
Composición	Textura	Nombre de la roca
Calcita, CaCO_3	No clástica: cristalino de fino a grueso	Caliza cristalina
		Travertino
	Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón visibles, cementados débilmente	Coquina
		Caliza fosilífera
Clástica: caparazones y arcilla microscópicos	Creta	
Cuarzo, SiO_2	No clástica: cristalino muy fino	Rocas silíceas (sílex) (color claro)
		Pedernal (color oscuro)
Yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Yeso
Halita, NaCl	No clástica: cristalino de fino a grueso	Salgema
Fragmentos vegetales alterados	No clástica: materia orgánica de grano fino	Hulla

Figura 6. Clasificación de las Rocas Sedimentarias químicas. (Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005).

7.6.2.3. Rocas Organógenas.

Se forman por la acumulación de restos duros de organismos animales o vegetales. Se clasifican por su composición en calcáreas, silíceas, fosfáticas y carbonosas (Figura 7). “(Barredo Silvia, Rocas Sedimentarias)”.



Vista de cerca



Figura 7. Esta roca, denominada coquina, consiste en fragmentos de conchas; por consiguiente, tiene un origen bioquímico. (Foto de E. J. Tarbuck).

7.6.3. Estrato.

Es la unidad de sedimentación, de forma generalmente tabular que fue depositada bajo condiciones físicas constantes. En tal sentido puede observarse que en una secuencia estratificada las capas presentan diferencias, por ejemplo, en el tamaño de las partículas y esto es el resultado de los cambios de energía del medio de transporte. También pueden observarse cambios de la composición mineralógica, grado de compactación, cambios en el tipo de cemento, en el color, en los espesores. El estrato está limitado arriba y abajo por planos que representan cambios en las condiciones de sedimentación, y que se denominan: techo y base (Figura 8). (*Barredo Silvia, Rocas Sedimentarias*).

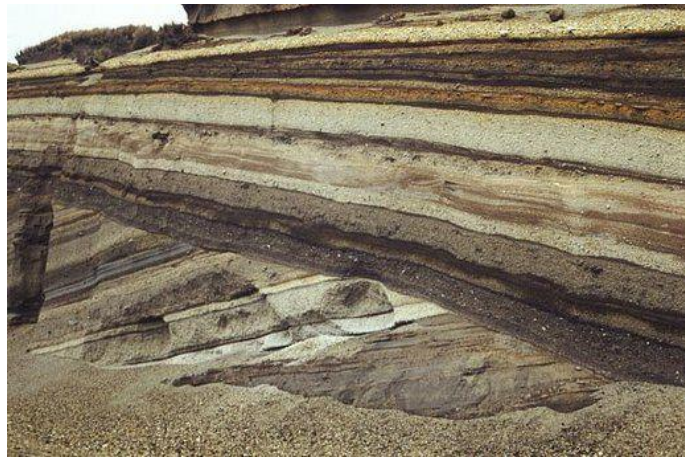


Figura 8. Estratos Sedimentarios. (Google, 2020).

7.6.4. Estructuras Sedimentarias.

Son rasgos geométricos y/o diferenciaciones texturales o de composición, originadas al mismo tiempo que ocurre la sedimentación, es decir SINGENETICOS, o luego de la sedimentación se denominan EPIGENETICOS. Estos rasgos le imprimen características particulares a la roca que nos permiten hacer inferencias sobre su génesis. Dependen directamente del medio, del modo de transporte y de la energía. En particular, esta última es el resultado de la velocidad del flujo, la turbulencia y profundidad del agua (Tabla 1). (*Barredo Silvia, Rocas Sedimentarias*).

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS. Modificado de Pettijohn por Montilla (2002)		
ESTRUCTURAS INORGÁNICAS		ESTRUCTURAS ORGÁNICAS o Biogénicas de Deformación
PRIMARIAS (Mecánicas)	SECUNDARIAS (Químicas)	
<p>1. Estructuras de Estratificación o de Ordenamiento Interno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laminación (Horizontal, oblicua, lenticular y flaser). • Ripples (de corrientes, rectilíneos, linguoides, de oscilación). • Estratificación (cruzada, bimodal, gradada, imbrincada, rítmica, alternante). • Hummocking. 	<p>1. Estructuras de Presión-Disolución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estilolitos. • Zonas de erosión. • Conos encajados 	<p>1. Bioturbación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marcas. • Pistas. • Madrigueras. <p>2. Petrificaciones</p>
<p>2. Estructuras de Estratificación lineales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estriaciones. • Laminaciones paralelas. • Estratificaciones paralelas. • Rizaduras. • Antidunas. 	<p>2. Estructuras de Precipitación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nódulos. • Concreciones. • Rosetas. • Esferulitas. • Geodas. • Septarias. • Huellas de cristales. 	<p>3. Organismos constructores de Roca o Bioestratificación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mallas de algas. • Estromatolitos
<p>3. Carácter de la Superficie de Estratificación: (Marca en el Techo):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grietas de disecación. • Gotas de lluvia, • Huellas de cristales. • Marcas de erosión. 		
<p>4. Estructuras de Deformación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de Carga. • Estructuras en Almohadilla. • Laminación convoluta. • Estructuras de inyección. • Slumps. • Cantos de arcilla armados. 		

Tabla 1. Clasificación de las Estructuras Sedimentarias. Modificado de Pettijohn por Montilla (2002).

7.6.5. Ambientes Sedimentarios.

Es una parte de la superficie de la tierra donde operan los procesos sedimentarios responsables del transporte y depósito de los sedimentos, y que se diferencia física, química y biológicamente de las zonas adyacentes. “(Blanco José., 2009)”.

7.6.5.1. Clasificación de los ambientes sedimentarios.

- ❖ Continentales, estos se dividen en: (Figura 9)
 - Subacuáticos: (fluvial, lacustre, palustre)
 - Subáereo: (eólico, gravitacional)
 - Glacial
- ❖ Mixtos o de Transición, se dividen en: (Figura 9)
 - Deltaico
 - Estuarios
 - Planicie de mareas
 - Barras litorales / albufera
- ❖ Marinos, se dividen en base a la profundidad del agua: (Figura 9 y 10)
 - Litoral
 - Nerítico
 - Batial
 - Abisal

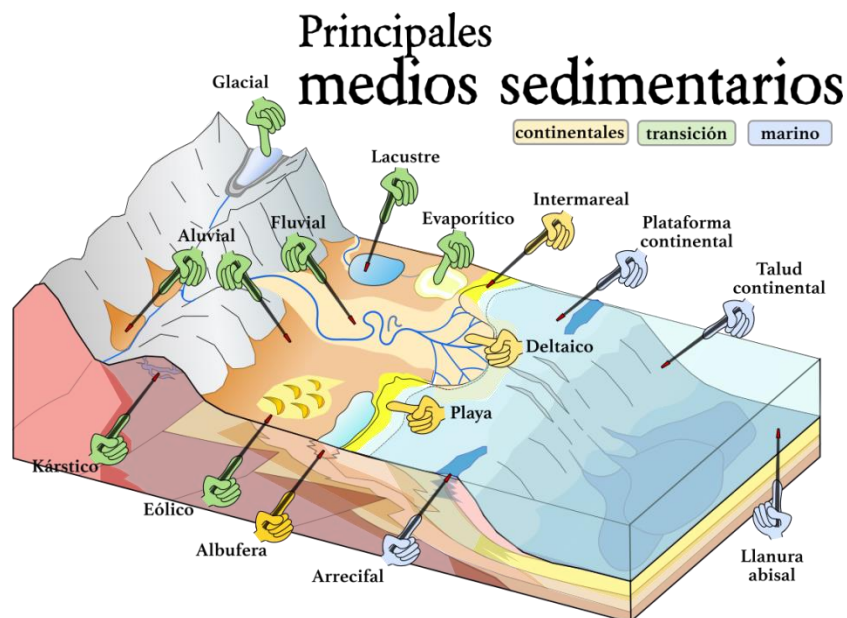


Figura 9. Ambientes sedimentarios. (Cahuao Laura, Daza Adrian., 2018).

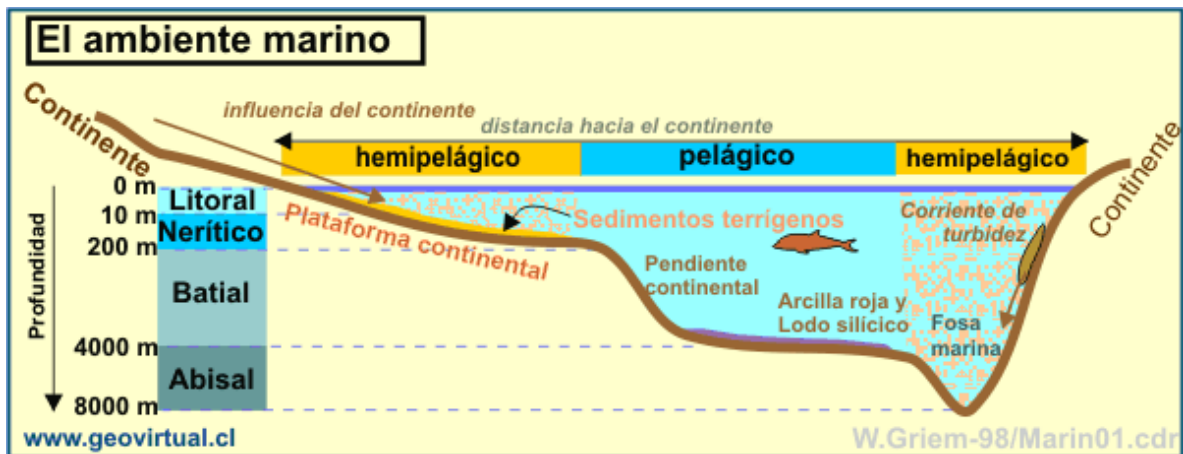


Figura 10. Ambientes marinos según su profundidad y distancia. (W. Griem., 2020).

7.6.6. Facies sedimentarias.

Es un conjunto de rocas sedimentarias que se distinguen de otras por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles asociados “(Selley., 1970)”.

7.6.6.1. Clasificación de facies sedimentarias.

Litofacies: Alude exclusivamente a los aspectos litológicos de un conjunto de estratos que son correlativos por las condiciones físico-químico que reinaron durante el depósito. (Figura 11)” (Olano Heberto, 2005)”.

Biofacies: se refiere a aspectos paleontológicos y a las condiciones reinantes durante el depósito. (Figura 11)” (Olano Heberto, 2005)”.

Microfacies: conjunto de características litológicas y paleontológicas observadas en el microscopio en láminas delgadas (secciones finas) y correlativamente a las condiciones genéticas que controlaron el depósito. “(Olano Heberto, 2005)”.

Electrofacies: es el conjunto de respuesta de las diagráfias que caracterizan un estrato y permiten que este pueda ser diferenciado de los otros que los rodean. “(Olano Heberto, 2005)”.

Facies Sísmicas: conjunto de propiedades observables en un perfil sísmico para un estrato o agrupación de estratos. “(Serra., 1980)”.

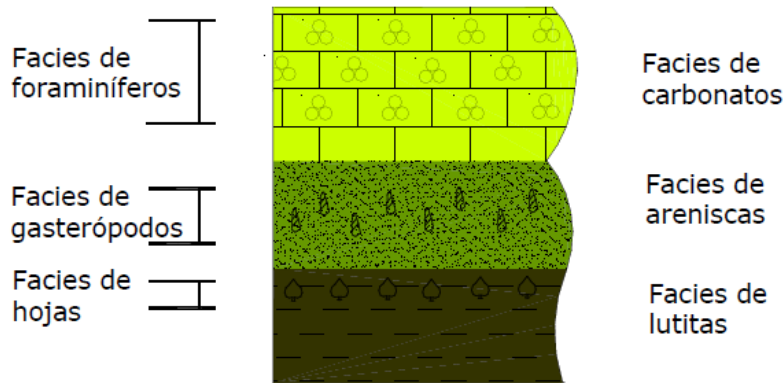


Figura 11. Litofacies y Biofacies. (Campos Emiliano, Facies Sedimentarias).

7.6.7. Columna litológica.

Representa gráficamente la estratigrafía generalizada de un sector. Abajo se dibuja los estratos más antiguos arriba los estratos más jóvenes. El eje horizontal representa la resistencia contra la meteorización. (Figura 12) “(W. Griem., 2020)”.

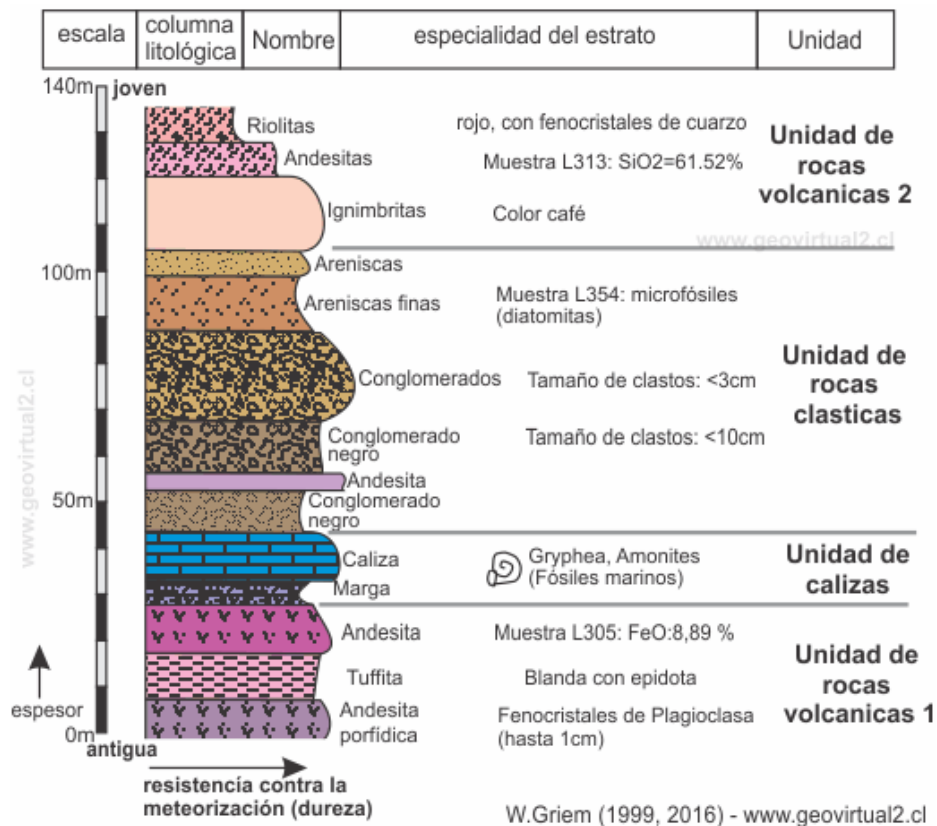


Figura 12. Representación de una columna litológica. (W. Griem., 1999-2016).

7.6.8. Geología Estructural

Es la rama de la Geología que estudia las deformaciones de la corteza terrestre, las orientaciones de los pliegues y las fallas, así como los rasgos a pequeña escala de las rocas deformadas determinando el ambiente geológico original y la naturaleza de las fuerzas que produjeron las estructuras rocosas. (Tarbuck, E. J et al., 2005).

7.6.8.1. Deformación.

Es un término general que se refiere a todos los cambios de tamaño, forma, orientación o posición de una masa rocosa. “(Tarbuck, E. J et al., 2005)”.

7.6.8.2. Esfuerzo.

Es la cantidad de fuerza aplicada sobre un área determinada. La magnitud del esfuerzo no es simplemente una función de la cantidad de fuerza aplicada, sino que también está relacionada con el área sobre la que la fuerza actúa. Existen 3 tipos de esfuerzos, (Tarbuck, E. J et al., 2005).

Esfuerzo Compresivo: (com _ junto; premere _ presionar) el esfuerzo diferencial que acorta un cuerpo rocoso. (Figura 13).

Esfuerzo Tensional: (tendere _ estirar) cuando el esfuerzo tiende a alargar o a separar una unidad rocosa. (Figura 13).

Esfuerzo de cizalla: provoca desplazamientos a lo largo de las zonas de falla o por el flujo dúctil. (Figura 13).

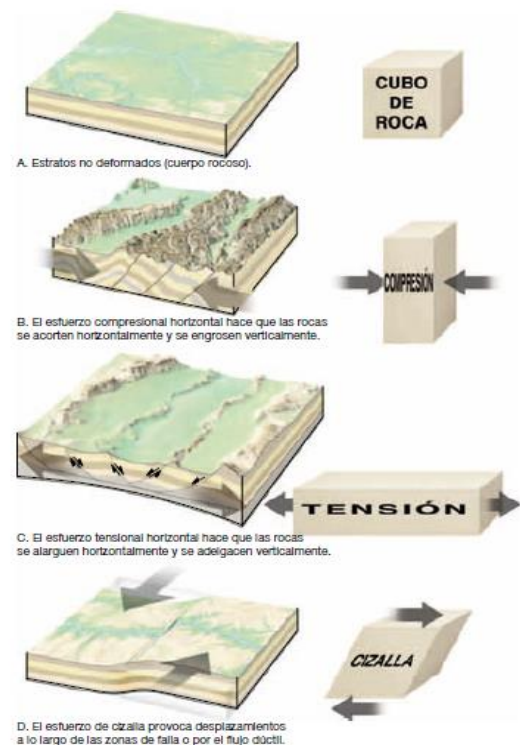


Figura 13. Deformación de la corteza terrestre provocada por las fuerzas tectónicas y los esfuerzos asociados resultantes del movimiento de las placas litosféricas/Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.

7.6.8.3. Pliegues.

Son amplias flexuras en las cuales unidades rocosas de centenares de metros de grosor se han doblado ligeramente. Los dos tipos de pliegues más comunes se denominan anticlinales y sinclinales. Un anticlinal se forma casi siempre por plegamiento convexo, o arqueamiento, de las capas de roca. Asociados a menudo con los anticlinales, se encuentran los pliegues cóncavos, o surcos, denominados sinclinales. (Figura 14) (Tarbuck, E. J et al., 2005).

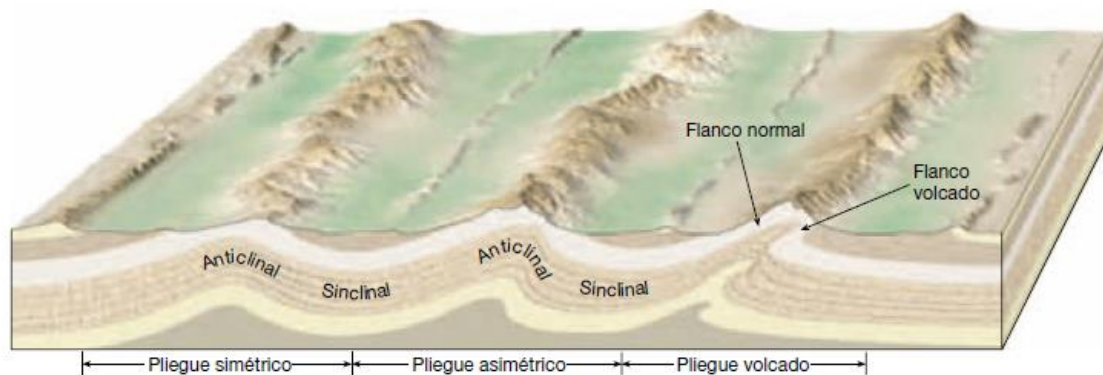


Figura 14. Bloque diagrama de los principales tipos de estratos plegados/Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.

7.6.8.4. Fallas.

Son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable. Las fallas en las que el movimiento es fundamentalmente paralelo al buzamiento (o inclinación) de la superficie de falla se denominan fallas con desplazamiento vertical, los dos tipos principales de fallas con desplazamiento vertical se denominan fallas normales (Figura 15) y fallas inversas (Figura 16). Las fallas en las que el desplazamiento dominante es horizontal y paralelo a la dirección de la superficie de la falla, se denominan fallas de desplazamiento horizontal, este tipo especial de falla direccional se denomina falla transformante (trans _ a través; forma _ forma). (Figura 17) (Tarbuck, E. J et al., 2005).

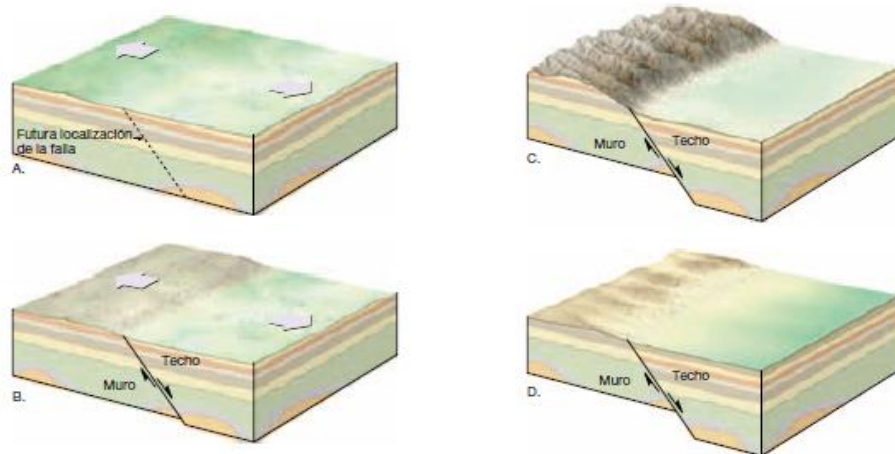


Figura 15. Bloques diagrama que ilustra una falla normal. A. Estratos rocosos antes de la falla. B. Movimiento relativo de los bloques desplazados. El desplazamiento puede continuar formando un relieve montañoso limitado por fallas a lo largo de millones de años y que representa muchos episodios de fracturación espaciados en el tiempo. C. Cómo puede la erosión modificar el bloque levantado. D. Finalmente el período de deformación acaba y la erosión se convierte en el proceso geológico dominante/ Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.

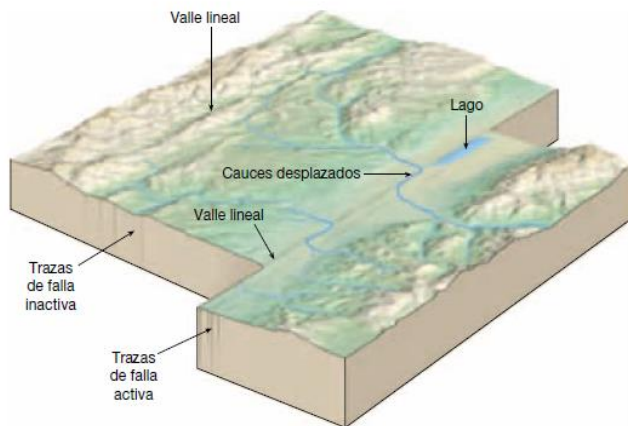


Figura 17. Bloque diagrama que ilustra las figuras asociadas con las fallas con desplazamiento horizontal/ Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.

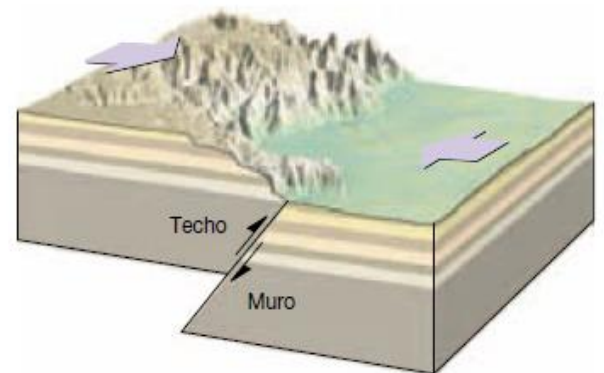


Figura 16. Bloque diagrama que muestra el movimiento/ Ciencias de la Tierra, 8va edición, 2005.

7.6.8.5. Rumbo.

Es la línea horizontal de un plano. El rumbo tiene dos direcciones de 180° de diferencia. La dirección de inclinación o dirección del buzamiento es la dirección hacia donde se inclina un plano. (Es la proyección horizontal de la línea de del máximo pendiente) (Figura 18) (W. Griem., 2018).

7.6.8.6. Buzamiento.

Es el ángulo entre el plano y un plano horizontal. El buzamiento de un plano horizontal es 0° , de un plano vertical es 90° (Figura 18) “(W. Griem, 2018)”.



Figura 18. Rumbo, Buzamiento, Dirección de la inclinación. (W. Griem, 2018).

7.6.8.7. Arreglos geométricos de fracturas.

Los sectores transcurrentes en zonas de falla pueden disponerse espacialmente de diversas maneras: en échelon (o escalonadas), en relevo, anastomosadas, en terminaciones en "cola de caballo" o abanico (Figura 19). Estas disposiciones reflejan las diferentes formas en que se puede distribuir el deslizamiento en función de las condiciones reológicas y el esfuerzo total que tiene que ser acomodado. Cabe destacar que algunas de las consecuencias estructurales más interesantes desde el punto de vista de los yacimientos ocurren justamente donde las fallas se curvan o se escalonan (Davis y Reynolds, 1996).

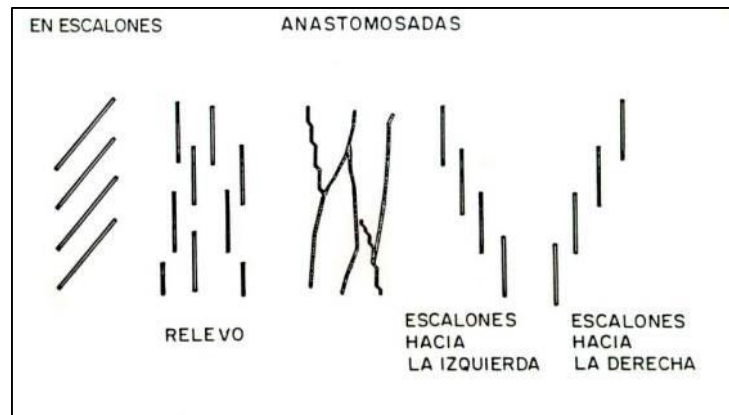


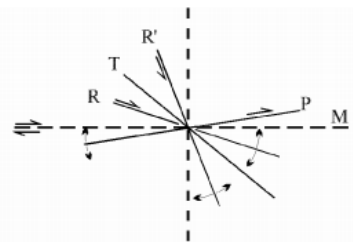
Figura 19. Arreglos diversos de fallas. Tomada de Davis y Reynolds (1996).

7.6.8.8. Indicadores cinemáticos.

Son rasgos menores o microscópicos formados en una superficie discreta de falla (deformación frágil) o en una zona deformada (deformación dúctil) durante el desplazamiento de los bloques yuxtapuestos por la falla, su arreglo permite definir el sentido del movimiento relativo entre los bloques (*Silva y Mendoza, 2011*).

7.6.8.8.1. Criterios cinemáticos para fallas.

- **Criterio T:** fracturas de tensión que forman un ángulo de 45° con respecto a M (plano de falla principal). Pueden ser rellenadas por minerales (cuarcita, calcita, etc.) (Figura 20).
- **Criterios R y R':** R son fracturas de cizalle de mismo desplazamiento que el plano de falla principal (sintéticas) con un ángulo de 15° con respecto al plano de falla (M). R' son fracturas de cizalle antitéticas con un ángulo de 75° con respecto a M (Figura 20).
- **Criterio P:** fracturas de cizalle estriadas de mismo sentido de desplazamiento que el plano de falla principal (sintéticas) con un ángulo de 15° con respecto al plano de falla (M), pero con sentido de buzamiento opuesto a R (Figura 20).



CRITERIOS T	CRITERIOS R	CRITERIOS P
Fracturas tensionales	RO	PT P
Fracturas en forma de hoz	RM	P
Fracturas en forma de ténula	R	T
	Fracturas en forma de ténula	PO P
	R	

Figura 20. Distintos tipos de fracturas secundarias asociadas a un plano de falla principal M. Las fallas Riedel sintéticas y antitéticas de bajo y alto ángulo respecto del movimiento a lo largo del plano de falla principal, son R y R'. Las fracturas de tensión son T. Las fallas P presentan bajo ángulo respecto del plano principal pero opuesto a la orientación de R.

VIII. HIPÓTESIS.

Las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo pertenecen a la provincia del Pacífico de Nicaragua donde también se ubica la cuenca ante-arco Sandino, mediante este estudio se pretende comprobar la existencia de sedimentos pertenecientes a la formación Brito de edad del Eoceno en la zona costera.

IX. DISEÑO METODOLÓGICO.

9.1. Tipo de estudio.

El tipo de investigación es cuantitativo, ya que se determinaron variables y se ejecutó un plan de trabajo para recolectar y medir información de campo y dar cumplimiento con los objetivos propuestos en esta investigación.

Así mismo, el tipo de estudio es descriptivo, de acuerdo a la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista (2006), porque se midieron y se recolectaron datos geológicos tales como: unidades litológicas, datos geométricos de las capas, propiedades físicas de las rocas y levantamiento de datos estructurales (tipos de falla, fracturas plegamientos) de la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo. Además, el estudio es transversal, ya que se cumplió con el período de tiempo predefinido para el desarrollo de esta investigación según (*Canales et al., 1996*).

9.2. Área de estudio.

El área de investigación corresponde al Municipio de Tola, localizado en el Departamento de Rivas, específicamente en la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.

9.3. Universo y Muestra.

Nuestro universo corresponde a la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.

La muestra de estudio corresponde a los afloramientos y estructuras geológicas que se encuentran en las playas del suroeste de Nicaragua.

9.4. Tipo de muestreo.

Es no probabilístico porque en la elección de las muestras no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación y del proceso de análisis de datos levantados en el campo que dio información para la toma de decisiones de los investigadores.

9.5. Definición y Operacionalización de variables.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Subvariables o Dimensiones	Variable Operativa o Indicador	Técnicas de recolección de datos e información.
<p><u>Objetivo Específico 1</u></p> <p>Describir las unidades litológicas en los afloramientos para proporcionar la columna litológica de las áreas de estudio.</p>	1. Unidades Litológicas.	1.1. Tipo de Roca. 1.2. Espesor. 1.3. Redondez. 1.4. Clasificación de los granos. 1.5. Estructuras Sedimentarias. 1.6. Rumbo y buzamiento. 1.7. Fósiles.	1.1.1. Detríticas, Químicas y Bioquímicas. 1.1.2. Potencia de los estratos. 1.1.3. Desde muy anguloso hasta muy redondeado. 1.1.4. Desde muy clasificado hasta pobremente clasificado. 1.1.5. Estratificación, gradación, marcas de corrientes, etc. 1.1.6. Dirección e inclinación de los estratos. 1.1.7. Indicadores de paleoambientes y yacimientos.	<p><u>Técnicas:</u> Observación y medición</p> <p><u>Instrumentos:</u> GPS Cinta métrica Regla Ácido clorhídrico Lupa Brújula Libreta de campo Ficha de campo</p>
<p><u>Objetivo Específico 2</u></p> <p>Presentar la correlación estratigráfica a partir de las columnas litológicas de las áreas a investigar.</p>	2. Correlación estratigráfica.	2.1. Correlación lito-estratigráfico.	2.2.1. Unidades geológicas relacionadas.	<p><u>Técnica:</u> Observación e identificación Digitalización</p> <p><u>Instrumento:</u> Columnas litológicas Software photoscape</p>
<p><u>Objetivo Específico 3</u></p> <p>Realizar levantamientos de estructuras geológicas para proponer un patrón estructural predominante en los afloramientos de las zonas de investigación.</p>	3. Estructuras Geológicas.	9.6. Indicadores Cinemáticos. 9.7. Fallas. 9.8. Fracturas. 9.9. Pliegues	3.3.1. Son rasgos de origen tectónico que permiten determinar el sentido del desplazamiento en zonas de cizalla y fallas. 3.3.2. Fractura del terreno con desplazamiento relativo de las partes separadas. 3.3.3. Término general a toda rotura, con o sin desplazamiento. 3.3.4. Deformación resultante de la flexión o torsión de rocas	<p><u>Técnica:</u> Observación y medición.</p> <p><u>Instrumentos utilizados:</u> GPS Brújula Cinta métrica Cámara Ficha de campo.</p>

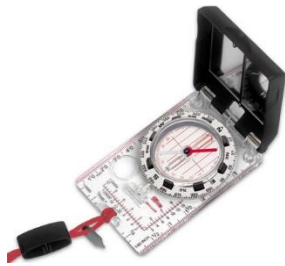
Tabla 2. Definición y Operacionalización de las variables.

9.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

De acuerdo al método cuantitativo se empleó la técnica de la observación en el campo para la descripción de:

- 1) Fracturas y fallas.
- 2) Litología.
- 3) Espesores de estratos.
- 4) Descripción de Fósiles.
- 5) Estructuras sedimentarias.

Los instrumentos que se utilizaron para medir las variables de estudio consistieron en fichas de campo para describir la litología, fallas y fracturas de los afloramientos en las zonas costeras. Para hacer la investigación de campo se utilizaron los siguientes equipos geológicos:



- **Brújula:** Para tomar los datos de geometría de las capas y datos estructurales como buzamiento, rumbo de planos de fallas y fracturas.



- **GPS:** es un equipo que posee un sistema de navegación por satélite y se utiliza para determinar la posición geográfica de afloramientos de rocas.



- **Piqueta:** instrumento utilizado para dividir y extraer muestras de rocas y suelo. En el campo de la geología, se emplea para obtener una superficie fresca de una roca con el fin de determinar su composición y su naturaleza.



- **Lupa:** es un instrumento óptico que consta de un lente convergente de corta distancia focal, que desvía la luz incidente de modo que se forma una imagen ampliada del objeto, es utilizada para la descripción macroscópicas de las muestras obtenidas en campo.



- **Cinta Métrica:** con este instrumento se mide los espesores de los estratos, desplazamiento de fallas y fracturas y la altura de los afloramientos.



- **Ácido Clorhídrico:** Se usa para determinar el contenido de carbonato de calcio en las rocas.

9.7. Procedimiento para la recolección de datos.

Previamente se hizo un reconocimiento geológico de las zonas costeras de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo donde se identificaron los afloramientos para obtener la información de campo requerida para esta investigación.

9.8. Levantamiento Litológico.

Primeramente se tomaron las coordenadas, rumbo y buzamiento de cada afloramiento presente en las playas estudiadas haciendo uso del equipo GPS, luego se identificaron el número de capas aplicando la ley de superposición de los estratos (de la más antigua a la más joven), con la cinta métrica y con la brújula se tomaron las medidas de los espesores y datos geométricos (rumbo y buzamiento) de la capa más representativa, mediante la detallada observación y el uso de la lupa se describieron las propiedades macroscópicas de las rocas (color, textura, granulometría, estructuras sedimentarias, fósiles). Así mismo con el ácido clorhídrico se determinó el contenido de carbonato de calcio de las rocas en los afloramientos.

9.9. Levantamiento Estructural.

Se identificaron fallas y fracturas en los afloramientos, luego se procedió a medir el rumbo, buzamiento y desplazamiento de éstas con el uso de la brújula y con la cinta métrica, con el propósito de conocer la orientación preferencial de estructuras geológicas que afectan las áreas de estudio.

9.10. Plan de análisis y procesamiento de los datos.

Con los datos recolectados del trabajo de campo del levantamiento litológico se procedió a la elaboración de columnas litológicas en hojas milimetradas a una escala conveniente. Una vez que se obtuvo el resultado se llevó a cabo la digitalización haciendo uso del software Strater 5.

Una vez propuestas las columnas con toda su información requerida se realizó la correlación estratigráfica de las playas estudiadas, aplicando el método de la correlación lito-estratigráfica identificando las unidades geológicas que tenían las mismas características litológicas y posteriormente se realizó la correlación en el software PhotoScape.

Manualmente se realizaron diagramas de rosetas de datos recopilados de las fracturas, que posteriormente fueron redibujadas haciendo uso del programa Photoshop CS6 y se establecieron los patrones estructurales predominantes para identificar la dirección preferencial de éstas en los afloramientos ubicados en las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.

Haciendo uso del programa Arcgis 10.5 se elaboró el mapa geológico general, tomando como referencia los mapas geológicos de catastro y recursos naturales hojas 2950-I y 2950-II, donde se representaron las formaciones y estructuras geológicas de estas playas montándolo sobre un modelo de sombras.

X. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

10.1. Playa El Astillero.

Playa El Astillero se encuentra ubicada a 40 kilómetros al norte del casco urbano del municipio de Tola. Morfológicamente, es una bahía semicircular de aguas templadas que divide al departamento de Carazo con Rivas, a 7 km se encuentra ubicado el Río Escalante cuya extensión es de 12 km y desemboca en playa El Astillero, la costa presenta elevaciones rocosas de edad del Cretácico-Eoceno correspondientes a la formación Rivas y Brito (Fotografía 1).



Fotografía 1. Bahía El Astillero.

10.1.1. Geología Local.

Para determinar la geología del área de estudio se realizó la exploración en campo describiendo las unidades litológicas utilizando la ley de superposición de estratos (desde la capa más antigua a la más reciente). A orillas de playa El Astillero se encontró un afloramiento con rumbo N76°E en las coordenadas UTM 1273606N-589855E, el cual tiene una altura de 31 metros aproximadamente, se encuentra altamente fracturado y meteorizado. Presenta sedimentos del Terciario pertenecientes a la formación Brito asociados a un ambiente deposicional marino.

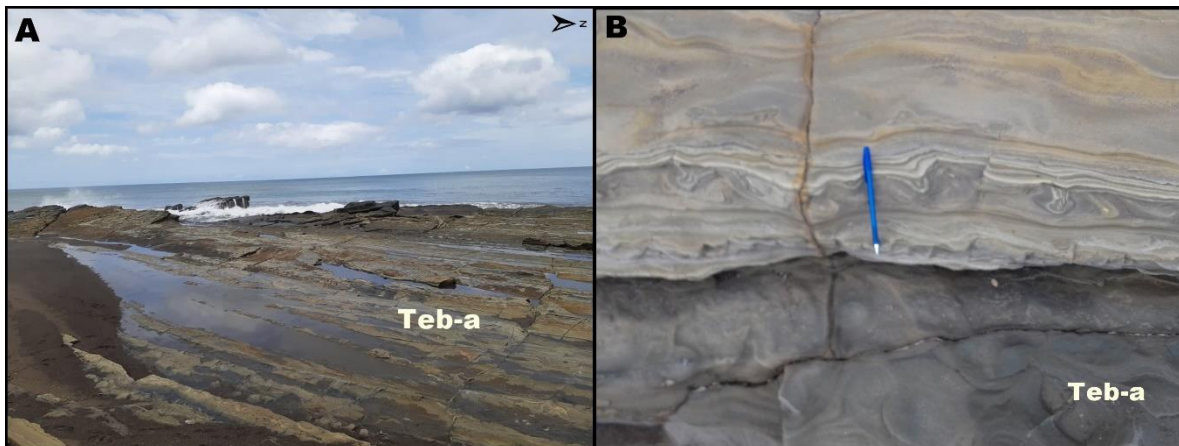
Se encontraron 4 unidades litológicas, en donde la capa más representativa tiene un buzamiento de 11° SE. A continuación, se describen las unidades encontradas en base a la descripción macroscópica:

10.1.1.1. Litología.

10.1.1.1.1. Unidad de areniscas. (Teb-a).

Esta unidad está constituida por areniscas de matriz silíceea con colores que varían de gris claro a amarillo con un espesor de 3 m aproximadamente, sus granos son finos, bien redondeados y muy bien clasificados. En esta capa se logra apreciar una sucesión de láminas contorsionadas que se clasifican como una estructura sedimentaria de deformación llamada “laminación convoluta” y presenta fracturas rellenadas de carbonato de calcio (Fotografía 2).

La génesis de esta estructura sedimentaria de deformación resulta de una estructura anterior de una laminación horizontal que se deformó por deslizamiento de sedimentos plásticos y por deformación de carga simultánea al depósito (*Ponce et al., 2018, p. 84*).

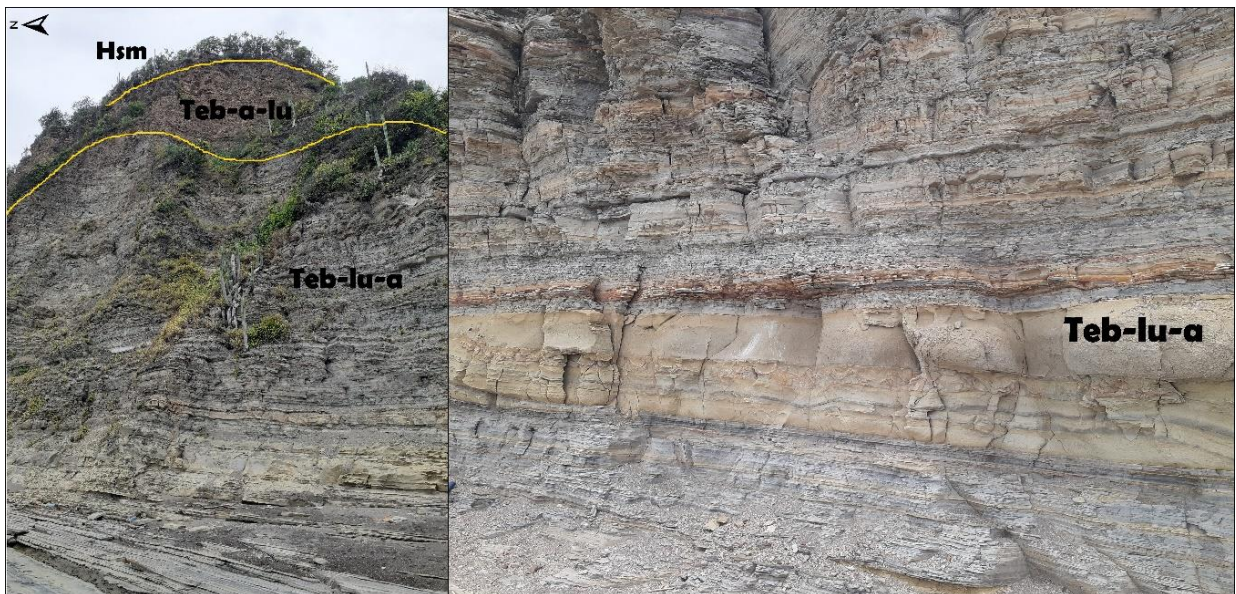


Fotografía 2. A) Base del afloramiento constituido por arenisca (Teb-a). B) Laminación convoluta con presencia de fracturas rellenadas con carbonato de calcio. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.

10.1.1.1.2. Unidad de alternancia rítmica de lutitas con areniscas. (Teb-lu-a).

En la parte intermedia de este afloramiento se encuentra una unidad de lutitas con una secuencia rítmica de areniscas que se encuentran altamente meteorizadas debido al contacto con el mar y con los agentes externos.

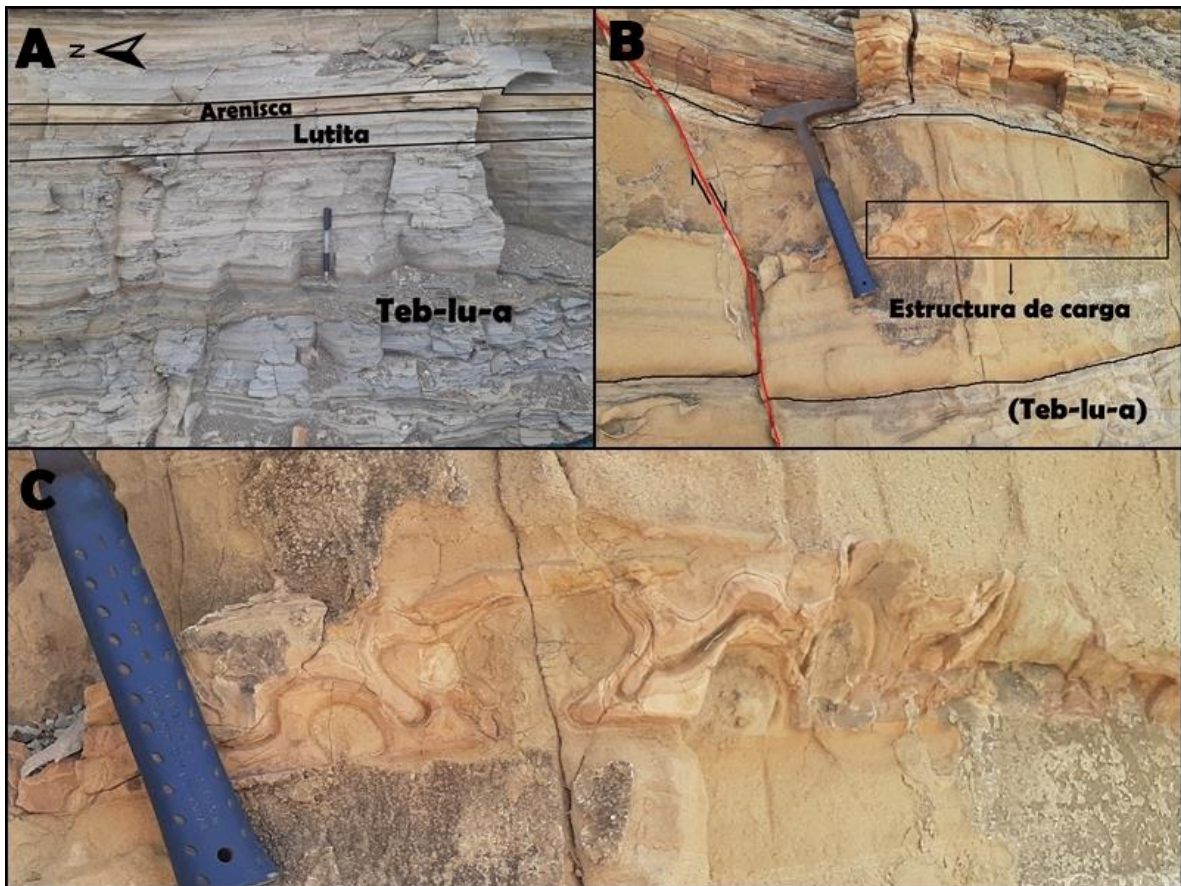
Las capas de areniscas y lutitas varían de 0.40 m a 1.24 m de espesor, por lo tanto, toda la unidad completa mide 20 m. (Fotografía 3).



Fotografía 3. Unidad de alternancia rítmica de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) altamente fracturadas y meteorizadas ubicado en las coordenadas UTM 1273606N-589855E.

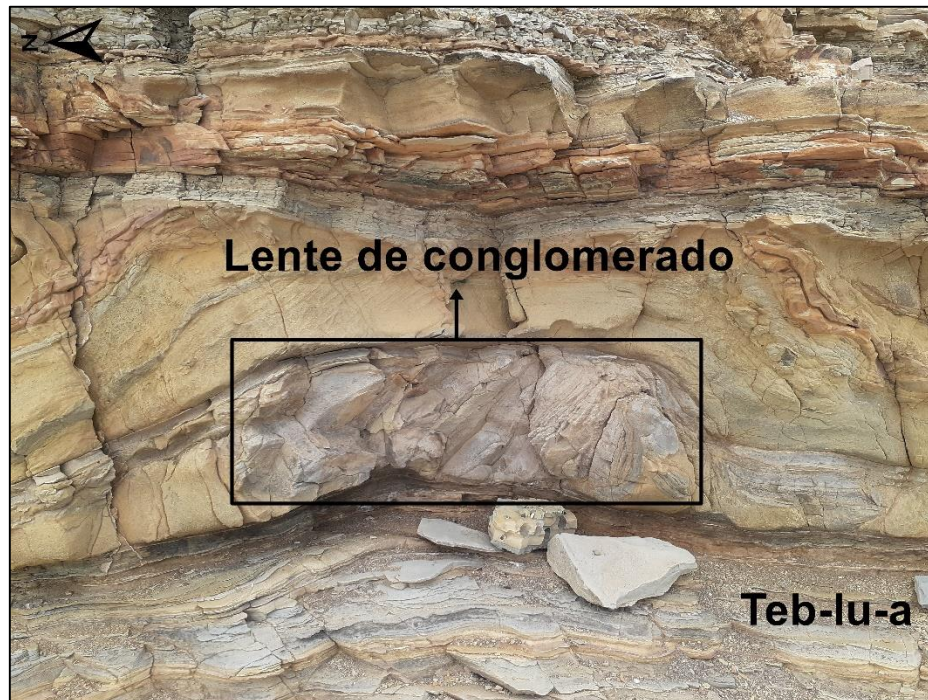
Las capas de lutitas son de color gris claro, el tamaño de sus granos es fino, se encuentran muy bien clasificados y bien redondeados con laminación paralela presentando fracturas rellenas con carbonato de calcio (Fotografía 4 A). La arenisca se aprecia de color amarillo y anaranjado debido a alteraciones por oxidación, su granulometría va de fina a media. La capa más representativa de arenisca presenta protuberancias irregulares lo que se define como una estructura de carga (Fotografía 4 B y C).

Estas estructuras de carga se clasifican como estructuras sedimentarias de deformación donde el mecanismo básico de formación es la gravedad actuando sobre la diferencia de densidad que existe entre las capas. La porosidad de los fangos es generalmente más elevada respecto a la de las areniscas, aun en aquellas depositadas rápidamente. Por lo tanto, si una capa de arena se deposita rápidamente sobre una capa de fango, la arena (debido a su mayor densidad) se hundirá dentro del fango por carga (*Ponce et al., 2018, p. 86*).



Fotografía 4. A) Sucesión rítmica de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) presentando laminación paralela. B) y C) Capa representativa de arenisca de la unidad (Teb-lu-a) donde se distingue una estructura de carga. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.

En esta misma unidad se observó un lente de conglomerado el cual está afectando a las areniscas y lutitas causando un distorsionamiento en ellas. La presencia de este lente posiblemente se debe a que el mar transportó estos clastos los cuales se encuentran sub-redondeados (Fotografía 5).

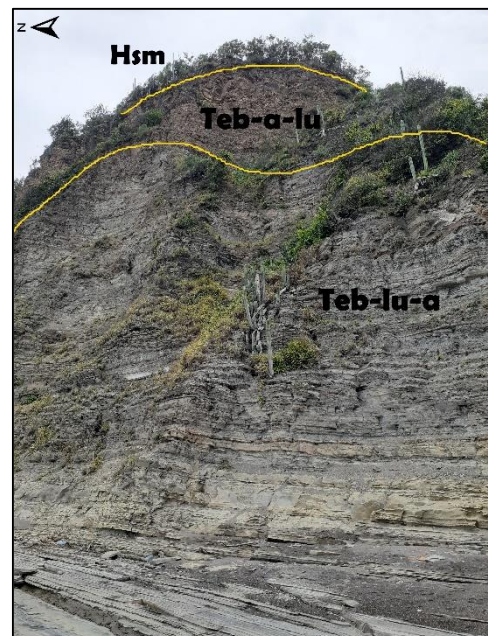


Fotografía 5. Lente de conglomerado en la unidad de alternancia rítmica de lutitas y areniscas (Teb-lu-a). Coordenadas UTM 1273606N-589855E.

10.1.1.1.3. Unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas. (Teb-a-lu).

Sobreyaciendo a la unidad de alternancia rítmica de lutitas y areniscas se encuentra esta unidad con espesor aproximado de 10 m el cual se presenta altamente fracturado y meteorizado constituido por areniscas de color café y lutitas de color gris (Fotografía 6).

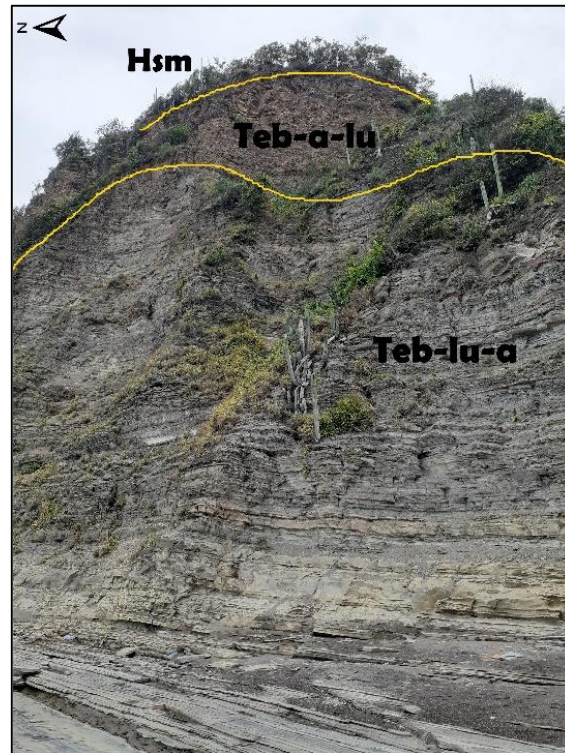
Para esta unidad no se describen detalladamente las estructuras y la granulometría de las rocas debido a que éste se encuentra en la parte superior donde es difícil el acceso, por lo tanto, se estimó de manera de aproximada el espesor y sólo se logró apreciar la secuencia de las capas y el color de las rocas.



Fotografía 6. Unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas (Teb-a-lu) ubicado en la parte superior del afloramiento. Coordenadas 1273606N-589855E.

10.1.1.1.4. Suelo moderno (Hsm).

El suelo moderno es la capa superior del afloramiento, la cual tiene un espesor aproximado de 1.50 m, es de color café oscuro con abundante materia orgánica (Fotografía 7).



Fotografía 7. Suelo moderno (Hsm) con abundante vegetación. Coordenadas 1273606N-589855E.

Las unidades litológicas descritas de playa El Astillero se representaron gráficamente mediante una columna litológica con sus respectivos espesores y estructuras sedimentarias (Figura 21).

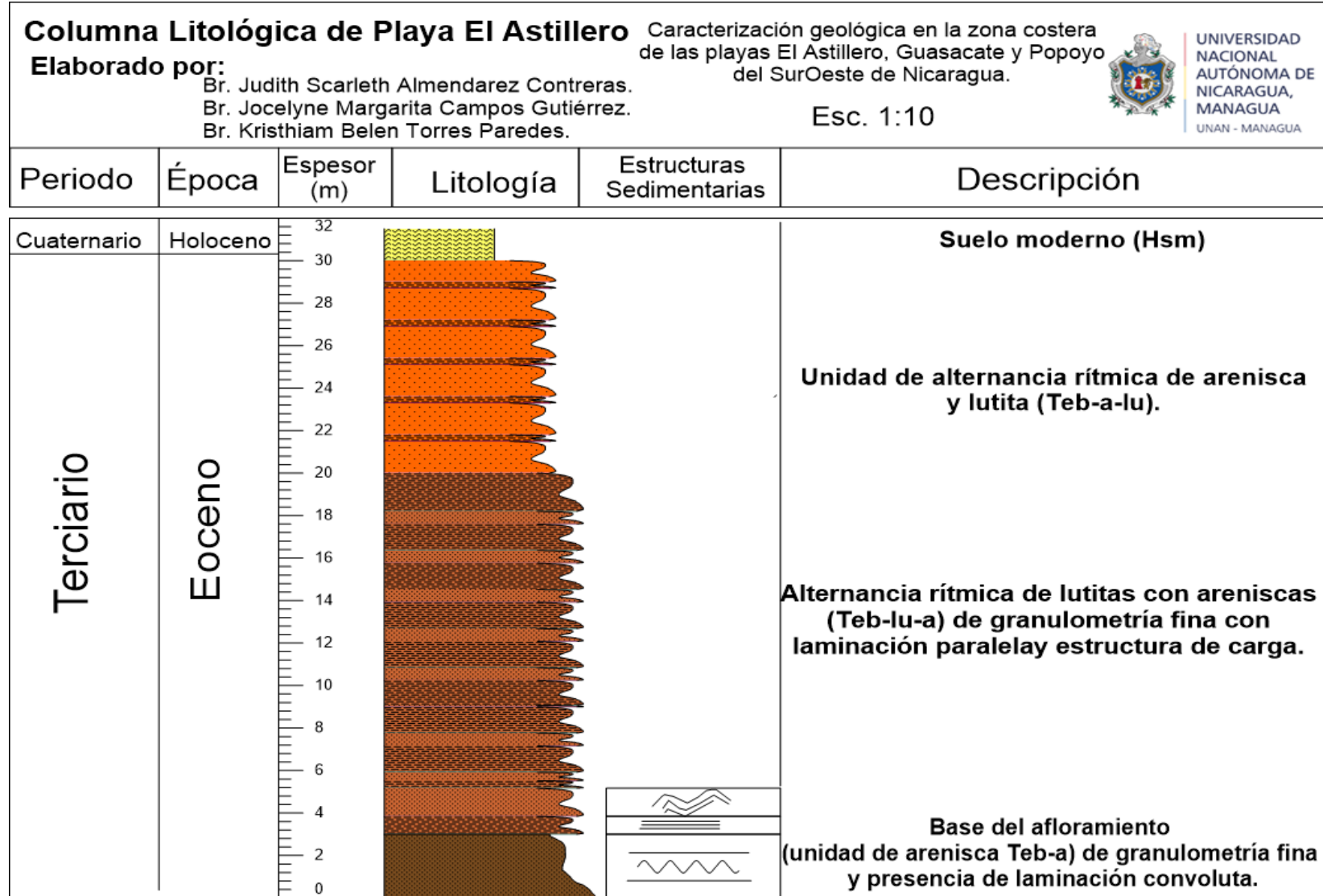


Figura 21. Columna litológica de playa El Astillero.

10.1.2. Geología Estructural.

Los movimientos de las placas litosféricas, en sus bordes constructivos y destructivos, son los responsables de la mayor parte de los procesos de plegamiento y fracturación que actúan sobre la corteza terrestre.

La placa de Cocos es una placa oceánica relativamente pequeña que avanza más de 75 milímetros cada año, por lo tanto, sus movimientos causan subducciones en las placas adyacentes, lo que ocasiona terremotos en toda la región costera centroamericana (*Frischbutter, 2002*).

La cuenca Sandino se localiza en el área de “Ante arco” del Pacífico de Nicaragua paralelo a la Fosa Mesoamericana. Esta cuenca cubre el área de la plataforma del Pacífico y se extiende costadentro hasta la depresión tectónica nicaragüense, donde se localiza el arco volcánico activo (*Darce y Duarte, 2002, p. 2*).

El comportamiento estructural en el área de estudio se debe a la posición de la zona de convergencia en el que se encuentra ubicado, el cual ha formado estructuras geológicas importantes como el anticlinal de Rivas, así como un sistema de fallas que se prolongan hacia el Sur.

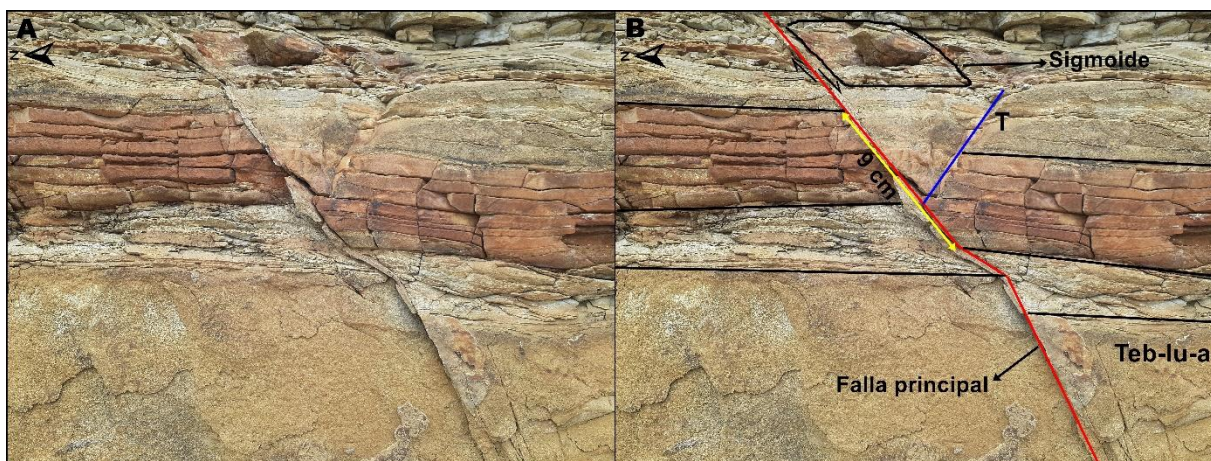
10.1.2.1. Fallamiento Local.

Para llevar a cabo el patrón estructural del área de estudio se realizó un trabajo de campo donde se identificaron los tipos de fallas, fracturas e indicadores cinemáticos presentes, posterior a esto se midieron los datos geométricos (rumbo, buzamiento, desplazamiento de los estratos). Una vez teniendo estos datos se prosiguió a representar las fracturas a través de un diagrama de rosetas y a describir las estructuras encontradas en campo.

Playa El Astillero es una zona de deformación la cual se encuentra afectado por esfuerzos extensivos y compresivos que han sobrepasado el límite dúctil y frágil ocasionando la fracturación de las rocas, asimismo se observaron algunos indicadores cinemáticos los cuales se describen a continuación:

10.1.2.1.1. Falla El Astillero.

La principal estructura que se identificó en esta zona fue una falla de tipo normal rellenada por carbonato de calcio en dirección N58°E y con buzamiento 40° al SE la cual se extiende desde la unidad de arenisca-lutita (Teb-a-lu) hasta introducirse al mar. Se observó un desplazamiento de 9 cm en la capa de arenisca de la unidad de alternancia rítmica de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) presentando sigmoides y una fractura secundaria T que se originaron durante el movimiento de la falla (Fotografía 8).



Fotografía 8. Capa más representativa de arenisca de la unidad (Teb-lu-a). A) Foto sin editar. B) Apreciación del desplazamiento de los estratos, en la cual se generó un sigmoide y una fractura secundaria T producto del movimiento de la falla principal. Coordenadas UTM 1273606N-589855E.

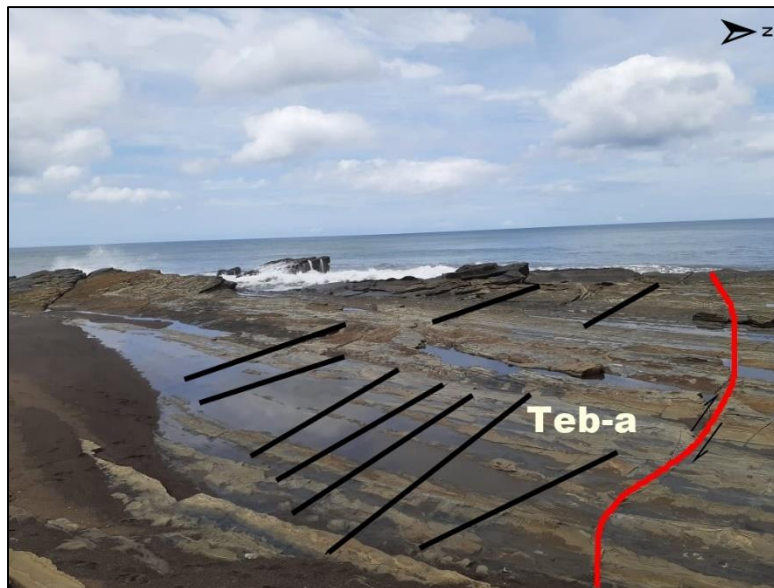
10.1.2.1.2. Fracturas.

Los sedimentos que constituyen las unidades del afloramiento ubicado a orillas de playa El Astillero se encuentran altamente fracturados producto de los esfuerzos que generan las fallas presentes en este macizo rocoso.

En este afloramiento se encontraron 3 tipos de arreglos de fracturas que van en dirección NE-SW las cuales se describen a continuación:

❖ Fracturas Paralelas.

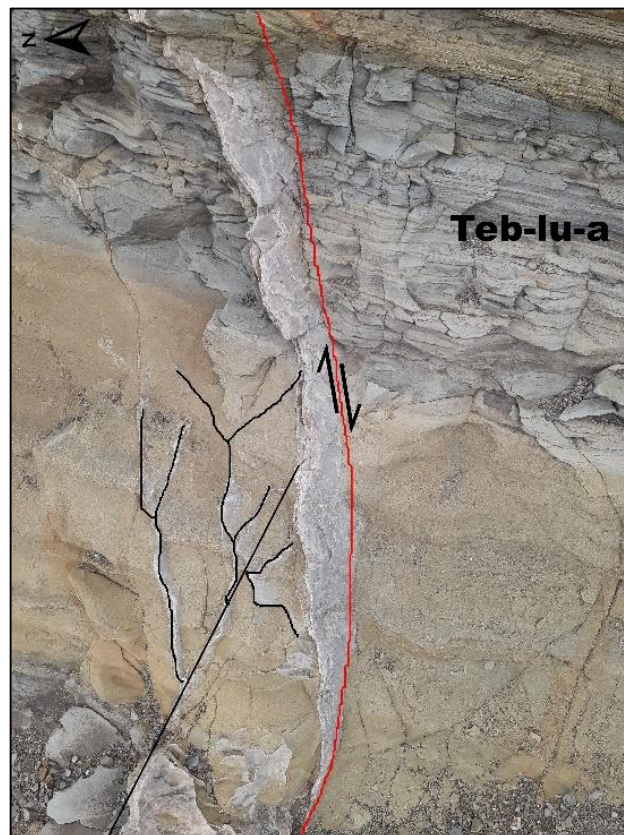
Este sistema de juntas son producto de los esfuerzos compresivos y extensivos que afectan la zona, están presentes en la unidad de areniscas (Teb-a) que sería la base del afloramiento, se encuentran rellenas de carbonato de calcio, van en dirección NE-SW y están ubicadas en las coordenadas 1273606N-589855E (Fotografía 9).



Fotografía 9. Fracturas paralelas rellenas de carbonato de calcio, al lado derecho se aprecia la falla principal con dirección SW en la unidad de arenisca. Coordenadas

❖ Fracturas en abanico.

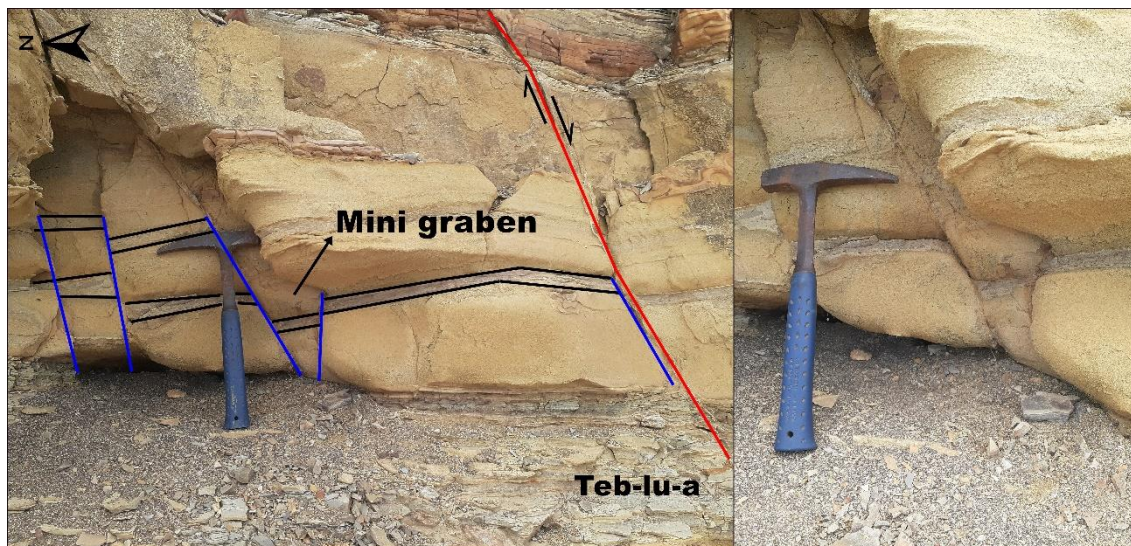
En la unidad de alternancia de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) se encontró este tipo de fracturas curvadas rellenas de carbonato de calcio las cuales van en dirección N-E (Fotografía 10).



Fotografía 10. Fracturas con terminación en abanicos rellenos de carbonato de calcio en dirección NE. Coordenadas UTM 1273606N-589855E

❖ Fracturas escalonadas o en échelon.

También se observaron fracturas escalonadas en la unidad de alternancia de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) con dirección NE las cuales forman un minigraben producto de los esfuerzos aplicados que están asociados a la falla principal (Fotografía 11).



Fotografía 11. Fracturas escalonadas o en échelon en la unidad de alternancia de lutitas y areniscas (Teb-lu-a) en dirección NE. En la imagen se observa un mini graben. Coordenadas 1273606N-589855E.

Se levantaron 100 datos de fracturas en campo para realizar un diagrama de rosetas por cada playa determinando la dirección principal de las fracturas.

Los datos que se tomaron en playa El Astillero fueron en las direcciones NE-NW:

Rango	NE	NW
0-10°	2	
11-20°	5	3
21-30°	10	2
31-40°	6	4
41-50°	5	3
51-60°	4	5
61-70°	9	4
71-80°	12	10
81-90°	9	3

Tabla 3. Rangos de fracturas tomadas en playa El Astillero.

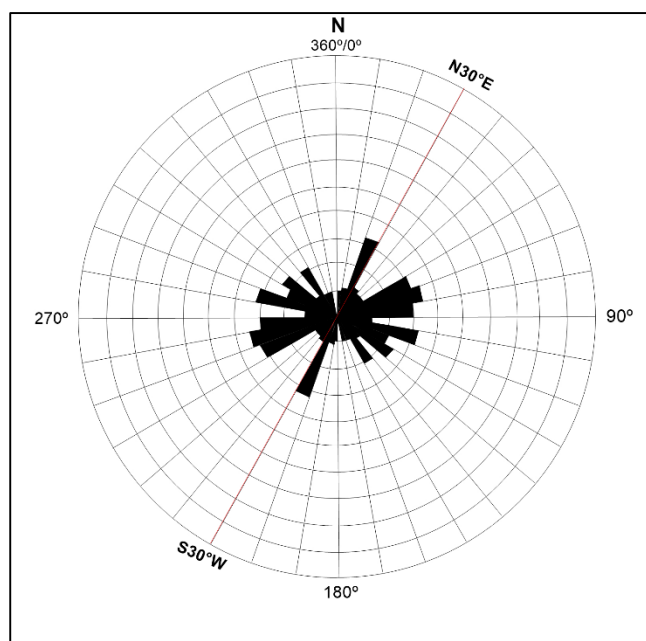


Figura 22. Diagrama de roseta de playa El Astillero.

El diagrama de roseta muestra que la dirección preferencial de las fracturas de playa El Astillero va dentro del rango de 30° en dirección NE. Esto indica que el sentido de rotación va a favor de las manecillas del reloj las cuales están asociadas a la geología regional (Figura 22).

10.2. Playa Guasacate.

10.2.1. Geología Local.

La playa Guasacate se encuentra al NW del departamento de Rivas y a 33 km del Municipio de Tola. Geomorfológicamente es una playa de costa abierta plana que presenta elevaciones rocosas de edad del Eoceno perteneciente a la Formación Brito. Se destaca por ser una playa turística debido a sus piscinas naturales que llaman la atención de los que la visitan (Fotografía 12).

Según estudios realizados de la cuenca Sandino, geológicamente estos afloramientos son de un ambiente marino profundo que quedaron expuestos después de que hubiera una regresión del mar hace muchos años atrás. Dichos afloramientos tienen una altura de aproximadamente 10 metros, se describieron de manera macroscópica con la finalidad de identificar su litología y estructuras geológicas. El rumbo de los ya antes mencionado, van en dirección N60°W N2°W y las capas más representativas tienen un buzamiento de 24°SW y 20°SW.



Fotografía 12. Playa Guasacate.

En playa Guasacate se describieron 2 afloramientos en donde se identificaron 4 unidades litológicas las cuales se representaron en una columna litológica con sus respectivos espesores y estructuras sedimentarias encontradas (Figura 23, pág. 57). A continuación se describen las unidades:

10.2.1. Litología.

10.2.1.1. Unidad de arenisca (Teb-a).

Esta unidad tiene un espesor de aproximadamente 1.90 metros, está compuesta por areniscas de grano fino a medio de color gris verdoso con fracturas rellenas de CaCo_3 , también se encuentra erosionado debido a su contacto con el mar (Fotografía 13).



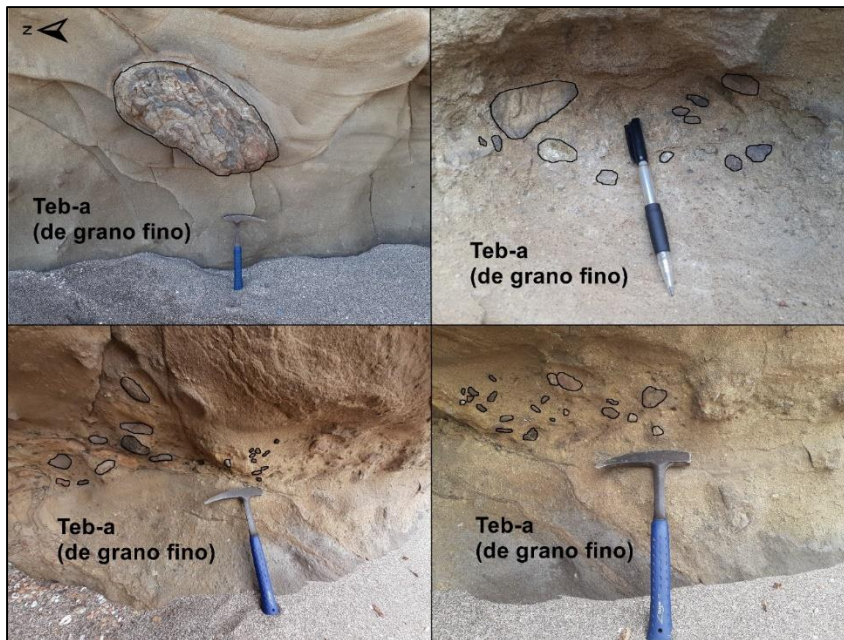
**Fotografía 13. Unidad de areniscas de grano fino a medio. Coordenadas:
1268541N-594178E.**

Muestra estructuras sedimentarias en slump que se originaron por el deslizamiento subacuático de una masa de estratos previamente depositados con espesores que van desde decímetros a varias decenas de metros. En este caso los slumps encontrados son de aproximadamente 0.5 a 1 m (Fotografía 14).



Fotografía 14. Estructuras en Slumps encontrados en la unidad de areniscas de grano fino a medio Coordenadas: 1268541N-594178E.

Esta unidad presenta imbricación de clastos donde el tamaño de ellos según la clasificación de Wentworth varía desde cantos de 200 mm a 100 mm hasta guijarros de 50 mm hasta 2 mm sub redondeados, la dirección del clasto más representativo va al NE, lo que indica que la corriente iba en esta dirección (Fotografía 15).



Fotografía 15. Imbricación de clastos en la unidad de areniscas de grano fino a medio. Coordenadas: 1268541N-594178E.

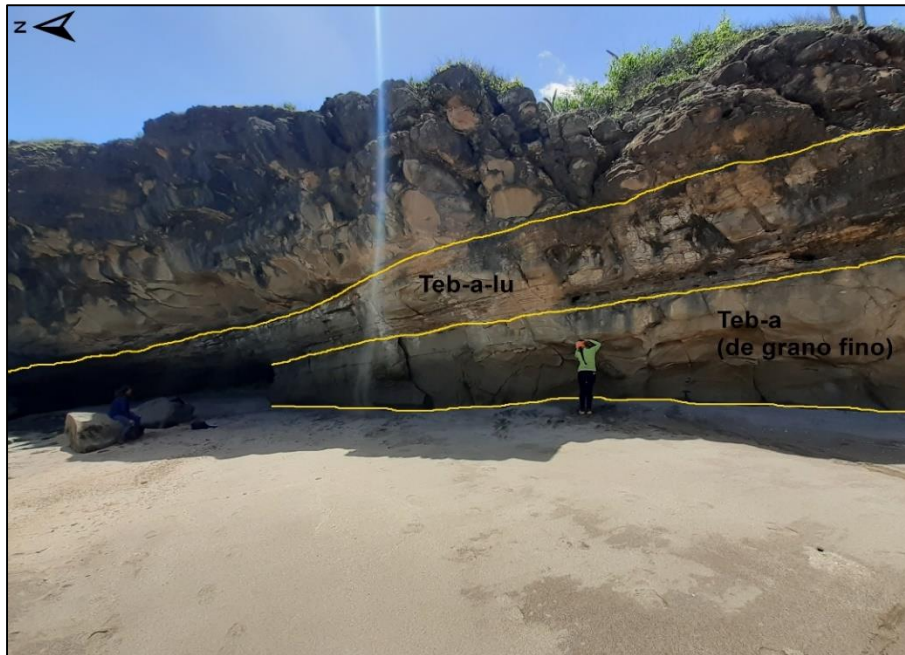
También se identificó microfósiles de la clase de foraminíferos de la especie Nummulites de colores blancos, café y rojos, los cuales indican el ambiente de depositación, en este caso sería un ambiente marino profundo. (Fotografía 16).



Fotografía 16. Fósiles de la especie nummulites encontrados en la unidad de areniscas de grano fino a medio. Coordenadas: 1268541N-594178E.

10.2.1.2. Unidad de alternancia rítmica de areniscas-lutitas (Teb-a-lu).

Se trata de un paquete de areniscas de grano fino con alternancia de capas finas de lutitas muy fracturadas donde su espesor, varía de 0.21 a 0.24 cm. Todo esta unidad tiene un espesor de 1.78 m de color gris verdoso y amarillo debido a alteraciones por oxidación presentando laminación convoluta (Fotografía 17 y 18).



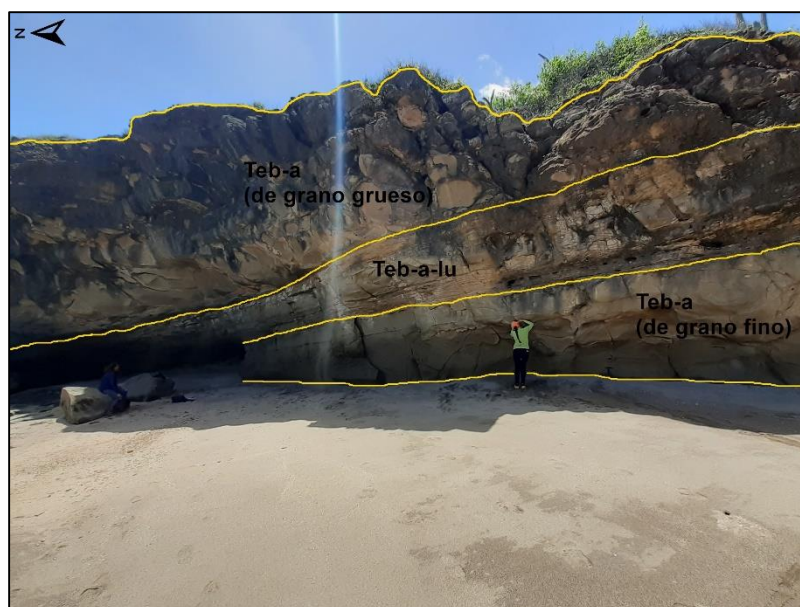
**Fotografía 17. Unidad de arenisca con intercalación de lutita (Teb-a-lu).
Coordenadas: 1268541N-594178E.**



**Fotografía 18. Laminación convoluta en la unidad de arenisca con
intercalación de lutita (Teb-a-lu). Coordenadas: 1268541N-594178E.**

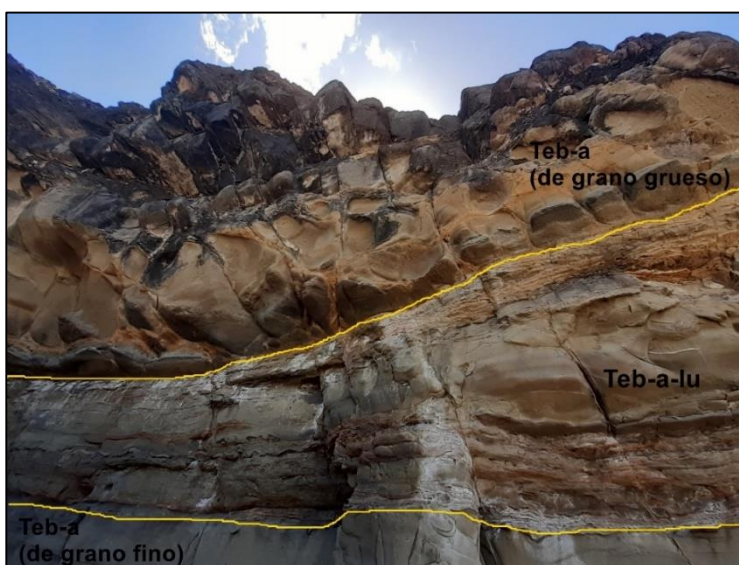
10.2.1.3. Unidad de arenisca de grano grueso (Teb-a).

Sobreyaciendo a la unidad de areniscas-lutitas se encuentra una arenisca de forma masiva, con un espesor de aproximadamente 6 metros, de color amarillo y negro superficialmente producto de alteraciones químicas (Fotografía 19).



Fotografía 19. Unidad de arenisca de grano grueso. Coordenadas: 1268541N-594178E.

Esta unidad presenta meteorización esférica debido a la alteración química por elementos ferrosos, de la roca masiva unida sistemáticamente que dan lugar a una roca llamada “saprolita” la cual ha sido afectada por la erosión física, por lo tanto, da como resultado la forma concéntrica que se observa en la unidad (Fotografía 20).



Fotografía 20. Meteorización esférica en la unidad de arenisca de grano grueso. Coordenadas: 1268541N-594178E.

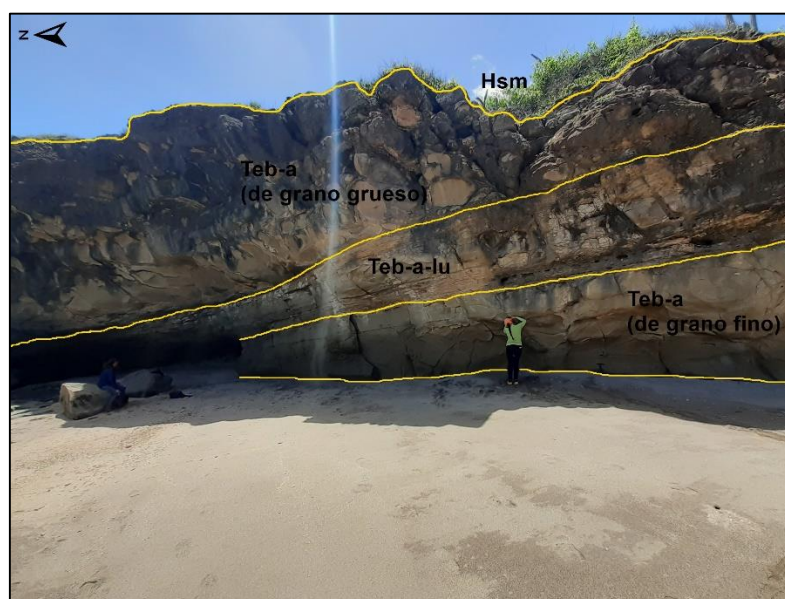
En esta unidad también se encontró una estructura sedimentaria llamada burrows o mejor conocidas como “galerías”, éstas se originan poco después de haberse depositado el sedimento a causa de la actividad excavadora de diferentes animales (crustáceos, bivalvos etc.), que viven dentro del estrato o buscan alimentos dentro de él (Fotografía 21).



Fotografía 21. Estructura sedimentaria conocida como burrow o galerías encontradas en la unidad de arenisca de grano grueso (Teb-a). Coordenadas 1268541N-594178E.

10.2.1.4. Suelo moderno (Hsm).

Es la parte superior y más joven del afloramiento, se trata de un suelo moderno color café oscuro que contiene abundante materia orgánica debido a su contacto con la vegetación, su espesor es de 40 cm aproximadamente (Fotografía 22).



Fotografía 22. Secuencia de todas las unidades encontradas. El techo del afloramiento es el suelo moderno (Hsm). Coordenadas: 1268541N-594178E.

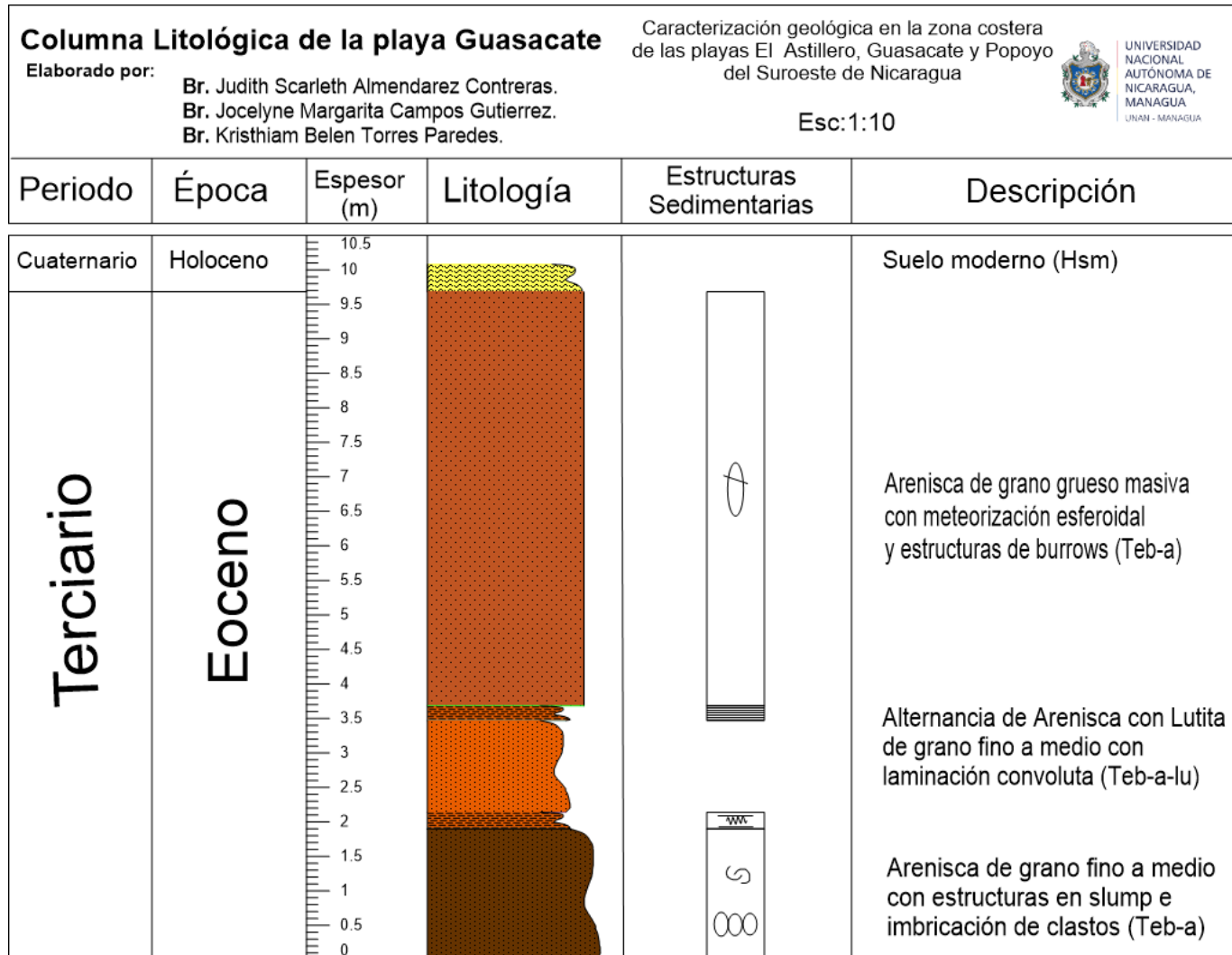


Figura 23. Columna litológica de playa Guasacate.

10.2.2. Geología estructural.

10.2.2.1. Fallamiento local.

Mediante la observación e interpretación de los afloramientos en playa Guasacate, se identificaron fallas laterales, asimismo se reconocieron sus indicadores cinemáticos y se clasificó el arreglo geométrico de las fracturas. A continuación, se describen cada una de las estructuras encontradas:

10.2.2.1.1. Falla Guasacate 1.

En el primer punto se encontró una falla lateral con un desplazamiento de 22 cm del bloque izquierdo, la cual está afectando a la unidad de arenisca (Teb-a) de grano grueso y la unidad de arenisca con alternancia de lutita (Teb-a-lu). El rumbo de esta falla es $N12^{\circ}E$ con buzamiento EF (Este franco). Como indicadores cinemáticos relacionados a esta falla, se identificaron sigmoides verticales (Fotografía 23).



*Fotografía 23. Falla lateral izquierda, la línea roja representa la falla, las figuras romboides en color negro representan los sigmoides, la línea amarilla divide las unidades geológicas.
Coordenadas: 1268541N-594178E.*

10.2.2.1.2. Falla Guasacate 2.

En el segundo punto se identificó una falla con un desplazamiento de 2.9 m del bloque izquierdo con rumbo EW, la cual está afectando a la unidad de arenisca de grano grueso (Teb-a), donde también se observó fracturas paralelas al plano de falla. (Fotografía 24).



Fotografía 24. Falla lateral izquierda, la línea roja indica el plano de falla y el sentido de movimiento. Coordenadas: 1268541N-594178E.

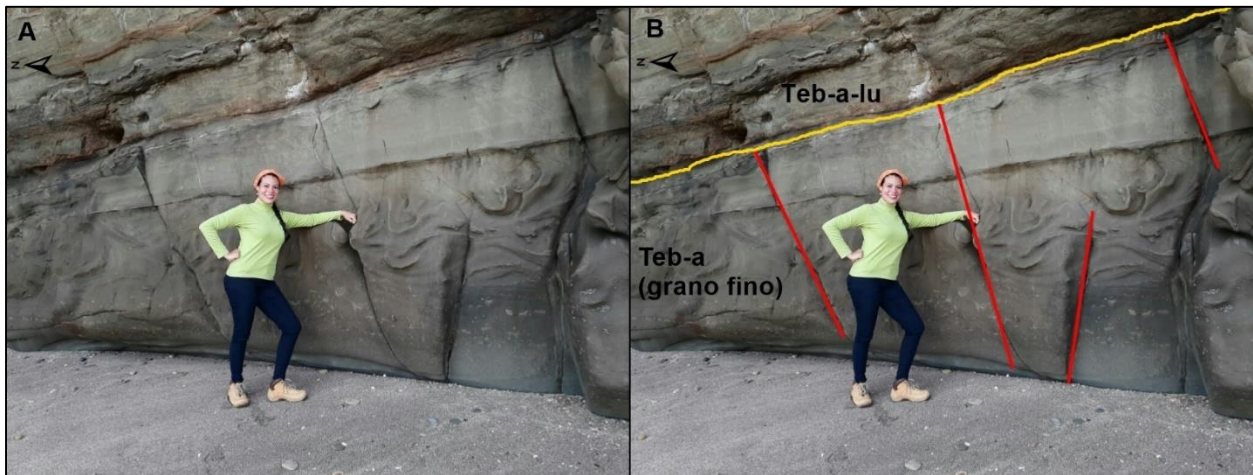
Como indicadores cinemáticos se identificaron sigmoides sub verticales que se formaron al momento del movimiento de la falla, el plano de falla se encuentra relleno por una brecha de falla compactada de clastos angulares (Fotografía 25).



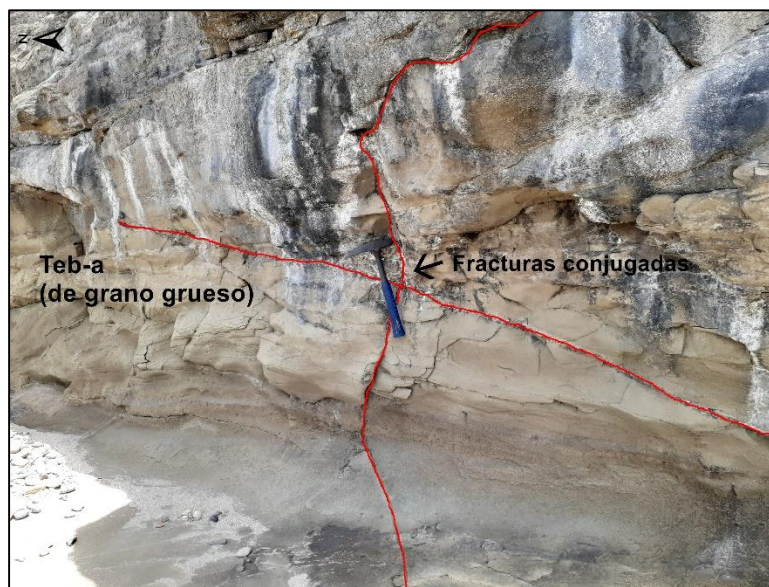
Fotografía 25. Estructura sigmoide encontrada en la falla lateral. Coordenadas: 1268541N-594178E.

10.2.2.1.3. Fracturas.

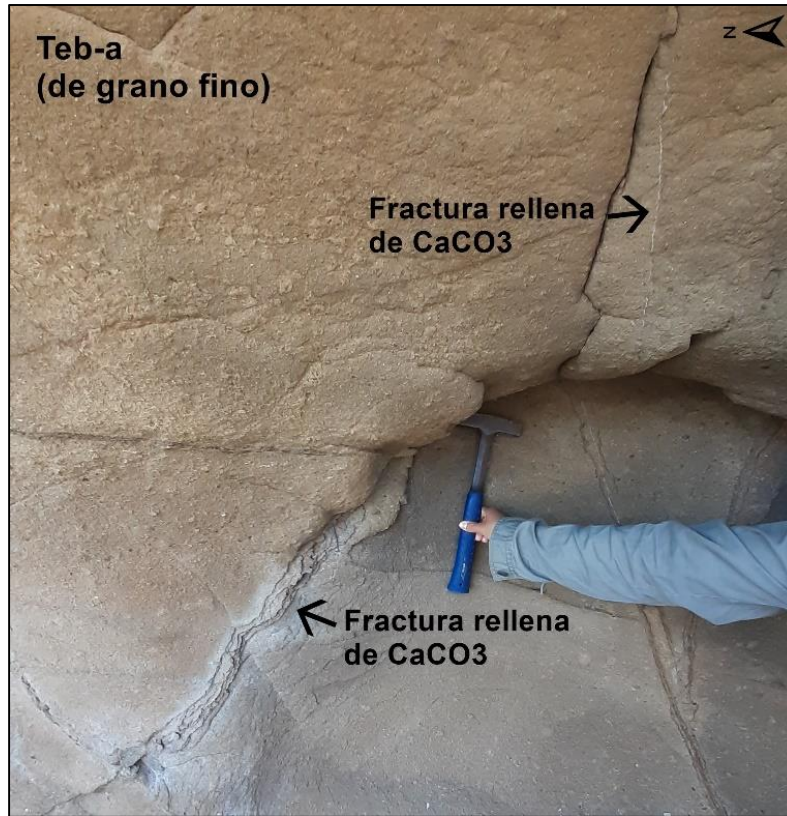
En playa Guasacate se encontraron 2 tipos de arreglos de fracturas: conjugadas y paralelas que son el resultado del comportamiento frágil de las rocas ante los esfuerzos a los que son sometidos. Estas fracturas están rellenas de Carbonato de calcio (CaCO_3), afectan a las unidades de areniscas y van en dirección NE-NW lo que nos indica que los esfuerzos están relacionados a la zona de subducción de la placa Cocos y Caribe. (Fotografía 26, 27 y 28).



Fotografía 26. Fracturas paralelas representadas por las líneas de color rojo. Coordenadas: 1268541N-594178E.



Fotografía 27. Fracturas conjugadas representadas por las líneas rojas, las líneas amarillas marcan el límite de las unidades a las que están afectando. Coordenadas: 1268541N-594178E.



Fotografía 28. Fractura rellena de carbonato de calcio encontrada en la unidad de arenisca de grano fino (Teb-a). Coordenadas: 1268541N-594178E.

Los datos que se tomaron para las fracturas en playa Guasacate fueron en las direcciones NE y NW:

Rango	NE	NW
0-10°	14	9
11-20°	8	16
21-30°	6	3
31-40°	7	3
41-50°	4	2
51-60°	4	6
61-70°	4	3
71-80°	4	4
81-90°	6	2

Tabla 4. Rangos de fracturas tomadas en playa Guasacate.

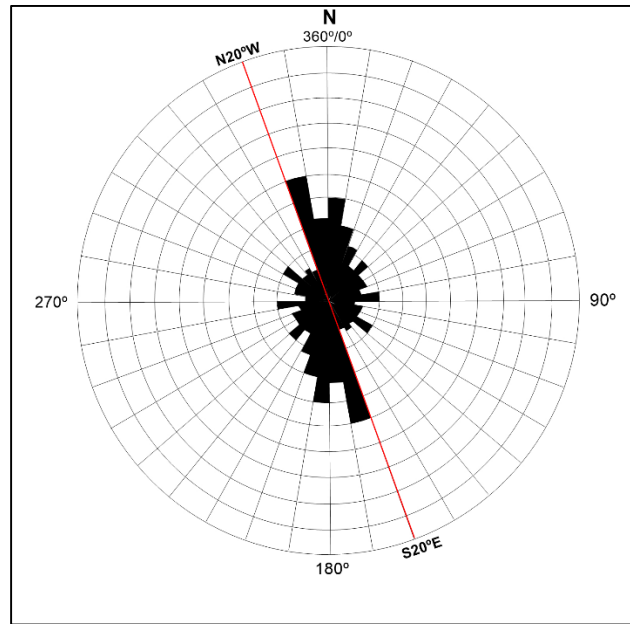


Figura 24. Diagrama de roseta de playa Guasacate.

El diagrama de roseta muestra que la dirección preferencial de las fracturas de playa Guasacate va dentro del rango de 20° en dirección NW, asociado a la estructura regional de la fosa Mesoamericana que tiene un rumbo NW, rotando a favor de las manecillas del reloj (Hodgson. G., 2000) (Figura 24).

10.3. Playa Popoyo.

10.3.1. Geología Local.

Esta playa se encuentra situada en el departamento de Rivas, al Noroeste del municipio de Tola, es una de las playas más extensas del litoral pacífico con una extensión aproximada de 2 kilómetros de longitud y limitada por dos salientes rocosas, Punta Sardina y Punta Santa Ana (Fotografía 29).

En las coordenadas 1266169N-597676E se encontró un afloramiento constituido por rocas sedimentarias de edad del terciario pertenecientes a la formación Brito y asociados a un ambiente deposicional marino, el cual se encuentra erosionado debido al contacto con el mar y altamente fracturado. Este macizo rocoso va en dirección N-S y el buzamiento de la capa más representativa es de 10° NE y tiene una altura de 11 m aproximadamente (Fotografía 29).



Fotografía 29. Playa Popoyo.

En playa Popoyo se identificaron 6 unidades litológicas las cuales se describen a continuación:

10.3.1.1. Litología.

10.3.1.1.1. Unidad de areniscas de grano fino a medio (Teb-a).

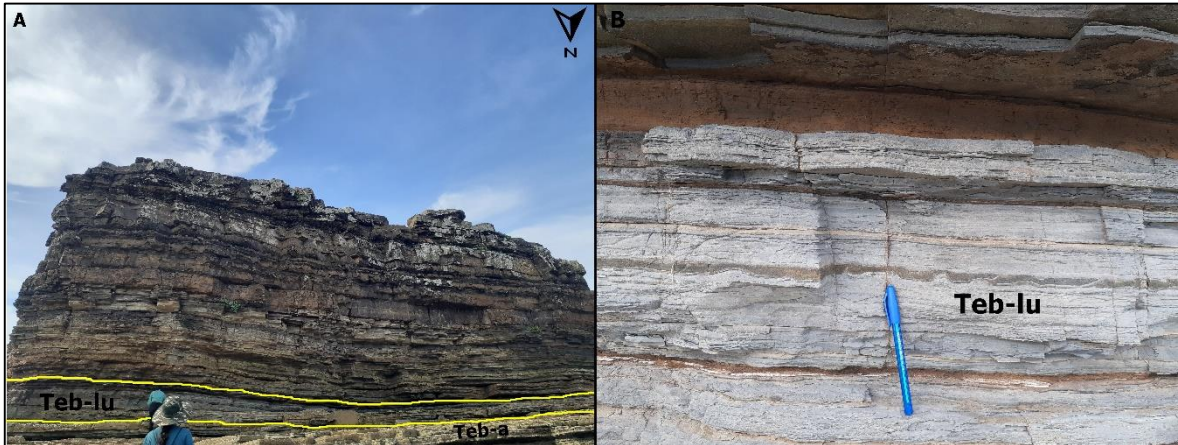
Está constituida por areniscas de matriz silíceas, sus granos van de finos a medios, bien redondeados y muy bien clasificados de color café claro y tiene un espesor de 3 metros aproximadamente, se presenta altamente fracturada con estratificación laminar. (Fotografía 30).



*Fotografía 30. Unidad de areniscas de grano fino a medio (Teb-a) (base del afloramiento).
Coordenadas 1266169N-597676E.*

10.3.1.1.2. Unidad de lutita de grano fino (Teb-lu).

El espesor de esta unidad es de 1 metro, está compuesta por delgadas capas de lutita de grano fino, bien redondeados y muy bien clasificados de aproximadamente 1 cm de espesor, son de color gris claro y presenta estratificación laminar. (Fotografía 31).

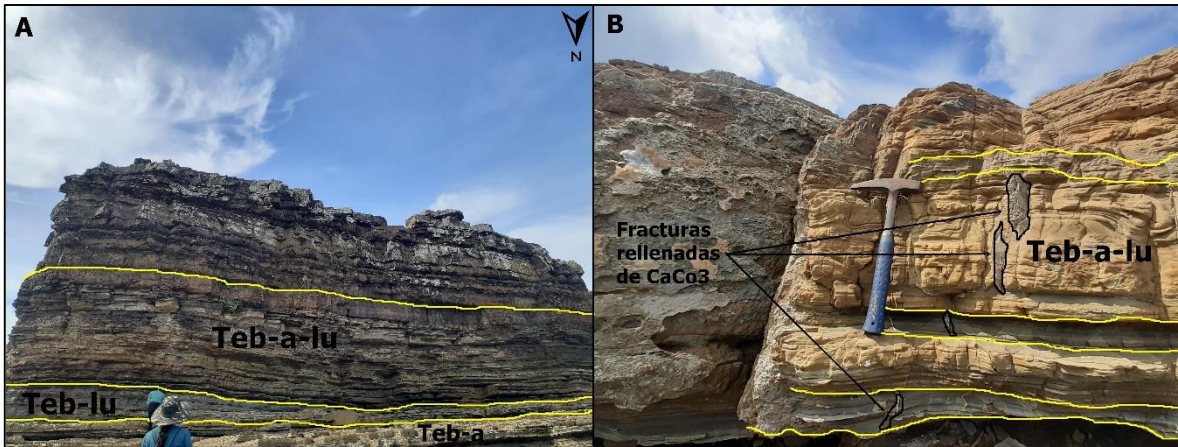


Fotografía 31. A) Unidad de lutitas de grano fino (Teb-lu). B) Lutitas con laminación paralela.
Coordenadas 1266169N-597676E.

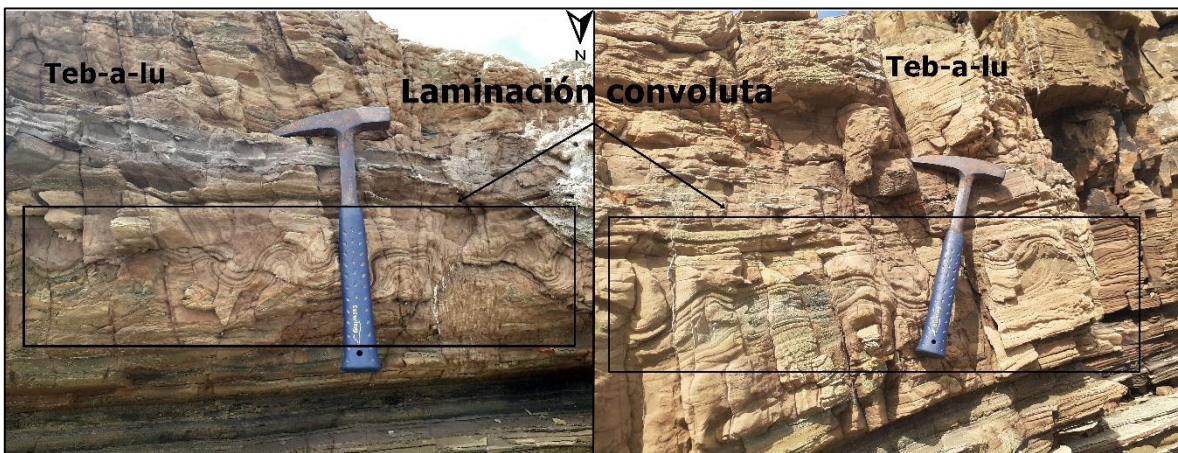
10.3.1.1.3. Unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas (Teb-a-lu).

Esta unidad se destaca por la sucesión rítmica de areniscas y lutitas la cual tiene un espesor de 2.7 metros. Sus granos van de finos a medios, bien redondeados y muy bien clasificados.

Las capas de areniscas tienen espesores que varían de 10 a 14 cm y son de color amarillo ocre, y las capas de lutitas tienen espesores que van de los 3 a 10 cm y son de color gris verdoso. Esta unidad presenta fracturas rellenas de carbonato de calcio y se identificaron dos tipos de estructuras sedimentarias: laminación convoluta y estratificación laminar (Fotografía 32 y 33).



Fotografía 32. A) Unidad de areniscas y lutitas (Teb-a-lu). B) Alternancia de arenisca y lutita (Teb-a-lu) con fracturas rellenas de CaCo3 en el afloramiento. Coordenadas 1266169N-597676E.



Fotografía 33. Laminación convoluta presente en la unidad de alternancia rítmica de areniscas y lutitas (Teb-a-lu). Coordenadas 1266169N-597676E.

10.3.1.1.4. Unidad de areniscas de grano medio (Teb-a).

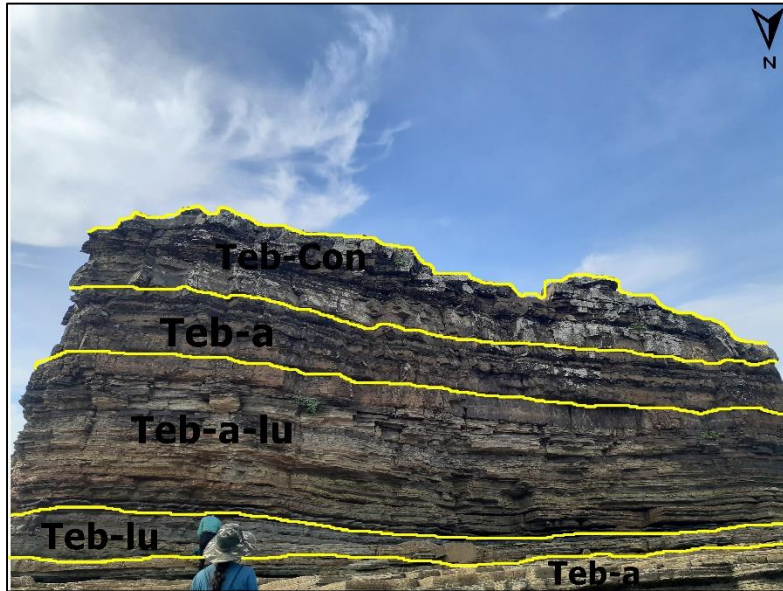
Compuesta de arenisca de matriz silíceosa la cual tiene un espesor de aproximadamente 1.8 metros, se encuentra de forma masiva y altamente fracturada, es de color café oscuro y marrón. (Fotografía 34).



Fotografía 34. Unidad de areniscas de grano medio (Teb-a). Coordenadas 1266169N-597676E.

10.3.1.1.5. Unidad de conglomerado (Teb-Con).

Esta unidad tiene un espesor aproximado de 2 metros, se compone en su mayoría de fragmentos subredondeados de color café oscuro y en la parte superior presenta un color blanco debido a su alto contenido de carbonato de calcio (CaCo_3) (Fotografía 35).

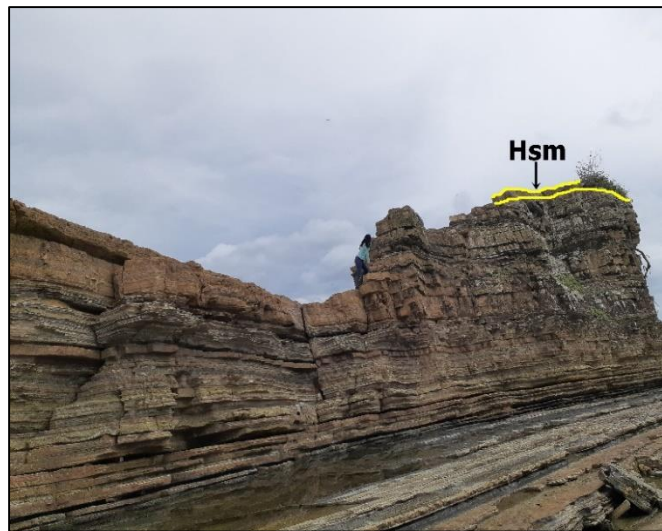


Fotografía 35. Unidad de conglomerado ubicado en las coordenadas 1266169N-597676E.

10.3.1.1.6. Suelo moderno (Hsm).

Es un suelo moderno de aproximadamente 40 cm de espesor de color café oscuro, arenoso, gravoso, y de poca materia orgánica. (Fotografía 36).

Una vez descritas las unidades litológicas, se procedió a realizar la columna litológica de playa Popoyo representando sus respectivos espesores y sus estructuras sedimentarias encontradas (Figura 25).



Fotografía 36. Suelo Moderno (Hsm).
Coordenadas 1266169N-597676E.

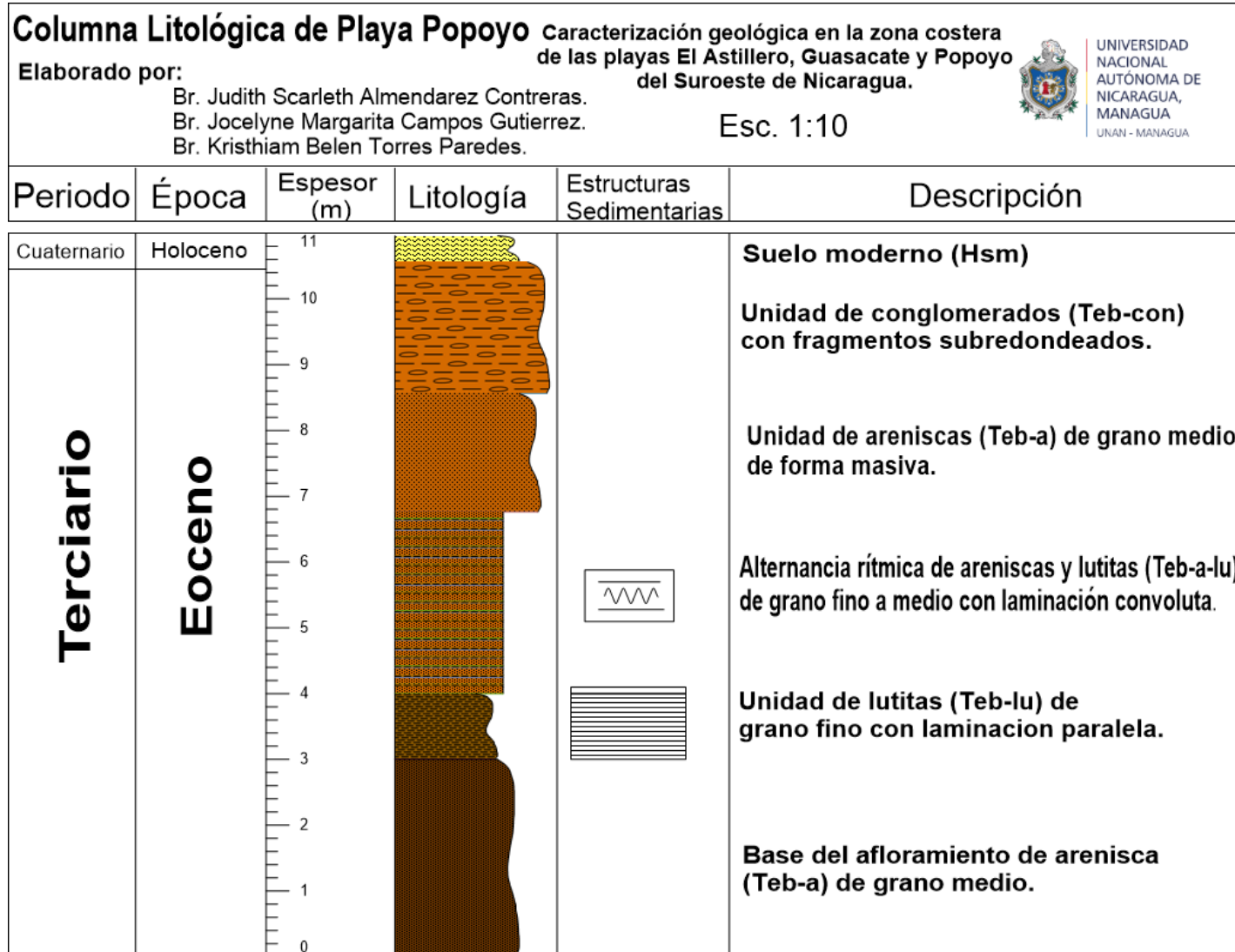


Figura 25. Columna litológica de playa Popoyo.

10.3.2. Geología estructural.

10.3.2.1. Fallamiento local.

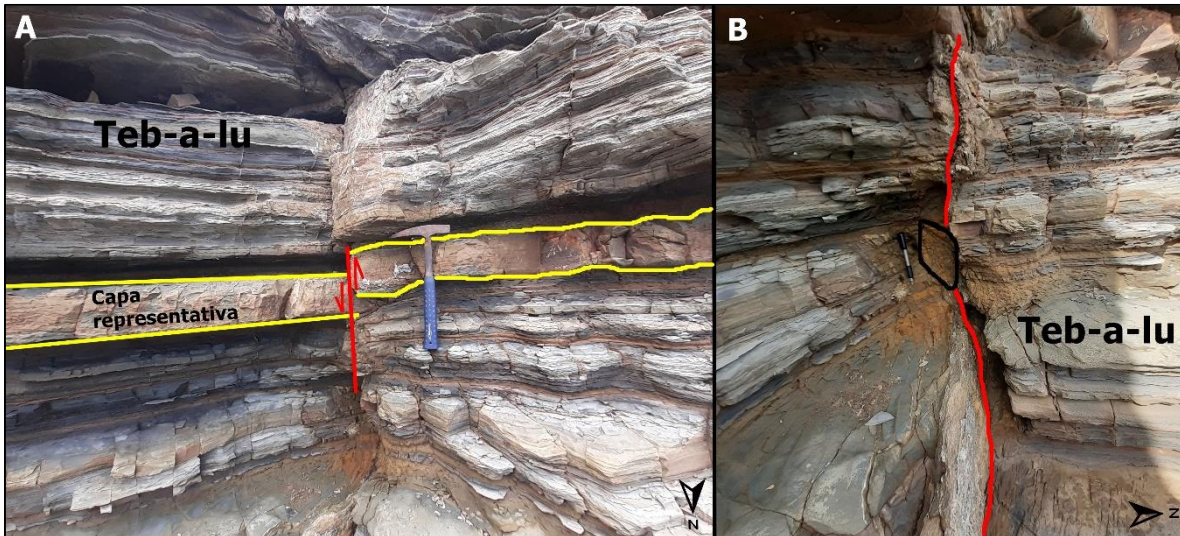
El afloramiento en estudio de la playa Popoyo estructuralmente se encuentra afectada por una falla principal que corta todas las unidades que la conforman la cual se refleja desde la unidad de arenisca (Teb-a) de la base hasta la unidad de arenisca y lutitas (Teb-a-lu), ya que las demás unidades que sobreyacen a esta última se encuentran erosionadas. De esta manera se identificaron indicadores cinemáticos y se clasificaron las fracturas de acuerdo a su arreglo geométrico.

Para determinar los elementos de la falla principal se realizó la observación en el campo y se tomaron los datos geométricos de cada una de las estructuras encontradas. A continuación, se describen las estructuras identificadas en playa Popoyo:

10.3.2.1.1. Falla Popoyo.

Se trata de una falla de tipo normal con una pequeña componente lateral derecha que va en dirección N60°E con buzamiento 70°SE desplazando horizontalmente al bloque derecho respecto al bloque izquierdo, las capas más representativas se mueven de manera vertical de modo que el bloque de techo se mueve hacia abajo con respecto al bloque de piso.

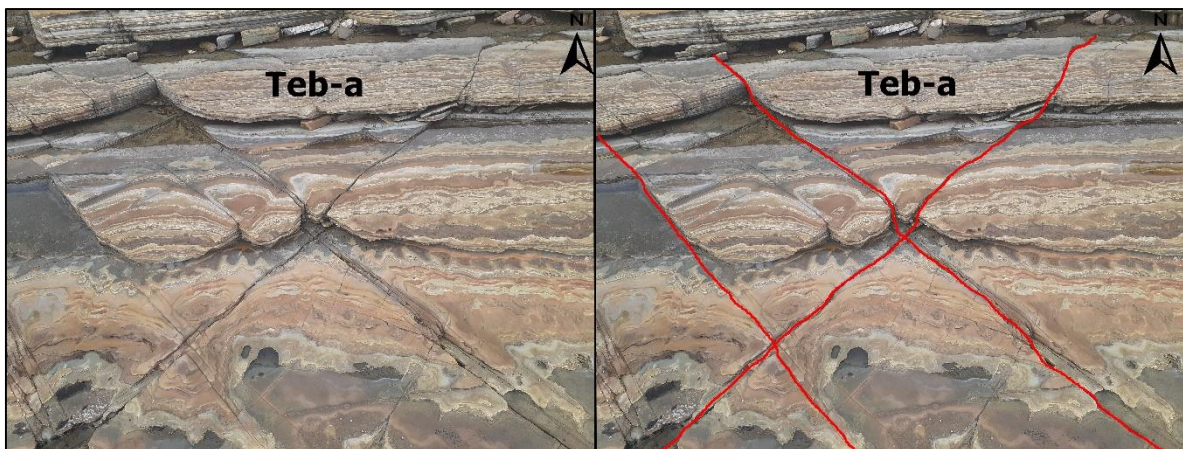
El desplazamiento horizontal es de 24 cm y el desplazamiento vertical es de 12 cm, la falla se encuentra rellena de carbonato de calcio (CaCo₃) cristalizado y como indicador cinemático muestra una estructura sigmoidal vertical rotando en sentido contrario a las manecillas del reloj (Fotografía 37).



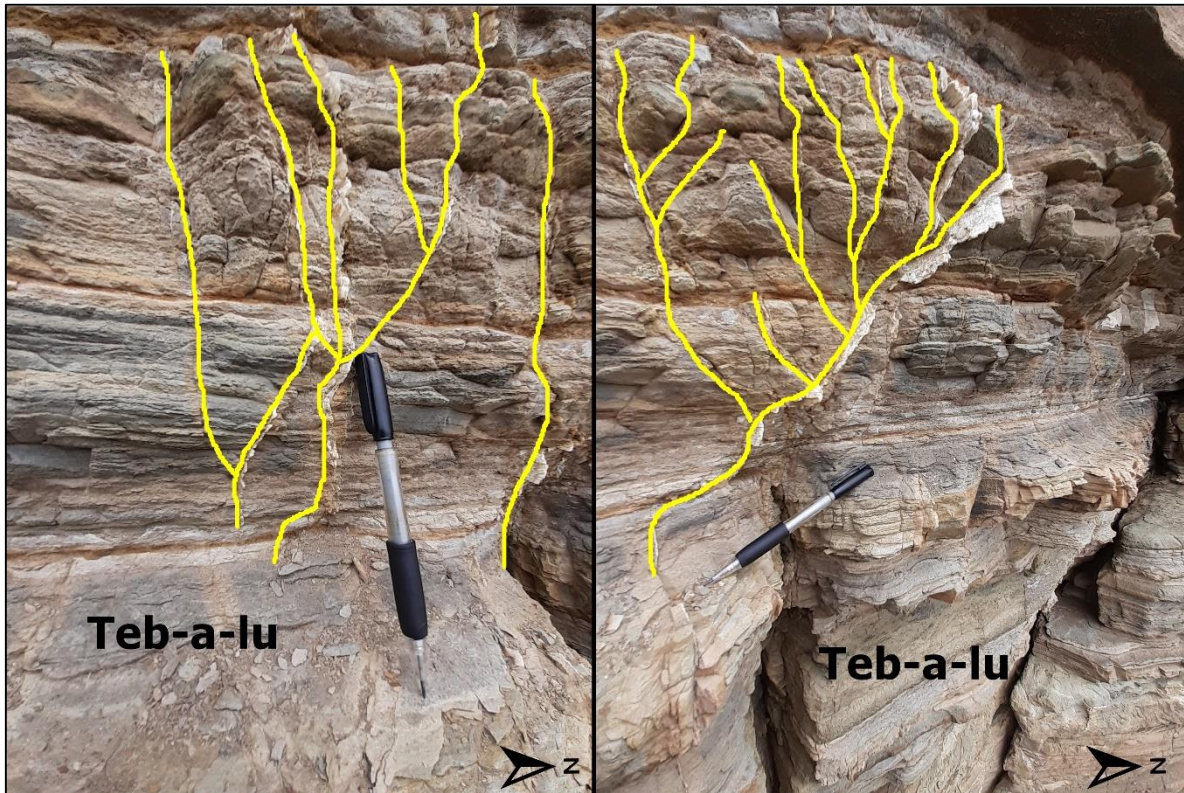
Fotografía 37. A) Capas desplazadas verticalmente, B) Movimiento lateral de los bloques con presencia de una estructura sigmoidal. Coordenadas 1266169N-597676E.

10.3.2.1.2. Fracturas.

El afloramiento de playa Popoyo se encuentra altamente fracturado debido a los esfuerzos que afectan al área de estudio, generando dos tipos de arreglos de fracturas: conjugadas y en abanico las cuales se encuentran rellenas de carbonato de calcio cristalizado. Estas fracturas se observaron en la base del afloramiento constituido por arenisca (Teb-a) y en la unidad de areniscas y lutitas (Teb-a-lu), van en dirección NW y NE (Fotografía 38 y 39).



Fotografía 38. Sistema de fracturas conjugadas en la unidad de areniscas de la base del afloramiento. Coordenadas 1266169N-597676E.



Fotografía 39. Fractura con terminación de abanico rellena de CaCo3 cristalizado en la unidad de arenisca y lutita (Teb-a-lu). Coordenadas 1266169N-597676E.

Los datos que se tomaron para las fracturas en playa Popoyo fueron en las direcciones NE y NW:

Rango	NE	NW
0-10°	9	6
11-20°	4	9
21-30°	13	21
31-40°	9	11
41-50°	3	2
51-60°	6	2
61-70°	3	2
71-80°		
81-90°		

Tabla 5. Rangos de fracturas tomadas en playa Popoyo.

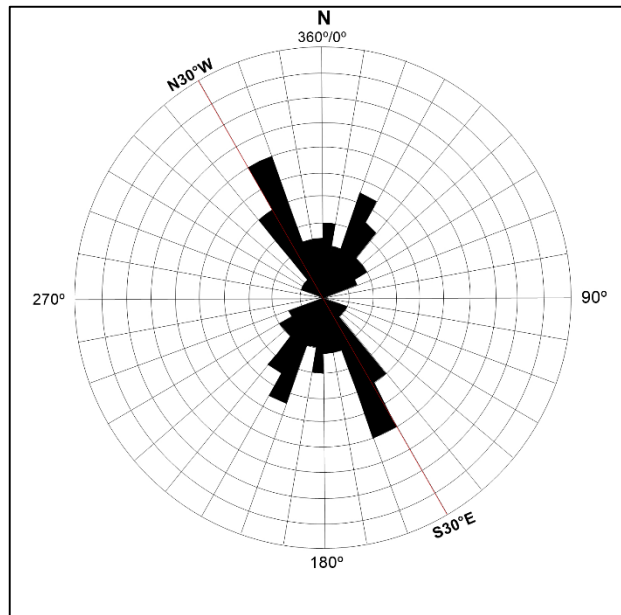


Figura 26. Diagrama de roseta de playa Popoyo.

El diagrama de roseta muestra que la dirección preferencial de las fracturas de playa Popoyo va dentro del rango de 30° en dirección NW, debido a que se encuentra una estructura regional conocida como fosa Mesoamericana cercana a la zona (Figura 26).

Una vez descritas las unidades litológicas y las estructuras geológicas identificadas en las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo, se elaboró el mapa geológico el cual representa las estructuras y las formaciones geológicas cercanas a la zona de estudio (Figura 27).

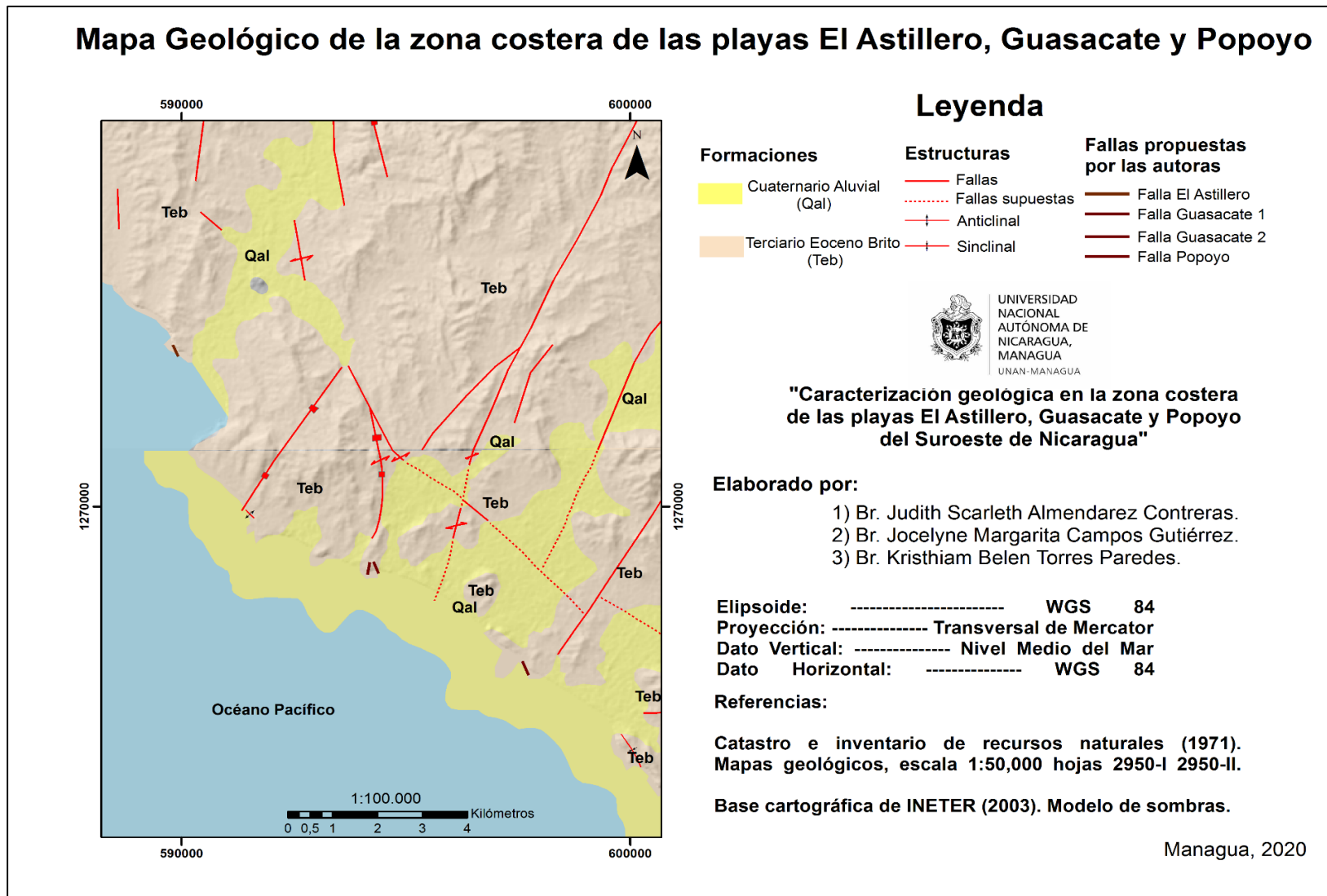


Figura 27. Mapa geológico de la zona costera de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.

10.4. Correlación Estratigráfica.

Para llevar a cabo la correlación estratigráfica se utilizó el método de correlación lito-estratigráfico, tomando en cuenta las características litológicas similares de las unidades encontradas en playas El Astillero, Guasacate y Popoyo. Una vez teniendo las columnas litológicas, se procedió a comparar las unidades que más se asemejan (Figura 28):

- Unidad de arenisca (Teb-a): presente en el basamento de las tres columnas. Esta unidad tiene un espesor de 3 m en la columna de El Astillero y Popoyo y 1.9 m en Guasacate, su granulometría es fina y sus colores se presentan de gris a café claro.
- Unidad de alternancia rítmica de lutitas y arenisca (Teb-lu-a): presente en la columna de El Astillero y Popoyo. El espesor que tiene en la columna de El Astillero es de 20 m y en Popoyo es de 1 m, su granulometría es fina, el color de las lutitas es gris claro y el de la arenisca anaranjado.
- Unidad de alternancia rítmica de lutitas y areniscas (Teb-a-lu): presente en las tres columnas. El espesor de la columna de El Astillero es de 10 m, en Guasacate 1.78 m y en Popoyo 2.7 m, su granulometría va de fina a media. Las areniscas de El Astillero se presentan de color café claro y las lutitas son gris claro, en Guasacate y Popoyo las areniscas son de color amarillo y las lutitas de color gris verdoso.
- Unidad de areniscas de grano grueso a medio (Teb-a): presente en la columna de Guasacate con un espesor de 6 m y son de color amarillo y negro, y en Popoyo tiene un espesor de 1.8 m y sus colores van de café oscuro a marrón.
- Suelo Moderno (Hsm): presente en las tres columnas. Tiene un espesor de 1.5 m en El Astillero, 0.4 en Guasacate y Popoyo, es de color café y contiene materia orgánica.

Correlación estratigráfica

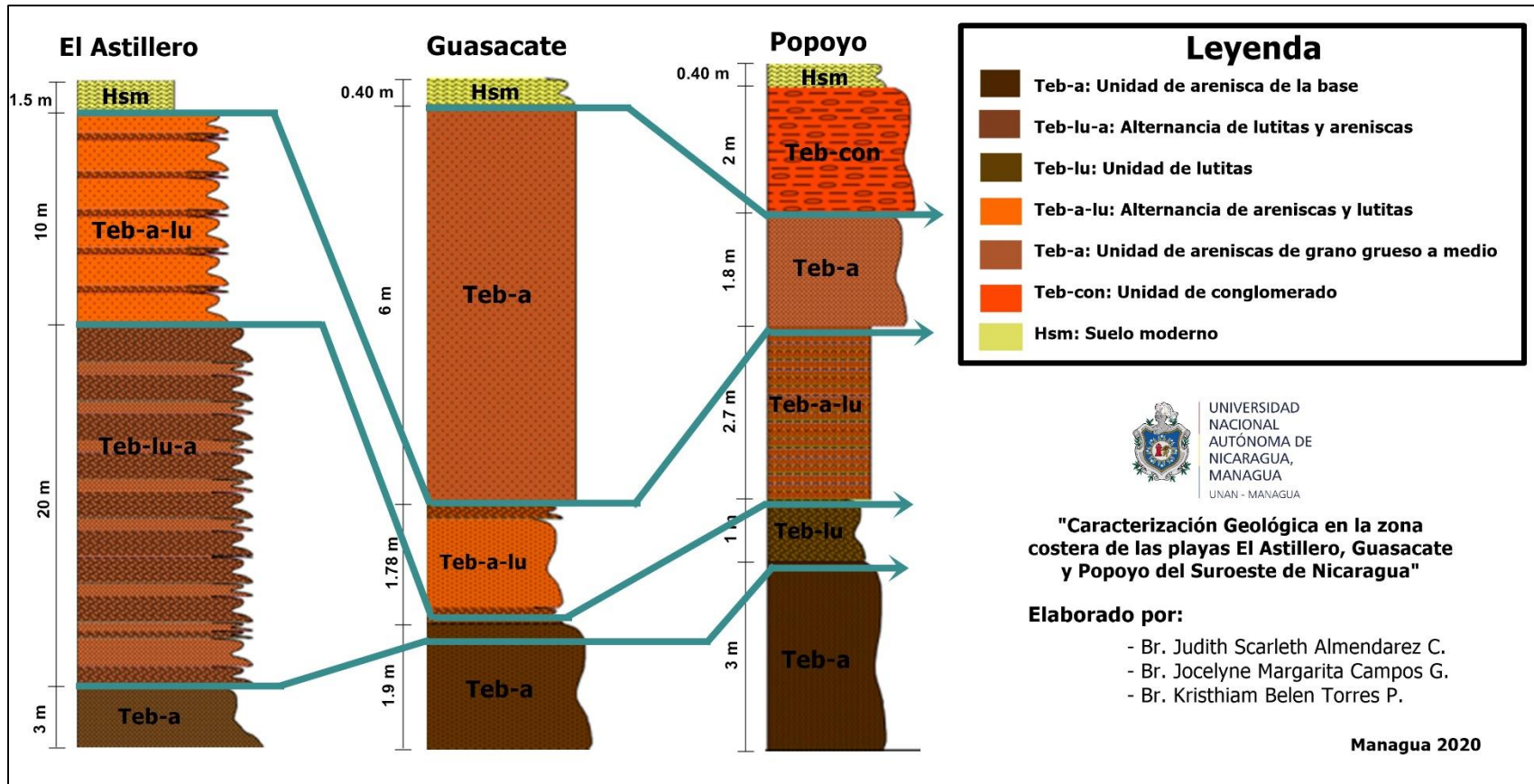


Figura 28. Correlación Estratigráfica de las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo.

XI. CONCLUSIONES.

Mediante los análisis y resultados se concluye que el área de estudio está compuesta por rocas sedimentarias del terciario y está siendo afectada por esfuerzos compresivos y extensivos los cuales generaron una zona de deformación conformado por fallas y fracturas, debido a que están cercanos a la zona de subducción de la placa Cocos y Caribe:

- 1) En las playas El Astillero, Guasacate y Popoyo se encontraron 7 unidades litológicas: unidad de arenisca de grano fino (Teb-a), unidad de lutitas (Teb-lu), unidad de lutitas con alternancia de areniscas (Teb-lu-a), unidad de areniscas con alternancia de lutitas (teb-a-lu), unidad de areniscas de grano grueso a medio (Teb-a), unidad de conglomerados (Teb-con) y el suelo moderno (Hsm).
- 2) Con las columnas levantadas se realizó la correlación estratigráfica en donde se evidenció que son sedimentos marinos profundos de edad del terciario ubicados en la cuenca de sedimentación Sandino, pertenecientes a la Formación Brito de la Provincia del Pacífico de Nicaragua. Las unidades que se correlacionaron fueron las siguientes: unidad de areniscas de grano fino (teb-a) y unidad de areniscas con alternancia de lutitas (teb-a-lu) encontradas en las tres columnas, unidad de areniscas de grano grueso a medio (teb-a) identificadas en las columnas de Playa Guasacate y Playa Popoyo.
- 3) En el área de investigación se encontraron fallas geológicas normales y laterales. Los indicadores cinemáticos identificados fueron: una estructura T, sigmoides y brecha de falla. También se identificaron arreglos de fracturas tales como conjugadas, con terminación abanico y paralelas.
- 4) Se tomaron datos estructurales de fracturas para determinar el patrón estructural e indicar la dirección preferencial de éstas mediante el diagrama de rosetas, el cual dio como resultado que las fracturas de playa Popoyo van

en dirección N30°W, playa Guasacate N20°W y playa El Astillero N30°E las cuales están asociadas a las estructuras lineales geológicas de Nicaragua.

XII. RECOMENDACIONES.

Se recomienda:

- 1) No realizar obras civiles en playa El Astillero y Popoyo debido a que las rocas están completamente fracturadas y erosionadas.
- 2) A las autoridades nacionales responsables del control de mareas brindar información actualizada.
- 3) Realizar investigaciones enfocadas al geoturismo para las playas estudiadas.
- 4) Si se desea acceder a los afloramientos de las playas estudiadas se recomienda revisar con anticipación las mareas.
- 5) Si se requiere visitar los afloramientos de las playas se recomienda hacerlo en tiempo de verano, ya que los esteros y ríos suelen llenarse en invierno y obstaculizan el acceso hacia estas playas.

XIII. BIBLIOGRAFÍAS.

Astorga. G., (1988). Geodinámica de las cuencas del Cretácico Superior-Paleógeno de la región ante-arco del Sur de Nicaragua y Norte de Costa Rica.

Barboza. G., Astorga A., Bottazzi. G., Barrientos. J., Muñoz. A., Darce. M., Duarte. M., Espinoza. M., (1993). Informe de evaluación integrada del petróleo, margen Pacífico, cuenca Sandino Nicaragua, Managua.

Barredo. S., Rocas sedimentarias.

Billings. M., Geología estructural.

Burbach, G., Frohlich. C., Pennington, W., Matumoto. T., (1984). Sismicidad y tectónica de la subducción de placa cocos.

Buss. H., Sak. P., Webb. S., Brantley. S., (2008). Meteorización de la diorita de cuarzo de Río Blanco, Montañas de Luquillo, Puerto Rico: Oxidación, disolución y fractura de acoplamientos.

Canales. F., Alvarado. E., Pineda. E., (1994). Metodología de la investigación. (2ª ed.).

CanOcean Resources, (1980). El Estudio de Hidrocarburos de Nicaragua.

Chapman. R., Greenfield. M., (1949). Meteorización esferoidal de rocas ígneas.

Case. J., Holcombe. T., Martin. R., (1984). Mapa de provincias geológicas de la región del Caribe, en el límite de placas del Caribe y América del Sur y tectónica regional.

Centro de Investigaciones Geocientíficas CIGEO, (2008). Estudio de evaluación de la peligrosidad y vulnerabilidad sísmica-estructural del estadio nacional de béisbol “Denis Martínez” de Managua, Nicaragua.

Darce, M., Duarte, M. (2002). Geología de la cuenca Sandino.

- Davis. G., Reynolds S., (1996). Geología regional de rocas y regiones. Elming. S., Widenfalk. L., Rodriguez. D., (1981-1991). Investigación geocientífica en Nicaragua.
- Frischbutter. A., (2002). Estructura del graben de Managua, Nicaragua, a partir de imágenes de teledetección: geofísica internacional.
- Griem. W., (2018). Apuntes geología estructural y tectónica.
- Griem. W., (2020). Apuntes geología general: levantamiento geológico.
- Hernández. R., Fernández. C., Baptista. M., (2014) Metodología de la investigación. (6^a ed.).
- Hodgson., G., (2000). Geología Regional de Nicaragua. Managua.
- Kolb. W., Schmidt. H., (1991). Secuencias deposicionales asociadas con costas de equilibrio en el neógeno del suroeste de Nicaragua.
- Kuang. J., (1971). Estudio geológico del Pacífico de Nicaragua.
- Kumpulainen. R., (1995). Estratigrafía y Sedimentología en el Oeste de Nicaragua.
- McBirney. A., Williams, H., (1965). Historia volcánica de Nicaragua: Publicaciones de la Universidad de California en las ciencias geológicas.
- Ministerio de Energía y Minas, (2012). Actualización del marco geológico y geofísico costa adentro del pacifico, cuenca Sandino de Nicaragua.
- Ministerio de Energía y Minas MEM (2007). Mapa de la Cuenca Sandino.
- Molnar. P., Sykes, L., (1969). La tectónica de las regiones del Caribe y América Central de mecanismos focales y sismicidad.
- Olade, (1983). Atlas eólico preliminar de America latina y el Caribe.
- Olano. H., (2005). Ambientes sedimentarios modernos.

Parsons Corporation, (1972). Formación Rivas, Brito y Masachapa Formation, 30p Managua.

Paz Rivera, (1965). Informe preliminar sobre un Reconocimiento geológico en la costa del Pacífico de Nicaragua.

Ponce. J., Carmona. N., Montagna. A., (2018). Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas.

Protti. M., Guendel. F., McNally. K., (1993). La geometría de la zona de Wadati-Benioff bajo el sur de Centro América y su importancia tectónica.

Ranero. C., Huene. R., Flue. E., (2000). Sección transversal del margen del Pacífico convergente de Nicaragua.

Rivera. H., (2005). Geología general.

Serra. O., Abbott. H., (1980). Las contribuciones de datos para sedimentología y estratigrafía.

Servicio geológico mexicano, (2017). Rocas sedimentarias.

Silva. G., Mendoza. C., (2011). Manual para el trabajo geológico.

Stow. D., (2010). Rocas sedimentarias en el campo.

Struss. I., Artilles. V., Cramer. B., Winsemann. J, (2008). El sistema de petróleo en la cuenca ante-arco Sandino, costa afuera del occidente de Nicaragua.

Tarbuk. E., Lutgens. F., (2005). Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física. (8ª ed.).

Vera. J., (1994). Estratigrafía principios y métodos.

Wilson. C., Fagginger A., (1942). Informe resumido, geología del área de la costa del Pacífico.



Winsemann. J., Sayfried. H., (1991). Respuesta de los sistemas de ante-arco de aguas profundas a los cambios del nivel del mar en la actividad tectónica y la entrada volcanoclástica en América Central.

Zoppis. B., Del. Giudice., (1958). Geológica de la costa del Pacífico de Nicaragua.

XIV. ANEXOS.

Ficha de Campo para Unidades Litológicas									
Nº de capas	Afloramiento	1	Ubicación	El Astillero		Rumbo	Dirección de buzamiento <th>Buzamiento</th> <th rowspan="4">Observaciones</th>	Buzamiento	Observaciones
	Coordenadas	1273606N	589855E	5 m	3 m (error)	N76°E	SE	11°	
	Formación/Unidad		Brito (Te-b)		Altura del afloramiento	31 m aprox.	Ambiente de deposición	Marino	
	Espesor	Color	Granulometría	Redondez	Clasificación	Fósiles	Estructuras Sedimentarias	Nombre de la roca	
1	Sin espesor aproximado	Gris-Amarillo claro	Fino	Bien redondeado.	Muy bien clasificados.	-	Laminación convoluta.	Arenisca	Fracturado
2	20 m	Gris claro-Anaranjado.	Fino-medio	Bien redondeado.	Muy bien clasificado.	-	Laminación paralela y Estructura de carga.	Lutita con intercalación de arenisca.	Fracturado y meteorizado.
3	10 m aprox.	Gris-café	-	-	-	-	-	Arenisca con intercalación de lutita.	Fracturado y meteorizado.
4	1 m aprox.	Café oscuro.	-	-	-	-	-	Suelo moderno	Con abundante vegetación.

Tabla 6. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa El Astillero.

Ficha de Campo para Unidades Litológicas									
Nº de capas	Afloramiento	1	Ubicación	Guasacate		Rumbo	Dirección de buzamiento	Buzamiento	Observaciones
	Coordenadas	1268554N	594354E	3 (m)	3 (m) error	N60°W	SE	24°	
	Formación/Unidad		Brito (Teb)		Altura del afloramiento	Aprox 7 m	Ambiente de deposición	Marino	
	Espesor	Color	Granulometría	Redondez	Clasificación	Fósiles	Estructuras Sedimentarias	Nombre de la roca	
1	0.72 m	Gris verdoso	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	-	-	Arenisca	Fracturado
2	0.24 m	Amarillo	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	-	Laminación convoluta	Lutita	Fracturado
3	0.67 m	Gris verdoso	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	-	-	Arenisca	Fracturado
4	0.21	Amarillo	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	-	Laminación paralela	Lutita	Fracturado
5	4 m	Amarillo	Grueso	-	-	-	Masiva	Arenisca	Se ve oscura producto de alteración química de la roca.
6	0.40 m	Café oscuro	-	-	-	-	-	Suelo moderno	Con mucha vegetación

Tabla 7. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa Guasacate.

Ficha de Campo para Unidades Litológicas									
Nº de capas	Afloramiento	2	Ubicación	Guasacate		Rumbo	Dirección de buzamiento <th>Buzamiento</th> <th rowspan="4">Observaciones</th>	Buzamiento	Observaciones
	Coordenadas	1268541N	594178E	5 (m)	3 (m) error	N2ºW	SE	20º	
	Formación/Unidad		Brito (Teb)		Altura del afloramiento	Aprox 10 m	Ambiente de deposición	Marino	
	Espesor	Color	Granulometría	Redondez	Clasificación	Fósiles	Estructuras Sedimentarias	Nombre de la roca	
1	1.90 m	Gris verdoso	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	Nummulites	Slumps Imbrincación de clastos	Arenisca	Fracturado
2	1.78 m	Gris verdoso y Amarillo	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	-	Laminación paralela	Arenisca con alternancia de Lutita	Fracturado
3	6 m	Amarillo	Grueso	-	-	-	Masiva	Arenisca	Presenta meteorización esferoidal Fracturado color oscuro producto de alteración química.
4	0.40 m	Café oscuro	-	-	-	-	-	Suelo moderno	Presenta mucha vegetación.

Tabla 8. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa Guasacate.

Ficha de Campo para Unidades Litológicas										
Nº de capas	Afloramiento	1	Ubicación		Popoyo		Rumbo	Dirección de buzamiento	Buzamiento	Observaciones
	Coordenadas	1266227N	597770E				NS	E	10°	
	Formación/Unidad		Brito		Altura del afloramiento	Aprox 11 metros	Ambiente de deposición	Marino		
	Espesor	Color	Granulometría	Redondez	Clasificación	Fósiles	Estructuras Sedimentarias	Nombre de la roca		
1	Sin espesor aproximado	Café claro	Fino a medio	Bien redondeado	Bien clasificado	-	-	Arenisca		
2	1 metro	Gris	Fino	Bien redondeado	Bien clasificado	-	Laminación paralela	Lutita		
3	2.7 metros	Café	Fino a medio	Bien redondeado	Bien clasificado	-	Laminación convoluta	Areniscas y lutitas	Alternancia rítmica	
4	1.8 metros	Café oscuro a marrón	Medio	-	-	-	-	Arenisca	Se presenta de forma masiva	
5	2 metros	Café oscuro	grueso	Sub redondeado	-	-	-	Conglomerado	Fragmentos subredondeados	
6	40 cm	Café oscuro	medio	-	-	-	-	Suelo moderno		

Tabla 9. Ficha de campo utilizada para describir las unidades litológicas de playa Popoyo.

Ficha de Campo para datos Estructurales (Fallas)							
Coordenadas	1273606N	589855E	5 m	Ubicación	El Astillero		
Afloramiento	1			Formación/Unidad	Brito (Teb)		
Nº de fallas	Rumbo	Dirección Buzamiento	Buzamiento	Tipo de falla	Desplazamiento	Capas desplazadas	Indicadores Cinemáticos
1	N58°E	SE	40°	Normal	9 cm	Desplaza a la capa más representativa de arenisca en la unidad de alternancia rítmica de lutita con arenisca.	Sigmoide y una estructura T.

Tabla 10. Ficha de campo utilizada para describir las fallas en playa El Astillero.

Ficha de Campo para datos Estructurales (Fallas)							
Coordenadas	1268541N	594178E	5 m	Ubicación	Guasacate		
Afloramiento	2			Formación/Unidad	Brito (Teb)		
Nº de fallas	Rumbo	Dirección Buzamiento	Buzamiento	Tipo de falla	Desplazamiento	Capas desplazadas	Indicadores Cinemáticos
1	EW	-	-	Lateral izquierda	2.9 m	Desplaza a la unidad de arenisca de grano grueso mayor mente y la arenisca con lutita	Sigmoide sub vertical.

Tabla 11. Ficha de campo utilizada para describir las fallas de Playa Guasacate.

Ficha de Campo para datos Estructurales (Fallas)							
Coordenadas	1268541N	594178E	3 m	Ubicación	Guasacate		
Afloramiento	1			Formación/Unidad	Brito (Teb)		
Nº de fallas	Rumbo	Dirección Buzamiento	Buzamiento	Tipo de falla	Desplazamiento	Capas desplazadas	Indicadores Cinemáticos
1	N12°E	E	90°	Lateral izquierda	22 cm	Desplaza a la unidad de arenisca de grano grueso y la arenisca con lutita	Sigmoides verticales.

Tabla 12. Ficha de campo utilizada para describir las fallas de Playa Guasacate.

Ficha de Campo para datos Estructurales (Fallas)

Coordenadas	1266227N	597770E		Ubicación	Popoyo		
Afloramiento	1			Formación/Unidad	Brito		
Nº de fallas	Rumbo	Dirección Buzamiento	Buzamiento	Tipo de falla	Desplazamiento	Capas desplazadas	Indicadores Cinemáticos
1	N60°E	SE	70°	Normal con una componente lateral derecha.	24 cm horizontal 12 cm vertical	Unidad de areniscas y lutitas (Teb-a-lu).	Estructura sigmoidal vertical

Tabla 13. Ficha de campo utilizada para describir las fallas de Playa Popoyo.

Ficha de campo para datos estructurales (fracturas)			
Afloramiento	1	Ubicación	El Astillero
Coordenadas	1273606N	589855E	5 m
Formación/Unidad		Brito (Te-b)	
Nº de fractura	Rumbo	Nº de fractura	Rumbo
1	N72°E	26	N86°E
2	S78°E	27	N64°E
3	N28°E	28	S70°E
4	S82°E	29	N74°E
5	N56°E	30	N56°E
6	S70°E	31	N30°W
7	N72°E	32	N86°E
8	N84°E	33	S30°E
9	N76°E	34	S80°E
10	N20°W	35	N64°E
11	N78°E	36	N82°E
12	N80°E	37	N34°E
13	S56°E	38	S60°E
14	S34°E	39	S14°E
15	S78°E	40	N16°W
16	N86°E	41	S74°E
17	N74°E	42	S54°E
18	N30°E	43	N66°E
19	S50°E	44	N48°E
20	N74°E	45	S88°W
21	N90°E	46	N42°E
22	N14°E	47	N24°E
23	N72°E	48	S84°W
24	N68°E	49	N18°E
25	S72°E	50	N10°E

Tabla 14. Ficha utilizada en campo para describir las fracturas en playa El Astillero.

Ficha de campo para datos estructurales (fracturas)			
Afloramiento	1	Ubicación	El Astillero
Coordenadas	1273606N	589855E	5 m
Formación/Unidad		Brito	
Nº de fractura	Rumbo	Nº de fractura	Rumbo
1	S4°W	26	S76°E
2	N28°E	27	S84°E
3	S82°E	28	N22°E
4	S64°E	29	N70°E
5	S70°W	30	N60°E
6	N58°E	31	S72°W
7	N34°E	32	S50°E
8	N62°E	33	S84°W
9	N28°E	34	N12°E
10	S76°E	35	N78°E
11	N12°E	36	S72°E
12	N28°E	37	S40°E
13	N80°W	38	S32°E
14	N26°E	39	S80°E
15	S60°E	40	N48°E
16	S80°W	41	N56°E
17	N668°E	42	N38°E
18	N50°E	43	S20°W
19	N90°E	44	S40°W
20	N14°E	45	N26°E
21	S50°W	46	S44°E
22	S70°E	47	S40°E
23	N70°E	48	S80°W
24	S56°E	49	N16°E
25	N34°E	50	N20°E

Tabla 15. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas en playa El Astillero.

Ficha de campo para datos estructurales (fracturas)			
Afloramiento	1 y 2	Ubicación	Guasacate
Coordenadas 1	1268554N	594354E	3 m
Coordenadas 2	1268541N	594178E	5 m
Formación/Unidad			
Nº de fractura	Rumbo	Nº de fractura	Rumbo
1	N52°E	26	N64°E
2	S16°E	27	N60°E
3	S70°E	28	N28°E
4	N72°E	29	S32°W
5	S56°E	30	N36°W
6	S78°E	31	N6°W
7	N86°E	32	N4°W
8	N88°E	33	N10°W
9	N70°E	34	N20°W
10	S74°E	35	N16°W
11	N36°E	36	N82°W
12	N64°E	37	N16°W
13	N20°E	38	N6°W
14	N10°E	39	N12°W
15	N10°E	40	N10°W
16	N8°E	41	N12°E
17	N12°W	42	N16°E
18	N2°E	43	N22°E
19	N8°E	44	N6°E
20	N16°E	45	N24°W
21	N60°W	46	S38°W
22	N10°E	47	S10°W
23	N12°W	48	S86°W
24	N50°E	49	S252°W
25	N46°E	50	N66°W

Tabla 16. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Guasacate.

Ficha de campo para datos estructurales (fracturas)			
Afloramiento	1 y 2	Ubicación	Guasacate
Coordenadas 1	1268554N	594354E	3 m
Coordenadas 2	1268541N	594178E	5 m
Formación/Unidad			
Nº de fractura	Rumbo	Nº de fractura	Rumbo
51	S6°W	76	S28°W
52	N80°W	77	N22°E
53	N79°E	78	N24°E
54	S6°W	79	N16°E
55	N52°E	80	N48°E
56	N82°E	81	S14°E
57	N78°W	82	N26°E
58	S88°E	83	N18°W
59	N66°w	84	N10°E
60	N84°E	85	N8°E
61	N66°W	86	N8°E
62	N34°E	87	S6°W
63	S58°W	88	N20°E
64	N48°E	89	N18°W
65	N58°W	90	N°14°W
66	S60°E	91	N6°W
67	S10°E	92	N12°W
68	S82°W	93	N20°W
69	S22°E	94	N20°W
70	S14°E	95	N14°W
71	S78°W	96	N8°W
72	S78°W	97	N0°E
73	N14°E	98	N42°W
74	S62°W	99	N54°W
75	N32°E	100	N36°W

Tabla 17. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Guasacate.

Ficha de campo para datos estructurales (fracturas)			
Afloramiento	1	Ubicación	Popoyo
Coordenadas	1266227N	597770E	
Formación/Unidad		Brito	
Nº de fractura	Rumbo	Nº de fractura	Rumbo
1	N22°E	26	N18°W
2	N52°E	27	N24°E
3	N50°E	28	N36°E
4	N10°E	29	N20°W
5	N16°W	30	N20°W
6	N2°W	31	S60°W
7	N6°W	32	N32°E
8	N2°W	33	S56°W
9	N8°E	34	N8°E
10	N26°W	35	S58°W
11	N30°W	36	N12°E
12	N38°E	37	S16°E
13	N26°W	38	N80°W
14	N30°W	39	S51°E
15	N38°E	40	N30°E
16	N30°E	41	N22°W
17	N36°W	42	N30°E
18	N8°W	43	N46°W
19	N24°W	44	N24°E
20	N42°E	45	N34°E
21	N16°W	46	S18°E
22	N20°W	47	N38°W
23	N18°E	48	S10°E
24	N24°W	49	N2°E
25	N26°W	50	S12°E

Tabla 18. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Popoyo.

Ficha de campo para datos estructurales (fracturas)			
Afloramiento	1	Ubicación	Popoyo
Coordenadas	1266227N	597770E	
Formación/Unidad		Brito	
Nº de fractura	Rumbo	Nº de fractura	Rumbo
51	N36°E	76	N26°W
52	N28°E	77	N2°E
53	N36°W	78	N34°E
54	N60°W	79	N30°E
55	S18°E	80	N18°E
56	N38°W	81	N30°W
57	S10°W	82	N32°E
58	N32°W	83	N30°W
59	S30°E	84	N8°E
60	N8°W	85	N32°W
61	S68°E	86	N22°E
62	N12°E	87	N62°E
63	S54°E	88	N24°W
64	S44°E	89	N28°E
65	S24°E	90	N34°W
66	N16°W	91	N42°E
67	N30°W	92	N32°W
68	S68°W	93	N64°E
69	N12°E	94	N22°W
70	N30°W	95	N58°E
71	N16°E	96	N10°E
72	N38°W	97	N34°E
73	N2°E	98	N26°E
74	N22°W	49	N40°E
75	N18°W	100	N56°E

Tabla 19. Ficha de campo utilizada para describir las fracturas de Playa Popoyo.



Fotografía 40. Levantamiento de datos en Playa Popoyo.



Fotografía 41. Levantamiento de datos en playa Popoyo.



Fotografía 42. Levantamiento de datos en playa Popoyo.



Fotografía 43. Levantamiento de datos en playa Guasacate.