ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas Oceánicas y Recursos Naturales.

"Indicadores Geomorfológicos y Bioestratigráficos para la Reconstrucción Paleoclimática de Jaramijó: Potenciales Amenazas Geológicas Registradas en Sedimentos"

PROYECTO DE TITULACION

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN CAMBIO CLIMATICO

Presentado por:

María Fernanda Quiñónez Macías

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios por ser el principal autor de lo que he logrado, gracias a mi padre, madre, suegros, hijas y a la Dra. Gladys Rincón Polo, por todo el apoyo y por la comprensión que tuvieron para que haya culminado uno de mis anhelos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y a todas las personas que me ofrecieron su ayuda con sus conocimientos de forma directa e indirectamente.

En especial a mi esposo por ser quien me dio su apoyo incondicional para que yo pueda culminar este proyecto.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Francisco Medina Peñafiel
PRESIDENTE

Dra. Gladys Rincón Polo
DIRECTOR

Dr. Kervin Chunga Morán
EVALUADOR

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**"

_____

Ing. Geól. María Fernanda Quiñónez Macías

RESUMEN

Análisis geomorfológicos, estratigráficos, y geoquímicos realizados en secuencias sedimentarias Cuaternarias del sitio costero de Jaramijó (costa central del Ecuador) han permitido reconstruir terrazas marinas y paleoacantilados recientes desde el Pleistoceno superior al Holoceno, como la T1 a una altitud de 20 m.s.n.m (1.190 ± 30 B.P. a 1.030 ± 30 B.P.), terraza T2 a una altitud entre los 30 m.s.n.m. (43.245 ± 460 B.P.) y la T3 a una altitud entre los 43 a 57 m.s.n.m. (120.000 años); es importante indicar que esta última terraza es considerada por Pedoja el at. (2006), y que la investigación de esta tesis ha delineado dos nuevas terrazas (referidas a T1 y T2) las cuales en su mayor parte se encuentra cubierta por deslizamiento de lahares de cenizas volcánicas. Esta reconstrucción paleogeográfica es asociada con los estadios interglaciales y glaciales, referidos en literatura como MIS1 a MIS 3 (*Marine Isotope Stages*). La terraza T2 es referida a la estación de muestreo EJ-02, donde la unidad litológica EJ-2E conformada de arena media con abundantes bivalvos permitió identificar el paleoambiente de zona sublitoral, donde los sedimentos probablemente se depositaron en una columna de agua de 0 a 30 metros de profundidad, la edad de esta unidad es de cal. BC 41.295 a 40.140 años (cal. BP 43.245 a 42.090 años); los análisis de δ 18O indican valores de paleo-temperaturas de -1 a -1.5, los cuales pueden estar asociado a una corta etapa interestadial (cálido) dentro del periodo glacial del MIS 3, probablemente un rápido ascenso de mar proporciono sedimentos marino y moluscos en el sitio de muestreo hace 43.245 años ± 460 B.P.

La terraza T1 es evidenciada en la estación EJ-01 y EJ-03, aquí se registran restos de cerámicas precolombinas y osamentas humanas del periodo de integración de la cultura Manteña (referido A.D.: 500 a 1.500 años). La unidad EJ-1D, es uno de los más importantes niveles sedimentarios que ha proporcionado información del peligro de tsunami, este nivel se encuentra a una altura de 6.3 metros sobre el nivel de mar, estimando que hace 1.200 ± 30 B.P. la ola run-up (ola de tsunami) alcanzó una altura entre los 6 a 7 metros. Los criterios estratigráficos utilizados para identificar el depósito de tsunami son: (a) contacto erosivo en una unidad sedimentaria subyacente y (b) presencia de foraminiferos de ambiente batial, como la especie Melonis sphaerodis. Niveles de cenizas volcánicas intercalan entre las secuencias sedimentarias Jaramijó, diferenciándose dos tipos de depósitos: (1) los depósitos de cenizas por caída libre, conocido también como “fall-out”, los cuales son deposiciones homogéneas depositadas directamente en el terreno, estos últimos son clasificados como productos piroclásticos primarios, (2) los lahares con disposición

caótica y fragmentos de rocas heterogéneas (diferentes litologías) en las cuales han modificado bruscamente el relieve a través de deslizamientos y aportes sedimentarios en canales fluviales.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 1

1.1 Introducción 1

1.2 Objetivos 3

1.2.1 General 3

1.2.2 Específicos 3

1.3 Justificación 3

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO..... 5

2.1 Amenazas naturales y modelamiento del terreno por peligros geológicos 5

2.2 Área de Estudio..... 7

2.3 Metodología 10

CAPITULO 3

GEOMORFOLOGÍA COSTERA DEL SITIO..... 12

3.1 Terminología aplicada a la geomorfología climática y de costa: definición de los MIS y su relación con las variaciones de paleocostas y paleotemperaturas 12

3.2 Tipo de costa y procesos erosivos de la bahía de Jaramijó..... 14

3.3 Retroceso de línea de acantilado por Transgresión Holocénica..... 18

3.4 Mapa de distribución de sedimentos y batimetría para determinar paleo-costas 20

3.4.1 Elaboración de mapa de distribución de sedimentos en piso marino..... 20

3.4.2 Mapa de batimetría para sitio Jaramijó y paleo-línea de Costa desde análisis geomorfológico 23

CAPITULO 4

LITOESTRATIGRAFÍA DE SEDIMENTOS CUATERNARIOS 27

4.1 Terminología aplicada a la sedimentación..... 27

4.2 Unidades sedimentarias y descripción litológica..... 30

4.2.1 Estratigrafía y unidades litológicas de la estación EJ-01 31

4.2.2 Estratigrafía y unidades litológicas de la estación EJ-02 34

4.2.3 Estratigrafía y unidades litológicas de la estación EJ-03 37

4.2.4 Estratigrafía y unidades litológicas de la estación EJ-04 40

4.2.5 Estratigrafía y unidades litológicas de la estación EJ-05 43

4.3 Niveles de cenizas volcánicas, su efecto en la modificación del terreno y afectación a culturas precolombinas en Jaramijó..... 44

4.4 Indicadores Bioestratigráficos para ambientes sedimentarios..... 46

CAPITULO 5

PALEOGEOGRAFÍA Y PALEOCLIMATOLOGÍA DEL SITIO..... 49

5.1 Reconstrucción de paleo-costas asociada con las oscilaciones de nivel de mar para Jaramijó..... 49

CAPITULO 6

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN 53
6.1 Conclusión..... 53
6.2 Recomendación..... 55

CAPITULO 7

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 57

ANEXOS

A1. TABLAS DE CLASIFICACIÓN DE MOLUSCOS..... 60

A2. DATACIONES DE RADIOCARBON Y $\delta\ ^{18}O$..... 64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio del cantón Jaramijó y localización de las estaciones de muestreo. Las grillas de las coordenadas UTM están separadas cada 5000 metros 9

Figura 2. Delineación de los MIS durante los últimos 200.000 años y su relación de paleocostas con incremento o reducción del nivel de mar..... 12

Figura 3. Comparación de los cambios acelerados por la dinámica de acción del mar, que modifica y erosiona los acantilados y la playa. A la derecha la fotografía tomada por (Soledispa, 2012) [19], y a la izquierda fotografía tomada por el autor de este 14

Figura 4. Afloramiento en la bahía de Jaramijó de capas sedimentarias de estratos de coquina de la formación geológica Tablazo (llamada también calizas orgánicas por tener abundante fragmentos de moluscos), levantadas por la dinámica de las olas marinas. Coordenadas UTM 1984, datum 17 Sur, 545.395mE, 9.897.001mN. Estas capas son encontradas en el piso marino sobre las arcillas y lutitas chocolates del miembro geológico Dos Bocas de la formación Tosagua. 15

Figura 5. La erosión provocada por el embate de las olas en los acantilados de Jaramijó, también son responsables del retroceso de la línea de costa. 16

Figura 6. Variación de línea de costa por retiro (regresión) o avance (transgresión) del nivel de mar..... 16

Figura 7. Afloramiento de sedimentos y rocas próximo a la estación EJ-03, a un costado del muelle Ideal. Nótese el espesor de cada unidad litológica identificada en este estudio. La unidad inferior de arcillolita corresponde a roca, las superiores son deposiciones de sedimentos cuaternarios. 16

Figura 8. Retroceso del acantilado en las estaciones EJ-01 y EJ-03, y confrontación de posicionamiento desde las líneas de costas del 2004 y 2014. La tasa de retroceso es en metros 19

Figura 9. Embarcación de instrumento de muestreo de sedimento "van veen" para la extracción de muestras de sedimentos en el piso marino alcanzando el veril de - 10 metros debajo del nivel de mar. Con la técnica peso y cuerda de determinó la profundidad de columna de agua. Ambas informaciones compiladas permitieron la generación de mapas batimétricos y de distribución de sedimentos así como un perfil longitudinal transversal a la línea de costa actual, que describe los rasgos geomorfológicos del piso marino 21

Figura 10. Operación de instrumento "van veen" y extracción de la muestra de sedimento EJ-S-02. Coordenadas UTM WGS 1984, 541.093mE, 9.896.074mN 22

Figura 11. Obtención y selección de un kilo de muestra de sedimento para análisis granulométrico, al inicio las muestras fueron enumeradas con la abreviación "J" en laboratorio han sido cambiadas a la abreviación "EJ-S-08", de acuerdo al posicionamiento en sitio. Coordenadas UTM WGS 1984, 541.007mE, 9.896.008mN..... 22

Figura 12. Perfil batimétrico del sitio Jaramijó (perfil A – B) iniciado en las coordenadas UTM 540.989mE – 9.895.358mN y finalizado en mar en las coordenadas 541.153mE – 9.896.088mN, longitud total del perfil es de 760 metros. Nótese las paleo-líneas de costas en los veriles -5.5 m y -7.6m..... 23

Figura 13. Mapa de batimetría realizado en este estudio y delineación de paleo-costas en los veriles -5.5 y 7.6 metros debajo del nivel del mar..... 24

Figura 14. Mapa de distribución de sedimentos desde el veril 0 m.s.n.m. hasta los – 8 m y delineación de paleo-costas en los veriles -5.5 y 7.6 metros debajo del nivel del mar.. 24

Figura 15. Extracto de mapa geológico de Manta a escala 1: 100.000, delineando los afloramientos de sedimentos y capas volcánicas de cenizas en el borde costero de Jaramijó. 27

Figura 16. Productos volcánicos primarios (domo, fall-out, flujo de lava, flujo piroclásticos) y secundarios (lahares y deslizamientos) formados durante una actividad volcánica. 30

Figura 17. Columna estratigráfica de la estación de muestreo EJ-01, localizado en las coordenadas 543.208mE y 9.895.924mN. Las abreviaciones Arc: arcilla, Lim: limo, Aren: arena, Gr: grava, y Cen: ceniza volcánica..... 32

Figura 18. Acantilado costero de la estación EJ-01, y delineación de las unidades sedimentarias y volcánicas. Nótese la distribución espacial del nivel de depósito de tsunamis de 1.200 ± 30 años atrás.. 32

Figura 19. Resto de brazo humano de la cultura Manteña de edad 1190±30 B.P. años, sepultada dentro de una capa de ceniza gris volcánica, localizada en un acantilado costero en la playa de Jaramijó..... 33

Figura 20. Restos de cerámica precolombina de la cultura Manteña encontrada en la estación EJ-01. La moneda de 25 centavos indica la escala de parte de fragmento de plato cerámico..... 33

Figura 21. Unidades litológicas EJ-2A correspondiente a paleo-deslizamiento, y la unidad EG-2B son arenas ferro-titaníferas depositadas en una zona de canal posiblemente indica un paleo-acantilado, en la base arcilla marina. 35

Figura 22. Unidades litológicas, posición izquierda la unidad EJ-2C correspondiente a ceniza blanquecina depositada probablemente por fall-out; en posición derecha, la unidad EJ-2D que es un nivel de arena con tonalidades rojizas posible oxidación.. 36

Figura 23. Columna estratigráfica de la estación de muestreo EJ-02, localizado en las coordenadas 541.881mE y 9.891.333mN... 36

Figura 24. Extracto de imagen satelital de google earth, donde se evidencia el sitio de la estación EJ-03 próximo a la línea de costa a 200m de distancia..... 37

Figura 25. Columna estratigráfica de la estación de muestreo EJ-02, localizado en las coordenadas 540.794mE y 9.895.203mN, referido a la línea de playa a 200 metros de distancia.... 38

Figura 26. Fragmento de olla precolombina de la cultura Manteña delineando el suelo antropogénico EJ-1A y la inferior EJ-1B, para la estación EJ-03.... 38

Figura 27. Columna estratigráfica y niveles sedimentario y volcánico para la estación EJ-03. Coordenadas UTM, 540.794mE y 9.895.203mN..... 39

Figura 28. Paisaje del sitio de afloramiento sedimentario en la estación EJ-04. Coordenadas UTM, 542.7173E y 9.891.734mN..... 41

Figura 29. Columna estratigráfica y niveles sedimentario y volcánico para la estación EJ-04. Coordenadas UTM, 542.173mE y 9.891.734mN..... 42

Figura 30. Columna estratigráfica y niveles sedimentario y volcánico para la estación EJ-05. Coordenadas UTM, 541.718mE y 9.891.949mN..... 43

Figura 31. Productos volcánicos piroclásticos primarios y secundarios que pueden transportarse por decenas a centenas de kilómetros desde su fuente [10]. Los depósitos por fall-out y lahar han sido encontrados en el sitio de estudio..... 45

Figura 32. Periodos de culturas precolombinas de la costa sur y central del Ecuador [4]..... 45

Figura 33. Eventos volcánicos del Holoceno registrados en el valle de Jama, costa central del Ecuador [4]..... 45

Figura 34. Margen continental y divisiones de zonas sublitoral, batial y abisal aplicado a la identificación de ambiente sedimentario 46

Figura 35. Foraminíferos bentónicos y plantónicos encontrados en la unidad EJ-1D del depósito de tsunami. En la imagen de la derecha restos de radiolarios probablemente de la Litocelia ocellus sp. de edad eocénica 47

Figura 36. Imagen realizada por el laboratorio Beta Analytic para la muestra EJ-2E, limpieza de caparazones de moluscos previo análisis de dataciones de C14, el organismo más grande corresponde a Trachycardium (Mexicardia) procerum, y el de menor dimensión el Divalinga perparvula, ambas especies de ambiente marino nerítico..... 48

Figura 37. Localización de perfil topográfico A – B para la reconstrucción paleogeográfica del sitio. 49

Figura 38. Reconstrucción paleoclimática del sitio Jaramijó y confrontación con los MIS 1 a 3 realizada en este estudio con las muestras de estaciones EJ-01 y EJ-02. La delineación para el MIS 5e es también considerada desde Pedoja et al. (2006) [7]..... 50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de muestreos de sedimentos en el cantón Jaramijó..... 7

Tabla 2. Estaciones de muestreos de sedimentos de 31 muestras compiladas en piso marino y zona de playa arenosa en el sitio de playa de Jaramijó. En el casillero de “Z”, los valores negativos indican profundidades batimétricas de la columna de agua y los valores positivos altos topográficos sobre el nivel del mar..... 8

Tabla 3. Tamaños de fragmentos, granos y rocas sedimentarias detríticas..... 28

Tabla 4. Tipos de rocas efusivas volcánicas y su relación con material no compactado. 30

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático comprende bien distinguidos efectos biológicos, físicos y químicos de varios factores entre ellos el océano, la superficie de la tierra, atmósfera, los glaciares (criosfera), organismos vivos (biosfera) y suelos (sedimentos). Todos estos efectos de cambios ocurridos en el pasado son documentados o registrados en los sedimentos y en los modelamientos (cambios de forma) del terreno dependiendo de aportes sedimentarios o procesos de erosión, de las etapas glaciales e interglaciares (definido también como *Marine Isotope Stage*, MIS), de las intensas precipitaciones o del desgaste por acción eólica; son múltiples las temáticas que se deben analizar para comprender la evolución paleogeográfica y paleoclimática de una región determinada [1].

Amenazas naturales han generado múltiples peligros geológicos a lo largo del tiempo, su periodo de recurrencia ha modificado bruscamente el paisaje de la costa central del Ecuador, y es en el terreno donde se evidencia los episodios históricos y prehistóricos de desplazamiento de culturas precolombinas costeras [2], ejemplo, Manteña, Jama-Coaque, Guangala, Chorrera, Machalilla y Valdivia. Para la costa del Ecuador las amenazas geológicas e Hidrológica pueden generar múltiples peligros tales como: (1) desplazamiento vertical de fallas geológicas o levantamientos tectónicos, (2) terremotos de subducción y subsecuente tsunamis locales con daños por inundaciones en planicies costeras, (3) licuefacción de suelos, (4) derrumbes de taludes o acantilados inestables, (5) lahares de cenizas transportada por *fall-out* y asentada en laderas de colinas inestables y subsecuentes deslizamientos, (6) inundaciones de sectores urbanos y rurales durante fuertes precipitaciones o durante los fenómenos ENSO, El Niño (peligros definidos de corta duración 1-6), (7) subsidencia o hundimiento del terreno por origen natural o inducción antrópica por obras civiles en lugares inadecuados, (8) deslizamiento de tierras en acantilados costeros, (9) erosión y sedimentación dependiendo de la posición de la franja costera en referencia a la dirección del oleaje (ejemplo la playa de Cojimies (Norte de Manabí)), (10) grietas en el terreno por la saturación de los suelos por fuertes precipitaciones, y (10) variación de líneas costeras por los levantamientos o hundimientos tectónicos y por periodos glaciales e interglaciales (peligros definidos de larga duración 6-10).

El registro histórico de amenazas geológicas que afectaron las costas de Ecuador, y fueron registrados durante y después de la Colonia Española, inicia en 1787 (terremoto del 11 de junio con epicentro en la provincia del Guayas). Esta corta información de amenazas naturales geológicas, no proporcionan suficientes informaciones para realizar correctas evaluaciones sobre las recurrencias (frecuencias

de impacto) de amenazas geológicas, sísmicas y no sísmicas y meteorológicas extremas, esta falta de datos puede inducir a decisiones inadecuadamente para seleccionar sitios que albergaran áreas densamente pobladas o sectores industriales en desarrollo. Al momento no hay un correcto mapa de riesgos en detalle debido a que no están bien identificadas las dimensiones de daños ocurridos en el pasado y que podrían generarse en futuro, recordemos que las variaciones glaciales e interglaciales son cíclicas asociadas principalmente a los bien definidos y recurrentes cambios climáticos de nuestro planeta.

Los peligros asociados a amenazas meteorológicas en la cual se tenga información fundamental para el Ecuador inicia desde 1955, donde se han presentado eventos que prominentemente ocurren en 1957 a 1958, 1969 a 1970, 1972 a 1973, 1982 a 1983, y 1997 a 1998 [3], y en la actualidad el evento de menor magnitud de 2015 a 2016. El evento El Niño de 1969 presenta un comportamiento inusual en el que a pesar de existir fuertes anomalías de velocidad de arrastre existe relativamente poco calentamiento. Todos estos antecedentes históricos nos indican la poca información paleo-climática y paleo-geográfica disponible para la costa del Ecuador, y que es necesario buscar otros métodos de estudios para compilar información pre-histórica del Cuaternario.

La creación de una base de datos de amenazas naturales históricas y prehistóricas (antes de la colonia Española) que permitan comprender las variaciones de cambios climáticos y geográficos pueden ser obtenida desde estudios de la geomorfología (formas del paisaje pasados y presentes del terreno), estratigrafía de los sedimentos (depositados en diferentes tiempos geológicos) y métodos de dataciones y de paleo-temperaturas a través de análisis geoquímicos; es decir los sedimentos cuaternarios (de edades de pleistoceno superior a Holoceno) puede proporcionar información fundamental para la reconstrucción paleogeográfica y de paleo-temperatura de la costa central del Ecuador. Las modificaciones en el terreno en su mayor parte son debido a los aportes de sedimentos transportados desde el continente como flujo de detritos por las intensas lluvias y por deslizamientos caóticos (observados en costas bajas tipo bahía en Manabí, ejemplo el sitio de estudio Jaramijó), los aportes de sedimentos marinos hacia el continente son por avance del nivel del mar conocida como transgresión holocénica.

Para la reconstrucción paleoclimática se ha seleccionado un sitio que cumple con todas las características sedimentarias, anteriormente descrita, esta es la franja costera del cantón Jaramijó (provincia de Manabí), en este estudio se ha compilado información biológica (microorganismos y microfósiles, moluscos y bivalvos), geológica (tipo de relieve, sedimentos y estratos) y geoquímica (dataciones de C14, isotopos de oxígenos estables y medidas de paleo-temperaturas de los océanos desde análisis a restos de carbonos y conchas). Los datos que se utilizaron para analizar el cambio de la línea de costa son datos topográficos y batimétricos a escala de 5.000. Estos datos analizados proporcionaron detalles de indicadores geomorfológicos y

estratigráficos de los cambios climáticos y geográficos desarrollados en esta zona central de la costa del Ecuador.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Identificar los rasgos geomorfológicos, estratigráficos y biológicos como indicadores para la reconstrucción paleogeográfíca y paleoclimática del cantón Jaramijó, desde el Pleistoceno Superior a Holoceno.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar los tipos de aportes sedimentarios desde periodos glaciales e interglaciales registrados desde el Pleistoceno superior (781.000 años a 11.784 años) al Holoceno (11.784 años hasta hoy), aplicando análisis bioestratigráficos y litológicos (tipos de sedimentos), presentes en los acantilados y terrazas costeras del sitio Jaramijó.

- ✓ Reconstruir la evolución paleogeografía del sitio costero, desde análisis geomorfológicos y estratigráficos, comprendiendo los cambios bruscos del relieve y de rápida sedimentación con afectación y daño que desplazaron culturas precolombinas (en el año 500 y 1500 después de cristo, de la cultura Manteña).

- ✓ Caracterizar las principales amenazas y peligros geológicos acontecidos en el sitio costero de estudio y registrada en los sedimentos, esta información permitirá conocer la recurrencia de eventos catastróficos y tomar decisiones de potenciales amenazas las cuales pueden ser representadas en mapas de riesgos para áreas densamente pobladas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Estudios de sedimentos del Holoceno han sido poco desarrollados en la costa del Ecuador, sitios con secuencias de sedimentos Cuaternarios han sido identificados en este estudio, sin embargo un análisis de paleoclimatología y paleogeografía ha sido aplicada solamente en el sitio del cantón Jaramijó. Otros sitios de interés científico

son Chanduy, Villamil Playas, Salango, San Vicente, San Jacinto - Chirije, Jama y Pedernales donde se pueden encontrar nuevas evidencias de estos eventos extremos, que nos podrían proporcionar datos relevantes de la recurrencia o tiempo de impacto de estas amenazas geológicas en una determinada zona de la costa del Ecuador. Por otra parte, las erosiones en los acantilados costeros y fluviales han dejado descubiertos niveles sedimentarios con abundante información de registros de paleo-temperaturas, depositaciones sedimentarias por incremento del mar en periodos interglaciales anteriores, peligros geológicos como tsunamis, terremotos, lahares de cenizas y deslizamientos. En las próximas secciones de capítulos se explicará el detalle de los análisis de bioestratigrafía y de paleoclimatología de las estaciones de muestreos en mar y continente, que proporcionaron datos fundamentales para reconstruir la evolución climática y paleo-geográfica del cantón Jaramijó.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 AMENAZAS NATURALES Y MODELAMIENTO DEL TERRENO POR PELIGROS GEOLÓGICOS.

En los acantilados costeros de Jaramijó, localizado en la costa central del Ecuador, se pueden evidenciar registros de amenazas geológicas y de paleo-temperaturas acontecidas en los últimos 43.245 años (Pleistoceno superior, edad seleccionada en este estudio desde el análisis de datación de C14 realizado a moluscos encontrados en un nivel de arena de la estación de muestreo EJ-02, ver anexos detalle de la datación efectuada en el Laboratorio Beta *Analytic*), restos de huesos humanos y de cerámicas de culturas precolombinas (habitadas entre 700 años a 900 años atrás, ejemplo cultura Manteña, son encontradas dentro de depósitos caóticos de deslizamientos (estación EJ-01), depósitos de lahares de cenizas volcánicas [4] y de sedimentos arenosos depositados posiblemente por Tsunamis [5].

Todos estos antecedentes históricos y de amenazas naturales indican que la costa central del Ecuador y en particular el sitio de Jaramijó, es susceptible a varios peligros geológicos, muchos de ellos son evidentes en el terreno pero no son representados en mapas geomáticos o mapas de riesgos de la Secretaria de Gestión de Riesgos. Amenazas históricas de intensidades considerables para el territorio son registradas en los sedimentos, y un correcto estudio estratigráfico y geomorfológico como presentado en esta investigación de tesis puede proporcionar suficiente información para establecer correctas estrategias y acciones de prevención y mitigación, la capacidad de las comunidades para identificar y evaluar el peligro natural y comunicar a los entes estatales de control.

El sitio de estudio Jaramijó ha sido y puede ser modificado por episodios tectónicos y climáticos, al igual que la restante franja costera del Ecuador. Tectónicamente, la costa de Manabí es afectada por una estructura sismogénica llamada zona de subducción localizada a 74 kilómetros de distancia de la costa, donde pueden presentarse terremotos muy fuertes en el orden de 8 a 8.5 grados de magnitud [6], 2016), estos eventos sísmicos pueden provocar modelamientos en el terreno, levantamientos del margen costero definidos como terrazas marinas han sido levantadas en el Cuaternario [7] y han generado deslizamientos o aislamiento de acantilados que pasaron de ser activos a inactivos por la ausencia de la dinámica de olas por el rápido levantamiento tectónico de la costa.

Los episodios climáticos son asociados a los periodos de glaciación (época fría) y de interglaciación (época cálida como la actual), los cuales provocan variaciones en

avances y retiradas de la línea de costa. Lluvias intensas pueden presentarse al final de la glaciación e inicio de la interglaciación, provocando avalanchas y depositaciones rápidas de sedimentos como los observados en el sitio de estudio [7].

Actualmente, el incremento del nivel del mar es un peligro que modifica la costa central del Ecuador, en el sitio de Jaramijó, la tasa de retroceso de los acantilados está en el orden de 1 a 2.5 metros/año, información obtenida de las fotografías aéreas tomadas de diferentes años y por levantamiento de información topográfica obtenida desde instrumentación RTK han permitido estimar esta tasa de erosión costera. Este peligro se incrementa durante los meses invernales del fenómeno El Niño donde el nivel del mar se incrementa +51 cm, como el acontecido en el fenómeno El Niño, de 1997 a 1998.

En el cantón Jaramijó al interno del continente, sureste del área se encuentran colinas altas las cuales demuestran el relieve o macizo rocoso más antiguo de la región, rocas de limolitas y areniscas de edades miocénicas; es decir estos relieves predominantes limitan el contacto entre los aportes sedimentarios más recientes y depositados en las planicies y terrazas aluviales al norte y noroeste. Estos sedimentos más recientes y del Cuaternario son los analizados en este estudio. Los análisis estratigráficos, biológicos, geoquímicos y litológicos han proporcionado suficiente información para reconstruir la evolución paleográfica del sitio, uno de los resultados más notables en esta tesis, es la identificación y delineación de un paleo-acantilado costero de edad 43.245 años (perteneciente al MIS-3, *Marine Isotope Stages*),edad obtenida por datación C14. Este MIS-3 es asociado a una época de glaciación, pero los datos obtenidos e interpretados nos indican que la costa central del Ecuador registra un nivel interestadial (años cálidos que pueden durar menos de 10.000 años al interior de una época glacial). Dos acantilados más han sido cartografiados desde análisis de orthofotos, pero estos son de menor edad. No se logró datar la edad absoluta de estos dos últimos acantilados costeros.

Sedimentos Holocénicos más recientes son encontrados próximos a la playa, evidenciados en los cortes verticales formados por la dinámica de olas marinas, aquí se han encontrados niveles de lahares de cenizas volcánicas provenientes de los volcanes Quilotoa, Pululagua, Cotopaxi y Guagua Pichincha, los cuales fueron transportados por acción del viento (en geología se conocen como fall-out) desde distancias entre 140 a 190 Km y depositados en los relieves colinares y valles de la costa central del Ecuador [8] [9] [10] [11] [4], posteriores lluvias intensas provocaron avalanchas de lahares afectando y desplazando culturas precolombinas como la Jama – Coaque y Manteña [10]. En la zona de playa de Jaramijó es común encontrar restos de huesos humanos a lo largo de la planicie supratidal, muchos de estas osamentas pertenecientes a la cultura Manteña (referida a la edad 800 a 1.500 después de cristo D.C.). Análisis estratigráficos en detalle aplicado a los niveles sedimentarios permitieron encontrar varios niveles de cenizas volcánicas o “tefras”, los cuales indican que la costa central del Ecuador ya ha sido afectada fuertemente por la

actividad volcánica de los Andes, y estos lahares de cenizas fueron aportes de depósitos de materiales los cuales han modificado el valle de Jaramijó.

Otros aportes sedimentarios corresponden a sedimentos de playa ingresados al continente durante las fases de interglaciación, es decir por rápidos incrementos del nivel de mar en periodo cálido.

Además de depósitos arenosos transportados por tsunamis cuyas alturas de olas pudieron alcanzar los 6 a 7 metros de altura respecto al nivel de mar, este dato ha sido obtenido en este estudio desde análisis estratigráfico y la edad de datación de C^{14}. Todos estos análisis geológicos y de paleo-temperaturas serán detallados en los capítulos posteriores.

2.2 ÁREA DE ESTUDIO

El sitio seleccionado para estudiar la reconstrucción paleoclimática y paleogeográfica de la costa central del Ecuador, es el cantón Jaramijó con un área de 96 km², confinante con los cantones Portoviejo, Montecristi y Manta, provincia de Manabí (ver Figura 1). Este margen costero tiene bien conservada secuencia sedimentaría y volcánica de depósitos geológicos del Cuaternario (Pleistoceno superior a Holoceno), aflorante en los acantilados costeros y de cortes por excavaciones al interno del cantón.

La vegetación es de tipo matorral desértico y subdesértico tropical, con predominancias de arrayancillo, espino, palo santo y acacias. El clima es seco con datos de precipitación anual de 221 mm, el verano es muy seco y las temperaturas media anual de 25.4 °C, con un valor máximo de 31.1 C (diciembre) y un mínimo de 20.9C° (abril y mayo).

Sitios	X (mE)	Y (mN	Rasgo del terreno
EJ-01	543208	9895924	Acantilado de playa
EJ-02	541879	9891333	Paleo-acantilado
EJ-03	550818	9888337	Terraza aluvial 2
EJ-04	545753	9890427	Valle aluvial
EJ-05	543767	9893072	Colina alta

Tabla 1. Estaciones de muestreos de sedimentos en el cantón Jaramijó.

Las coordenadas empleadas en la identificación de las cinco estaciones de muestreos de sedimentos y cartografía de rasgos geomorfológicos en el continente, son referida al sistema WGS 1984 UTM zona 17 Sur. Las estaciones son abreviadas con las iniciales EJ-01 hasta EJ-05, referidas como sigue.

X (m)	Y (mN)	Z (cota en metro.)	Descripción	Estación	Sector
540956.03	9896116.38	-8.40	Roca	EJ-S-01	mar
541093.75	9896074.03	-8.20	Arena fina	EJ-S-02	mar
541207.83	9896123.11	-8.10	Arena limosa	EJ-S-03	mar
541175.21	9895983.11	-8.50	Roca	EJ-S-04	mar
541154.00	9896022.00	-7.10	Roca	EJ-S-05	mar
541121.08	9895999.13	-7.00	Limo arenoso	EJ-S-06	mar
541007.45	9896008.12	-6.00	Arena limosa	EJ-S-07	mar
540996.75	9895896.35	-6.30	Roca	EJ-S-08	mar
541127.46	9895887.00	-6.50	Limo arenoso	EJ-S-09	mar
541189.76	9895805.68	-6.00	Limo arenoso	EJ-S-10	mar
541095.39	9895803.22	-5.50	Arena	EJ-S-11	mar
540994.76	9895802.00	-5.80	Arena limosa	EJ-S-12	mar
541012.76	9895608.33	-5.10	Limo arenoso	EJ-S-13	mar
541096.28	9895703.87	-5.50	Limo arenoso	EJ-S-14	mar
541193.30	9895695.87	-5.80	Limo arenoso	EJ-S-15	mar
541092.66	9895599.24	-4.50	Arena	EJ-S-16	mar
541003.45	9895606.23	-4.15	Arena limosa	EJ-S-17	mar
540895.41	9895608.20	-3.90	Limo arenoso	EJ-S-18	mar
540880.34	9895505.72	-2.00	Arena fina	EJ-S-19	mar
541006.61	9895502.80	-2.40	Arena fina	EJ-S-20	mar
541196.75	9895503.86	-3.00	Arena fina	EJ-S-21	mar
541104.81	9895451.74	-1.50	Arena fina	EJ-S-22	mar
541002.60	9895442.79	-1.20	Arena fina	EJ-S-23	mar
540871.22	9895481.53	-1.21	Arena fina	EJ-S-24	mar
541073.00	9895439.00	-1.30	Roca	EJ-S-25	mar
540851.00	9895403.00	+0.50	Arena fina	EJ-S-26	playa
540963.00	9895402.00	+0.50	Arena fina	EJ-S-27	playa
541058.00	9895358.00	+0.50	Arena fina	EJ-S-28	playa
541058.00	9895339.00	+0.50	Arena fina	EJ-S-29	playa
541172.00	9895344.00	+0.50	Arena fina	EJ-S-30	playa
541225.00	9895358.00	+0.50	Arena fina	EJ-S-31	playa

Tabla 2. Estaciones de muestreos de sedimentos de 31 muestras compiladas en piso marino y zona de playa arenosa en el sitio de playa de Jaramijó. En el casillero de "Z", los valores negativos indican profundidades batimétricas de la columna de agua y los valores positivos altos topográficos sobre el nivel del mar.

Para la elaboración de los mapas de distribución de sedimentos y de batimetría en detalle se obtuvieron 31 muestras de sedimentos recientes en el piso marino alcanzando los veriles de –8 metros debajo del nivel de mar actual y en la playa

arenosa se compilaron otras seis muestras. La abreviación para estas muestras inicia desde EJ-S-01 hasta EJ-S-31. Para la obtención de estas muestras se utilizó una lancha de pesca a motor tipo artesanal.

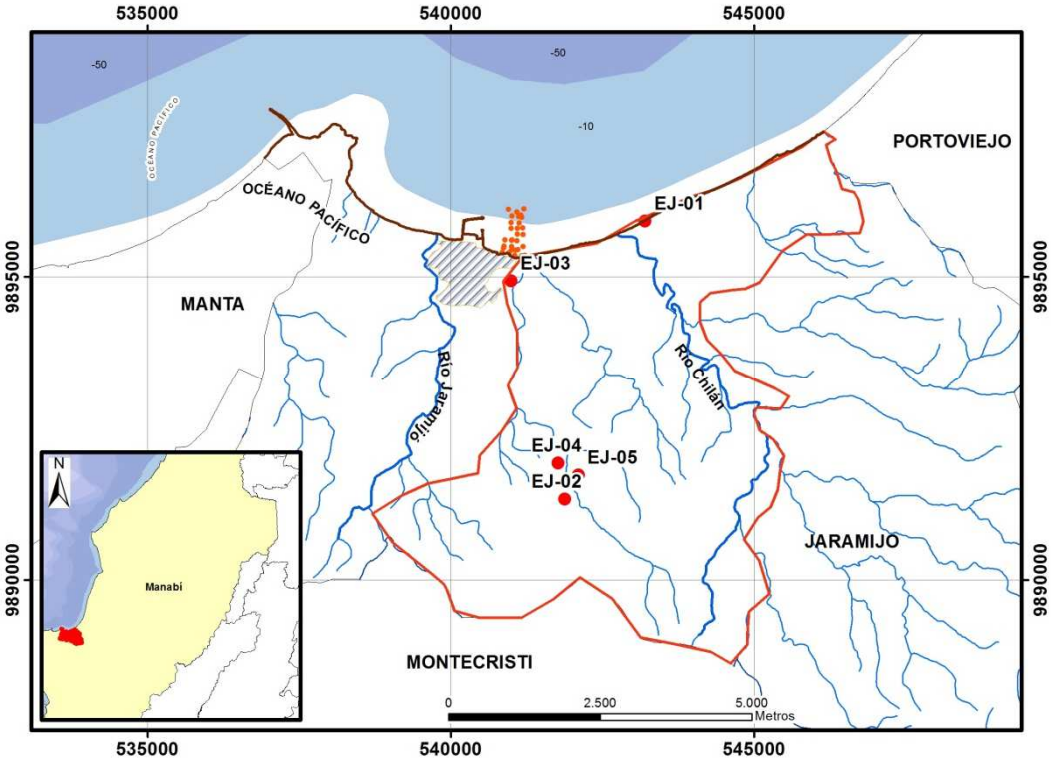


Figura 1. Ubicación del área de estudio del cantón Jaramijó y localización de las estaciones de muestreo. Las grillas de las coordenadas UTM están separadas cada 5000 metros. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

El sistema hidrográfico es poco extenso, como el río Jaramijó y el Chilán, pero presenta ríos intermitentes que solo pueden aumentar su caudal con precipitaciones ocurridas durante meses invernales o por la presencia del fenómeno El Niño. Por varias décadas ha habido un importante cambio geomorfológico en el terreno de Jaramijó, tanto en la forma del relieve como en la distribución de organismos marino que actualmente es fácilmente de encontrar en la superficie litoral, siendo parte de los estratos que conforman en los acantilados desde 5 o más metros de altura.

2.3 METODOLOGÍA

La metodología y fases de investigación comprende tres etapas bien distinguidas: (1) geología de campo y levantamientos de datos, (2) Análisis de datos y laboratorio, (3) interpretación y reconstrucción paleogeográfica.

En la primera etapa, Geología de Campo, se compila la información geomorfológica y estratigrafía de secuencias sedimentarias de cinco (5) estaciones de muestreos en afloramientos de cortes geológicos y treinta y uno (31) muestras de sedimentos de playa; además, se detallan los tipos de unidades litológicas realizando cinco columnas estratigráficas abreviadas con las iniciales EJ-01 a EJ-05. En un nivel arenoso de la estación (EJ-02) se toman muestras de moluscos para luego, ser enviadas al laboratorio de "*Beta Analytic*"*1 para datación con C14 y paleo-temperatura a través de isotopos de oxigeno estable. La recolección de datos litológicos, geomorfológicos permiten corroborar en la segunda fase, el análisis de tipos de terrazas levantadas por la tectónica activa del sitio, las cuales han venido modificando el paisaje del sitio de estudio desde hace 43.245 años. Esta edad es determinada para un paleo-acantilado identificado en este estudio a una distancia de 4 kilómetros respecto a la línea de costa actual.

En la segunda etapa de análisis de datos y laboratorio, se analizan los datos geológicos obtenidos desde la primera fase de exploración. Los sedimentos obtenidos de las muestras fueron analizadas desde un punto de vista de la bioestratigrafía, para identificar el tipo de ambiente sedimentario desde foraminíferos plantónicos y bentónicos. La descripción macroscópica de los niveles sedimentarios permitió realizar cinco columnas estratigráficas donde se detalla el proceso de deposición de sedimentos y niveles volcánicos acontecidos desde el pleistoceno superior hasta el Holoceno. La clasificación e identificación biológica de los moluscos obtenidos en la estación (EJ-02) permitió comprender el tipo de paleo-ambiente sedimentario y la paleo-temperatura desde $\delta 18O$ indicado datos de clima de -1.5 a 1.0. Para lo cual, se recogieron muestras entre 5 a 50 miligramos para luego hacerles análisis cualitativos y cuantitativos a los moluscos (conchas) y enviadas al laboratorio *Beta Analytic Radiocarbon Dating (*Certificado con la norma ISO 17025:2005, Miami, Florida, Estados Unidos), colocándolos en pequeñas cajas para resguardar y proteger la integridad física de las muestras durante su envío.

La tercera etapa consiste de interpretación y reconstrucción paleogeográfica del sitio, donde se han delineado tres paleoacantilados o paleo-costas que fueron modificadas desde hace 43.245 años. En los cortes verticales del terreno y en particular en la estación EJ-02 se pueden evidenciar estratos sedimentarios con niveles de moluscos marinos de la paleocosta más antigua y localizada a una distancia de 4 Kilómetros referido a la línea de costa actual. Esta paleo-costa tuvo un modelo de bahía que sufrió cambios por los aportes sedimentarios desde el continente, tales como depósitos fluviales o coluviales y de deslizamientos. Peligros geológicos no referidos

en los mapas geotemáticos, han sido identificados en este estudio como niveles de cenizas volcánicas transportadas por el viento como *fall-out* desde 160 a 190 kimoletros de distancia de los Andes septentrionales y depositados como lahares en las planicies aluviales de Jaramijó. Restos de osamentas humanas de edad 1.190 años ± 30 años indican que la cultura precolombina Manteña fue afectada por la erupción probablemente del volcán Quilotoa o Guagua Pichincha, esta interpretación es definida desde los datos estratigráficos obtenidos en el acantilado costero de la estación de muestreo EJ-02. Peligro por tsunamis con una altura de ola run-up de 6 a 7 cms también fue delineado en esta fase metodológica.

CAPITULO 3

GEOMORFOLOGÍA COSTERA DEL SITIO

3.1 TERMINOLOGÍA APLICADA A LA GEOMORFOLOGÍA CLIMÁTICA Y DE COSTA: DEFINICIÓN DE LOS MIS Y SU RELACIÓN CON LAS VARIACIONES DE PALEO-COSTAS Y PALEO-TEMPERATURAS.

La Etapa de Isótopo Marino (MIS, en inglés, *Marine Isotope Stages*) es uno de los períodos alternantes de glacial (períodos fríos) e interglacial (períodos cálidos) en el clima de la Tierra, derivado de los cambios en la proporción de isótopos de ^{16}O y ^{18}O contenido del oxígeno en los sedimentos fósiles. Al variar la temperatura del mar, también varía la proporción de isótopos ^{16}O, ^{17}O y ^{18}O, contenido de oxígeno en la calcita presente en los sedimentos oceánicos y acumulados particularmente en los caparazones de foraminíferos fósiles calcáreos y de moluscos o conchillas marinas, las cuales vivieron en diferentes períodos de edades geológicas [12]. La Figura. 2, muestra la delineación de los MIS durante los últimos 200.000 años y su relación de paleocostas con el incremento o reducción del nivel de mar. El sitio de estudio del cantón Jaramijó presenta sedimentos depositados desde el MIS1 (Holoceno) hasta el MIS3 (Pleistoceno superior) en base a los resultados de las dataciones de paleotemperatura obtenida de las muestras EJ-02.

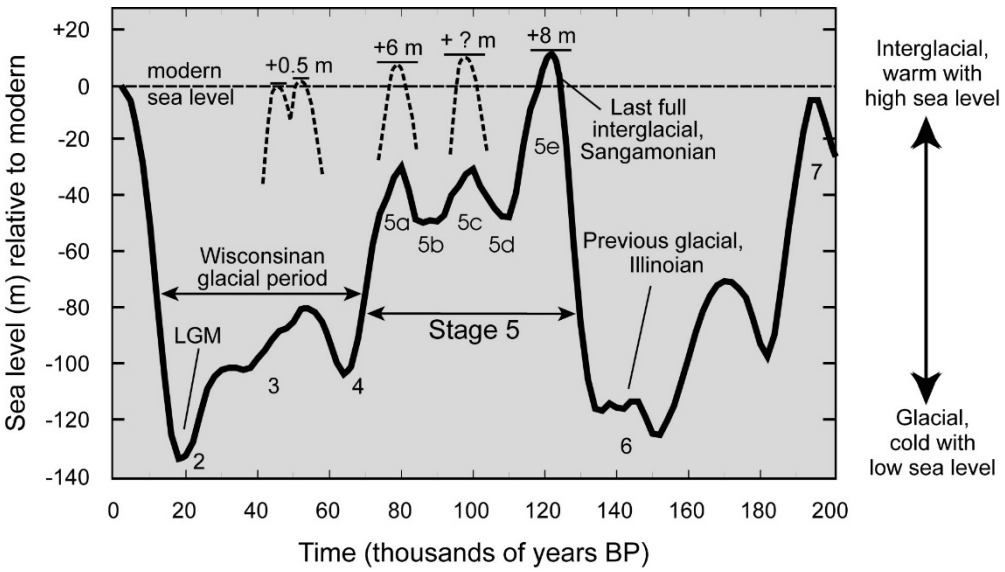


Figura 2. Delineación de los MIS durante los últimos 200.000 años y su relación de paleocostas con el incremento o reducción del nivel de mar [12].

La distribución de los isótopos en el ambiente (carbono, oxígeno y nitrógeno), suele ser: 99.759%(^{16}O), 0.0374% (^{17}O) y 0,2039% (^{18}O) con porcentajes similares en las aguas. Sin embargo esta distribución, está fuertemente ligada a la temperatura, que varía el porcentaje en el isótopo más pesado (^{18}O), ya que es más abundante en las aguas frías [13].

La relación entre la curva de la distribución porcentual de los isótopos y la temperatura, mediante el análisis de diferencias de relación entre los isótopos de oxígeno (sea en el carbonato de calcio contenido en la calcita de los sedimentos o en el contenido de los mismos en el esqueleto de la foraminíferos fósiles), permiten rastrear con bastante precisión la temperatura y paleo-temperatura del agua del mar durante el período en el que vivían los organismos marinos analizados [13].

Así mismo, la propuesta de Emiliani (1958) [14] sobre una posible relación entre las oscilaciones de las temperaturas del mar y los ciclos de glaciación ocurridos en la tierra, se ha realizado una confrontación de datos para verificar los cambios de temperatura de [15] y la salinidad de los mares en el Terciario y Cuaternario [16]. Siendo así confrontados con los datos de Milanković [17]. Para determinar las variaciones de estos componentes en la tierra.

Basado en la metodología explicada, se ha encontrado para los ciclos relativos en base de los sedimentos marinos, que estos sedimentos corresponden a ciclos glaciales e interglaciales observables en Tierra. En la figura 2, de temperatura reproduce incluso el avance y retroceso de los glaciares y también señala detalladamente los cortos niveles *interestadial* (periodo cálido en un periodo glacial) y *estadial* (periodo corto de temperatura fría en un periodo interglacial), de una forma más amplia y detallada que cualquier equivalente terrestre. Los niveles interestadial (duración de corto tiempo cálido) duran menos de 10.000 años en un periodo glacial, mientras los niveles estadiales (duración de corto tiempo frio) duran 1.000 años o menos en un periodo interglacial [12].

En la actualidad, han sido reconocidos y clasificados 103 etapas de oscilaciones de las temperaturas, indicados desde la etapa actual (edad geológica Holoceno) e identificadas como MIS 1. Los datos del MIS durante los últimos 2,5 millones de años indican unos cincuenta ciclos de oscilación del clima [18]. Durante los últimos 200.000 años se han documentados 7 MIS entre periodos glaciales e interglaciales [12]. El estadío MIS 11, datado o fechado hace unos 400.000 años, parece ser el más parecido ambiente climático al actual MIS 1 (tipo de clima en el presente), es decir las mismas condiciones climáticas del presente fueron acontecidas en el pasado del MIS 11.

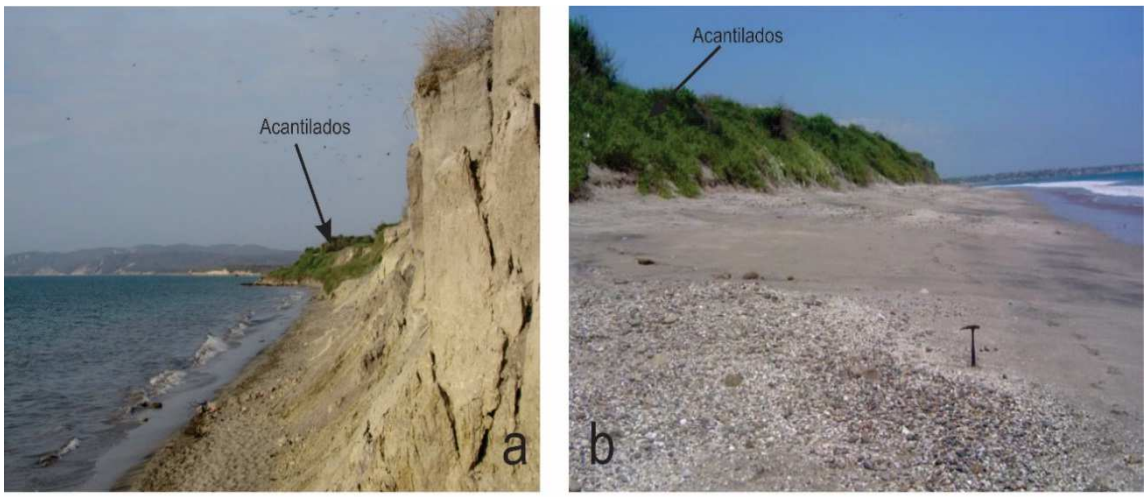


Foto tomada en el 2015. Fuente propia

Foto tomada en el 2007. Fuente Soledispa B.

Figura 3. Comparación de los cambios acelerados por la dinámica de acción del mar, que modifica y erosiona los acantilados y la playa. A la derecha la fotografía tomada por (Soledispa, 2012) [19], y a la izquierda fotografía tomada por el autor de este estudio.

3.2 TIPO DE COSTA Y PROCESOS EROSIVOS DE LA BAHÍA DE JARAMIJÓ.

La costa de Jaramijó presenta escenarios de rápidos cambios atribuidos a los procesos marinos (olas y corrientes), estratigráficos (sedimentos altamente erosionables como la arenisca y limolitas), tectónicos (fracturamiento en macizos rocosos y lineamientos estructurales que son los responsables del levantamiento de la costa) y morfológicos (las diferentes terrazas marinas en etapa de erosión por procesos fluviales) que al combinarse con otros factores como los meteorológicos (precipitaciones, temperatura del aire, viento y humedad) ocasionan cambios muy bruscos en el relieve.

La bahía de Jaramijó presenta costas con colinas bajas, cortadas como los acantilados costeros, con alturas entre 4 y 20 msnm, hacia el continente presenta colinas medias entre los 20 y 82 msnm. Adicionalmente, esta bahía también presenta colinas altas en los límites del cantón Montecristi, alcanzando alturas hasta 175 m (altitudes determinadas desde el análisis de DEM’s, modelos digitales del terreno en una plataforma GIS). También se observa un relieve disectado con formas muy marcada por el drenaje, lo que interrumpe la continuidad de los acantilados. En el sector de Punta Jaramijó se observa un banco de arena, lo que se constituye en una barrera natural, alimentada por el aporte de arena de las corrientes litorales provenientes del oeste (ver la figura 4).

Los acantilados que se evidencian en la bahía de Jaramijó se encuentran en proceso de erosión marina formando las plataformas rocosas de abrasión que han quedado por el retroceso de los mismos, es decir las colinas fueron erosionadas y transformadas en planicies rocosas. Esto se debe la acción del oleaje y al incremento del nivel del mar, que llegan de forma directa erosionando y desestabilizando los taludes provocando deslizamiento de tierra en la zona de playa y estos a la vez transportados por las olas a otros sitos (ver Figura 5). Estos acantilados de baja a mediana altura y de playas arenosas con una pendiente de 5° a 15° (tomadas en la fase 1 con brújula tipo geobrunton), desde el margen costero hacia el interior de la planicie tienen una altura de 82 m.s.n.m.

Figura 4. Afloramiento en la bahía de Jaramijó de capas sedimentarias de estratos de coquina de la formación geológica Tablazo (llamada también calizas orgánicas por tener abundante fragmentos de moluscos), levantadas por la dinámica de las olas marinas. Coordenadas UTM 1984, datum 17 Sur, 545.395mE, 9.897.001mN. Estas capas son encontradas en el piso marino sobre las arcillas y lutitas chocolates del miembro geológico Dos Bocas de la formación Tosagua.

El paisaje geomorfológico tiende a ser combinado con la tectónica activa para el sitio de estudio, ya que es habitual observar las terrazas marinas y los estratos conformados de moluscos marinos levantados con desniveles de altitudes en forma de escalera [7]. Burbank & Anderson (2001) [20] mencionan que en escalas de tiempo del Holoceno estamos en una época postglacial y que las condiciones climáticas variaban poco respecto a las otras etapas interglaciares registradas en el paso, estos ciclos climáticos pueden haber dejado huellas fuertes en el paisaje, como se evidencia en Jaramijó al observarse incisiones fluviales y de rápida erosión muy acentuadas en el relieve.

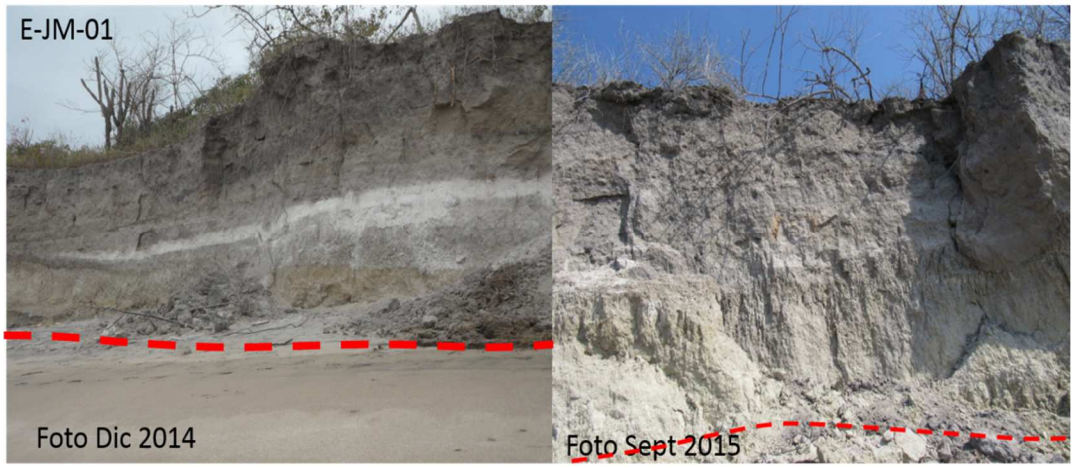


Figura 5. La erosión provocada por el embate de las olas en los acantilados de Jaramijó, también son responsables del retroceso de la línea de costa.

Para el sitio en estudio, también se observa como basamento rocoso, rocas de lutitas chocolates del miembro litológico Dos Bocas de la formación geológica Tosagua, en los acantilados bajos cubiertas por sedimentos cuaternarios (Pleistoceno superior a Holoceno) conformados por varias capas de cenizas volcánicas grisáceas y blanquecinas, y arenas de playas. Más hacia el noreste en los acantilados medios afloran estratos discontinuos de roca coquina correspondiente a la formación geológica Tablazo que es suprayacente (descansa litológicamente sobre una roca inferior) del miembro litológico Dos Bocas; también estas secuencias son cubiertas por sedimentos de arcillas marinas pleistocénicas no cementada y de arenas de playas (ver figura 6).

Toda esta secuencia estratigráfica, en particular los sedimentos recientes cuaternarios indican para el sitio de estudio, un tipo de costa emergente (asociada al levantamiento tectónico del terreno) con sedimentación progradacional, lo cual significa que esta franja costera se está levantando pocos milímetros cada año respecto al nivel de mar. En efecto, Pedoja et al. (2006) [7], indican una tasa de levantamiento para Jaramijó de 0.5 mm/año, debido a la dinámica de las placas tectónicas de Nazca que subduce y colisiona con el Bloque Norandino levantando todo el margen costero de Manabí. Las terminologías de transgresión y progradación dependen del avance o retiro del nivel de mar, cuando el nivel de mar se retira se denomina regresión y desde el continente se incrementa la tasa de sedimentación progradacional; mientras si el nivel de mar avanza hacia el continente hay aportes de sedimentos marinos por la transgresión.

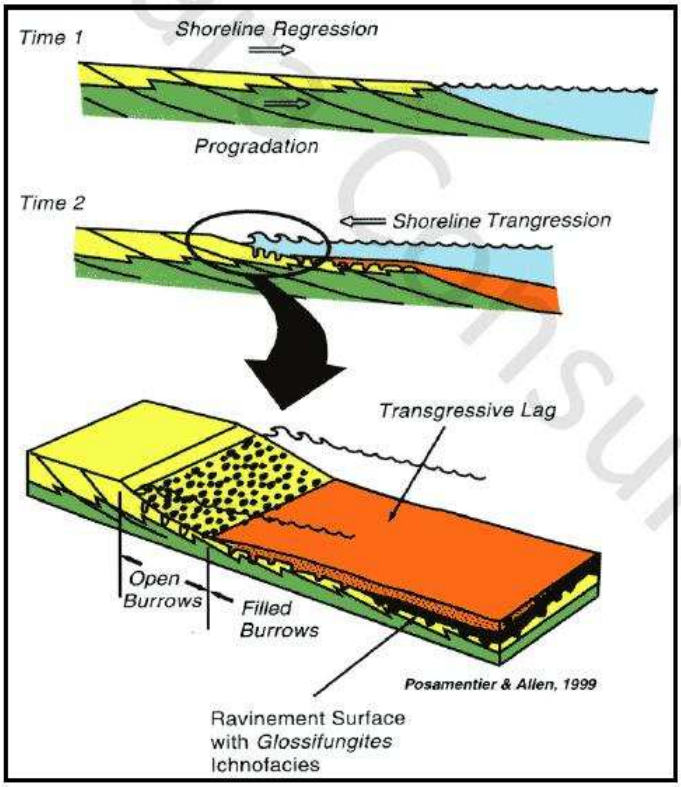


Figura 6. Variación de línea de costa por retiro (regresión) o avance (transgresión) del nivel de mar [21].

Figura 7. Afloramiento de sedimentos y rocas próximo a la estación EJ-03, a un costado del muelle Ideal. Nótese el espesor de cada unidad litológica identificada en este estudio. La unidad inferior de arcillolita corresponde a roca, las superiores son deposiciones de sedimentos cuaternarios. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

En Jaramijó, desde el pie del acantilado hasta las colinas altas, fueron encontradas alturas máximas de 10 a 300 m [7] asociadas a una sedimentación de transgresión que posteriormente fueron levantadas por la tectónica activa de la región.

Las terrazas marinas en el sitio presentan erosión dominadas por los factores climáticos como el exceso de altas precipitaciones que se presentaron en algún momento sobre la bahía de Jaramijó, que actualmente son evidentes en la superficie del terreno y en los cortes fluviales, los cuales fueron identificados también con las orthofotos a escala 1: 6.000.

3.3 RETROCESO DE LÍNEA DE ACANTILADO POR TRANSGRESIÓN HOLOCÉNICA

Durante las visitas técnicas para compilación de datos en el terreno, en la zona de playa de Jaramijó se pudo evidenciar múltiples deslizamientos a lo largo del margen costero, la dinámica de las olas marinas erosionan el acantilado costero que tiene una altura de 10 y 18 m, poco a poco colapsan la base del acantilado y de esta manera retroceden de su posición la línea de contacto océano- continente. Este retroceso del acantilado (por transgresión holocénica) deja al descubierto nuevas evidencias estratigráficas bien conservadas de secuencias sedimentarias del Holoceno y de niveles de cenizas volcánicas depositadas en dos sentidos, por lahares de cenizas (deslizamiento de ceniza y agua) y por depositación aérea (conocida en geología como transporte de cenizas por acción del viento, en inglés, *fall-out*). La Figura 8 muestra el retroceso del acantilado en las estaciones EJ-01 y EJ-03 y, la confrontación de posicionamiento desde las líneas de costas del 2004 al 2014.

Datos topográficos realizado por el Inocar (desde el 2004 y 2014) a través del equipo GPS RTK Tramble para obtención de datos con precisión de altimetría en el terreno y proporcionados en literatura por Chunga et al. (2015) [5], demuestran la evidencia propuesta en este estudio de retroceso del acantilado. Además, el análisis de fotos aéreas del año 1965 fue confrontada con las imágenes satelitales proporcionada por “google earth” del año 2013, y es notorio este cambio de retroceso del acantilado. Todos estos datos topográficos de altimetría y de análisis de fotos aéreas han permitido establecer la rápida tasa de retroceso de este margen costero de 11 a 24 metros cada 10 años o dicho en otro sentido de 1.1 a 2.4 metros por año, esto indica la rápida erosión del acantilado conformado litológicamente por sedimentos blandos y de fácil alteración. El substrato rocoso es conformado por lutitas café del Miembro Dos Bocas de la formación Tosagua, la cual también demuestra evidencia de fácil ripado formando un tipo de costa en forma de bahía.

Figura 8. Retroceso del acantilado en las estaciones EJ-01 y EJ-03, y confrontación de posicionamiento desde las líneas de costas del 2004 y 2014. La tasa de retroceso es en metros. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

En el área de estudio se encuentra las instalaciones de la Base Naval de Jaramijó, BASJAR, evidencia de muelle destruido y muros de concretos arrancados desde sus cimentaciones por el incremento del nivel de mar, además no hay obras de ingeniería y construcciones de espigones para contrarrestar los efectos de dinámica de erosión por ondas marinas, conociendo que Jaramijó es una zona de alta energía de oleaje acelerando los procesos de erosión y de derrumbe del acantilado.

3.4 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS Y BATIMETRÍA PARA DETERMINAR PALEO-COSTAS

El trabajo de compilación de datos en mar para la obtención de muestras de sedimentos en el piso marino de Jaramijó (hasta el veril -8 metros debajo de nivel de mar) ha sido realizado en la fase de geología de campo y exploración, empleando una lancha, con un GPS (en inglés, *Global Position System*) marca Magallan, de alta precisión. El GPS permitió ubicar las coordenadas UTM a lo largo del margen marino costero. La posición de coordenadas y toma de muestras tienen un mallado aproximado entre 50 y 100 m. El sistema de información geográfica en este estudio es el UTM WGS 1984, datum 17 Sur para el territorio Ecuatoriano.

Durante esta fase de campo también se determinó la columna de agua o profundidad (Z) desde la superficie al piso marino (ver Tabla 2), utilizando el método de peso y conteo con cuerda seccionada en metros. Estos datos permiten generar un mapa de batimetría de detalle y referido en la figura 13. El trabajo en mar compila 25 muestras de sedimentos tipo limo, limo arenoso, arena limosa y arena media con abundantes moluscos, y 6 muestras de arena de playa en continente. Cabe recalcar, que durante la fase de extracción el instrumento de “toma de muestra” llamado van veen, no se obtuvo muestras suficientes en zonas rocosas, el poco material arenoso de grano grueso, indica que es roca de tipo coquina (perteneciente a la formación geológica Tablazo) que se encuentra en altos batimétricos del piso marino (ver figura 14 de mapa de distribución de sedimentos). Se deduce que estos estratos rocosos se encuentran cubiertos por una capa de poco espesor de sedimentos. Todas estas muestras han sido enumeradas con las abreviaciones desde EJ-S-01 hasta la EJ-S-031.

3.4.1 ELABORACIÓN DE MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS EN PISO MARINO.

De acuerdo a los análisis macroscópicos de granulometría realizada a las 25 muestras obtenidas en el piso marino y a la posición de coordenadas geográficas UTM se ha procedido a generar un mapa de distribución de sedimentos. En la Figura 12, se puede

observar un cambio sedimentológico a medida que nos adentramos al piso marino, en la línea de costa hay predominancia de arena de granulometría fina a media, la cual es representativa a lo largo de la franja de playa.

En los veriles batimétricos (de profundidad) entre los -1.5 metros a -3.5m el sedimento es de arena limosa, reduciendo su granulometría a limo arenoso en los veriles -3.5m a -5.5m. En el veril -5.5m a -5.8m una angosta franja de arena limosa indica un incremento del grano de sedimento, desde los-5.8m a -6.2 hay predominancia de arena fina. Entre los veriles -6.2 a -7m hay variaciones de sedimentos finos entre arena limosa y limo arenoso. Desde los -7m a -8.2m hay predominancia de sedimento arena limosa. Cabe recalcar que sedimentos de grano medio a grueso se encuentran al noroeste del sitio y un sector aislado a noreste entre los veriles -7.5m a -8m. Altos rocosos en columna de agua somera (veril -1m a 1.5m) se encuentran al suroeste cercano a la línea de costa y al muelle artesanal de Jaramijó (marcado como roca en el mapa), representado en la Figura14.

Figura 9. Embarcación de instrumento de muestreo de sedimento “van veen” para la extracción de muestras de sedimentos en el piso marino alcanzando el veril de - 10 metros debajo del nivel de mar. Con la técnica peso y cuerda de determinó la profundidad de columna de agua. Ambas informaciones compiladas permitieron la generación de mapas batimétricos y de distribución de sedimentos así como un perfil longitudinal transversal a la línea de costa actual, que describe los rasgos geomorfológicos del piso marino.

Figura 10. Operación de instrumento “van veen” y extracción de la muestra de sedimento EJ-S-02. Coordenadas UTM WGS 1984, 541.093mE, 9.896.074mN.

Figura 11. Obtención y selección de un kilo de muestra de sedimento para análisis granulométrico, al inicio las muestras fueron enumeradas con la abreviación “J” en laboratorio han sido cambiadas a la abreviación “EJ-S-08”, de acuerdo al posicionamiento en sitio. Coordenadas UTM WGS 1984, 541.007mE, 9.896.008mN.

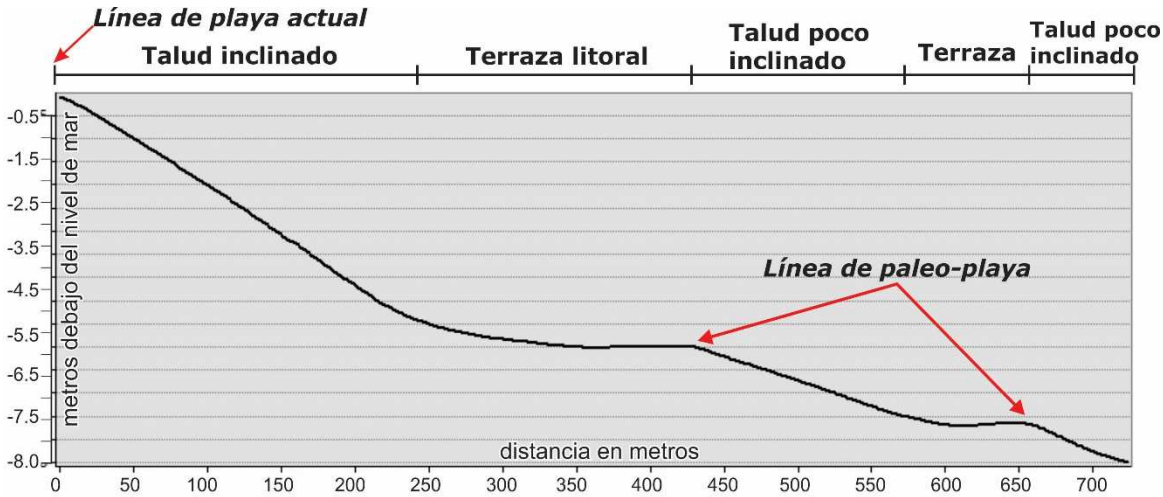


Figura 12. Perfil batimétrico del sitio Jaramijó (perfil A – B) iniciado en las coordenadas UTM 540.989mE – 9.895.358mN y finalizado en mar en las coordenadas 541.153mE – 9.896.088mN, longitud total del perfil es de 760 metros. Nótese las paleo-líneas de costas en los veriles -5.5 m y -7.6m. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

3.4.2 MAPA DE BATIMETRÍA PARA SITIO JARAMIJÓ Y PALEO-LÍNEA DE COSTA DESDE ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.

Con los datos de profundidad de columna de agua obtenida en la fase de campo, y aplicando el software Surfer10 y GIS ArcMap se ha procedido a interpolar valores de profundidad para la generación de un mapa batimétrico. El método de interpolación empleada en el software Surfer es la técnica "*kriging*". Para una mejor visualización del sitio de estudio se ha extraído una imagen satelital de google-earth posteriormente ha sido georreferenciado en una plataforma GIS con el programa ArcMap.

Analizando el mapa batimétrico se puede evidenciar que desde la línea de playa hasta los veriles -5m hay una franja estrecha geomorfológicamente atribuida una zona de talud de pendiente escarpada entre los 16° a 35° de inclinación. Desde los -5m hasta los -6.5m se presenta una terraza litoral de inclinación suave entre los 2 a 4° de inclinación posiblemente atribuida a una antigua línea de costa o paleo-costa (ver Figura 12). Desde los -6.5m a 7m el talud poco inclinado de pendiente moderadamente escarpada alcanza inclinaciones entre los 8° a 16°. En el veril -7m se desarrolla una terraza litoral estrecha de pendiente inclinada entre los 4° a 8°, tal forma representa también una paleo costa. Desde los -7m a -8.2 se evidencia un talud poco inclinado moderadamente escarpado entre los 8 ° a 16 ° de inclinación.

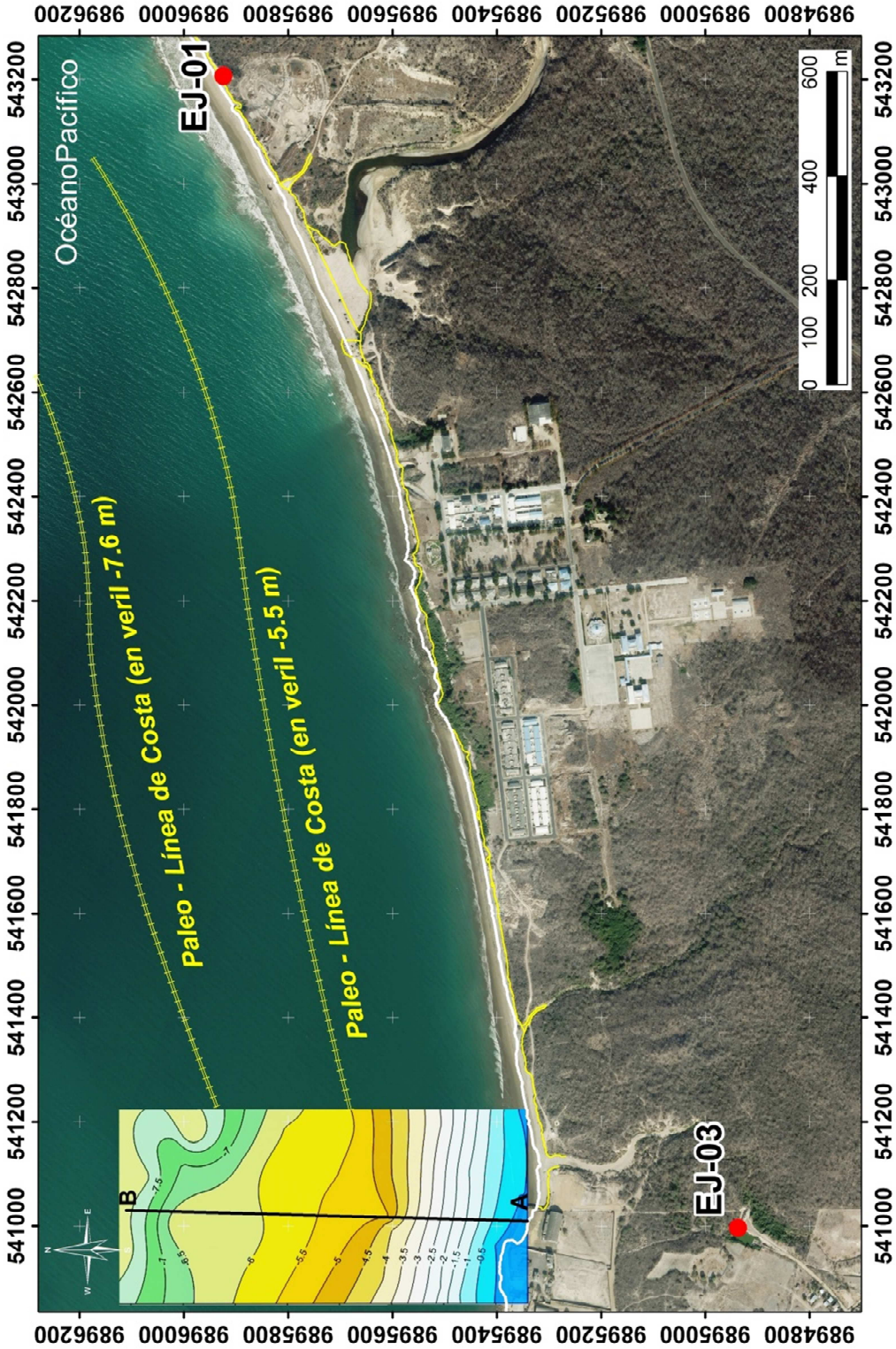


Figura 13. Mapa de batimetría realizado en este estudio y delineación de paleo-costas en los veriles -5.5 y 7.6 metros debajo del nivel del mar. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Figura 14. Mapa de distribución de sedimentos desde el veril 0 m.s.n.m. hasta los – 8 m y delineación de paleo-costas en los veriles -5.5 y 7.6 metros debajo del nivel del mar. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Interpretando este perfil batimétrico podemos indicar que: (a) las dos terrazas litorales son asociadas a paleo-líneas de costa y el talud inclinado, la distancia entre una de la otra es consecuencia de la tasa de incremento del nivel de mar en este MIS-1 periodo interglacial actual, pero algo significativo es evidenciado en el rápido o acelerado incremento de nivel de mar en el talud inclinado próximo a la línea de costa actual (transgresión holocénica). Las variaciones de cambios climáticos y los niveles de variación de nivel de mar en el veril -5 son evidenciados en el relieve como lo indica este análisis efectuado al piso marino somero y próximo a la playa de Jaramijó.

CAPITULO 4

LITOESTRATIGRAFÍA DE SEDIMENTOS CUATERNARIOS

4.1 TERMINOLOGÍA APLICADA A LA SEDIMENTACIÓN.

Durante los trabajos geológicos en el terreno se identificó el macizo rocoso donde yacen los sedimentos cuaternarios. Las rocas de lutitas color café perteneciente al Miembro Dos Bocas de la formación geológica Tosagua es el substrato rocoso más antiguo en el sitio, la cual es cubierta en algunos sectores por estratos duros de coquinas y lumaquelas (fragmentos de moluscos en matriz arenosa cementada), pertenecientes a la muy conocida formación Tablazo de edad Pliocénica a Pleistoceno inferior (ver Figura 15). En el área de estudio se encuentran dos tipos de sedimentos: (1) materiales y partículas de origen sedimentario, y (2) productos piroclásticos de grano fino de origen volcánico.

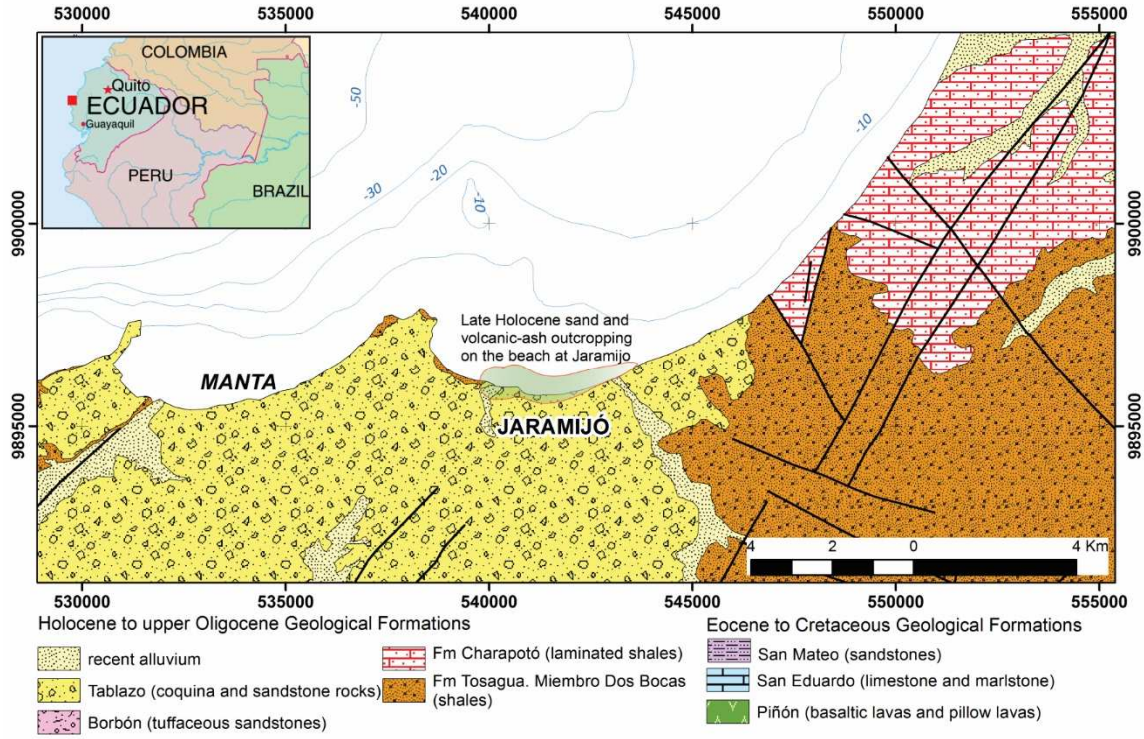


Figura 15. Extracto de mapa geológico de Manta a escala 1: 100.000, delineando los afloramientos de sedimentos y capas volcánicas de cenizas en el borde costero de Jaramijó [5].

La terminología aplicada para el primer tipo de sedimento es que pueden ser clasificados por el tamaño de cada grano individual. De menor a mayor, son: arcilla,

limo, arena, gránulos, gravas, canto rodado y boleo. Sin embargo, es más común clasificar los sedimentos según su fuente. Los sedimentos biogénicos están formados por partículas de organismos muertos. Los organismos más comunes que se encuentran en estos sedimentos son los de coral, conchas de moluscos y conchas microscópicas del plancton. En las profundidades del mar, la mayoría de los sedimentos biogénicos provienen del plancton muerto, sobre todo de las diatomeas, radiolarios, foraminíferos y cocolitofóridos. Las diatomeas y los radiolarios tienen conchas de sílice, los foraminíferos y los cocolitofóridos tienen conchas de carbonato de calcio, si el sedimento tiene más de un 30% de sílice se lo llama lodo de silíceo; si tiene más de un 30% de carbonato de calcio se lo llama lodo de calizo.

Según la clasificación de Wentworth, los fragmentos comprendidos entre 64mm (unas 2 ½ pulgadas) y 256 mm (unas 10 pulgadas, o 25,4cm) son cantos, y todos los fragmentos mayores de 10 pulgadas son llamados bolos o boleos. Para Jaramijó predominan las arenas con tamaños comprendida en el rango de 1/16 a 2mm, y las arcillas y limos de procedencia marina son encontradas en el piso marino y en niveles sedimentarios aflorantes en el acantilado costero (ver Tabla 3).

Material	Clasificación unificada por grados	Gradación de Wentworth	Roca
Boleos	12 pulgadas	10 pulgadas	de bolos
Cantos	3 a 12 pulgadas	64 a 256 mm	de cantos
Gravas	1/4 a 3 pulgadas	4 a 64 mm	conglomerado
Gránulos	-----	2 a 4 mm	conglomerado
Arenas	0,074mm a 1/4 pulg.	1/16 a 2mm	arenisca
Limos	menor de 0,074 mm	1/256 a 1/16mm	limolita
Arcillas	menor de 0,074 mm	menor de 1/256mm	arcillolita

Tabla 3. Tamaños de fragmentos, granos y rocas sedimentarias detríticas.

Otro tipo de litología y asociada a la actividad volcánica, es también frecuente encontrarlo depositado en el área de estudio, en efecto grandes extensiones de cenizas y lahares son encontradas en la provincia de Manabí, y muchos de estos productos causaron daños severos en poblaciones precolombinas [11] [4]. Los volcanes activos desde donde provinieron estos materiales son: Quilotoa, Pululagua, Guagua Pichincha y Cotopaxi, localizado entre 140 a 190 kilómetros de distancias [10]. Estudios de ingeniería básica efectuada en infraestructuras de Manabí consideran con nivel bajo el riesgo geodinámico por amenaza volcánica [22], sin embargo la geología de superficie y los datos compilados en el terreno demuestran lo contrario, de que la costa central del Ecuador es propensa a afectaciones y daños por productos

piroclásticos proveniente de múltiples edificios volcánicos de los Andes septentrionales del Ecuador.

Para una mejor comprensión de la terminología de productos o materiales volcánicos, podemos describir a la actividad volcánica de forma explosiva luego el magma enfriado se fragmenta y se expulsa y reparte en forma de material suelto. Este material expulsado, fragmentado y distribuido por el viento (conocido en geología como "*fall-out*"), no compactado se denomina *tefra*, independientemente de la composición o del tamaño de los granos. Los diferentes fragmentos, sueltos o compactados, son llamados piroclastos (ver tabla 4).

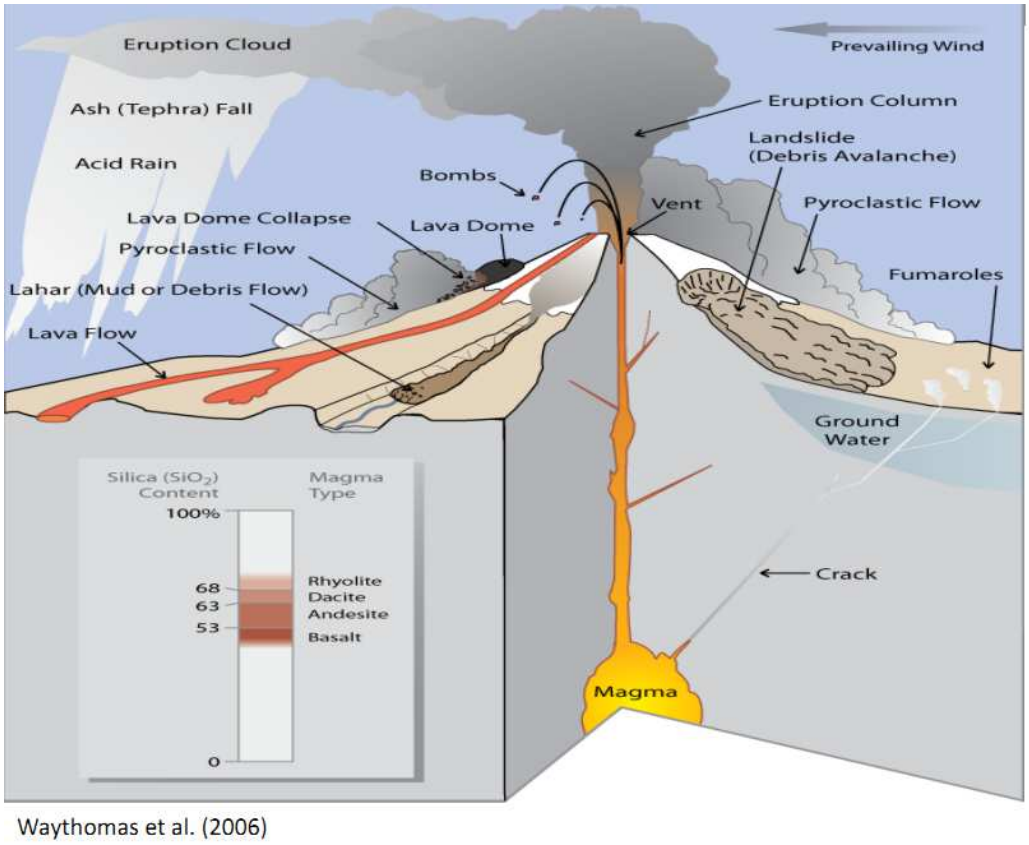


Figura 16. Productos volcánicos primarios (domo, fall-out, flujo de lava, flujo piroclásticos) y secundarios (lahares y deslizamientos) formados durante una actividad volcánica [23].

El material piroclástico está expuesto a tres distintos procesos de transporte y deposición: (a) caer desde una nube de ceniza en alturas altas de la atmósfera, (b) flotar en el aire o fluir en una avalancha ardiente, (c) depósitos de tefra transportada en una nube de ceniza en altura alta de la atmósfera.

En las erupciones muy explosivas la tefra de tamaño de grano lapilli y ceniza es expulsada hacia alturas altas de la atmósfera, transportada a distancias muy largas por

medio de corrientes de aire de la nube eruptiva o por el viento antes de caer a la superficie terrestre bajo la influencia de la gravedad. Esta última interpretación es asociada al mecanismo de transporte y depositación para la ceniza encontrada en el cantón de Jaramijó, donde la ceniza viajó entre 140 a 190 km de distancia desde la fuente volcánica en los Andes septentrionales.

Clasificación de rocas efusivas		
Tamaño de los fragmentos	Tefra (sin compactación)	piroclasticas (compactadas)
> 64 mm	bombas	piroclásticas
2 - 64 mm	lapilli	toba de lapilli
< 2 mm	cenizas	toba de ceniza, ignimbrita

Tabla 4. Tipos de rocas efusivas volcánicas y su relación con material no compactado.

Con estas definiciones se describe, en la siguiente sección, las secuencias sedimentarias y cinco columnas estratigráficas con sedimentos y fragmentos volcánicos encontrados en el sitio de estudio. Esta información permitió comprender las fases evolutivas de ambiente sedimentario acontecido en el sitio desde el Pleistoceno superior, así como identificar los peligros geológicos a la cual es expuesto la costa central del Ecuador, así como los cambios climáticos y variaciones de periodo glacial e interglacial que han modificado bruscamente el paisaje costero de Jaramijó.

4.2 UNIDADES SEDIMENTARIAS Y DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA.

En esta sección se describe las unidades litológicas encontradas en las cinco estaciones de muestreos de la zona de Jaramijó. Las estaciones geológicas son abreviadas con las iniciales EJ-01 a EJ-05, unas realizadas en la zona de playa y otras al interior del cantón, próximo a la vía principal que direcciona a la población de Crucita.

4.2.1 Estratigrafía y Unidades Litológicas de la estación EJ-01

Esta columna estratigráfica se encuentra localizada en una zona de playa erosiva donde el acantilado costero retrocede de 1.0 a 2.3 metros por año (ver sección 3.4.2 donde se detalla los métodos topográficos para variabilidad de línea de playa). Esta alta tasa de retroceso es asociada a la transgresión holocénica, donde la dinámica de erosión marina corta la base del acantilado caracterizado por litología blanda y de fácil remoción como las arcillas, arenas no cementadas, y cenizas volcánicas, aquí cortes verticales dejan al descubierto una serie de niveles sedimentarios y volcánicos, los cuales proporcionan datos importantes sobre la evolución paleogeográfica del sitio. Perfiles batimétricos realizados en este estudio indican intercalaciones de paleo-líneas de costa y pendiente inclinadas, este último rasgo formado (ver Figuras 13 y 14) por el rápido ascenso del nivel de mar asociado a los cambios climáticos del presente interglacial MIS – 1 (*Marine isotope Stages*).

La secuencia sedimentaria es del Holoceno, donde las dataciones con carbono 14 fueron realizados a fragmentos de carbón y moluscos localizados en los niveles del estrato EJ-1B y EJ-1E, indican edades recientes entre 1.030±30 B.P. años y 1190±30 B.P., niveles de cenizas y lahares volcánicos demuestran que el sitio de Jaramijó al igual que la costa central del Ecuador es susceptible a transportes lejanos de materiales piroclásticos desde los Andes septentrionales, ejemplo volcanes Quilotoa, Pululahua, Cotopaxí y Guagua Pichincha [9] [4], estos depósitos han sido aporte mayor o igual a los sedimentos, los cuales modificaron bruscamente el paisaje del sitio.

Este afloramiento correspondiente a la estación geológica EJ-01, es conformada por 8 bien definidas unidades litológicas, como sigue:

La unidad EJ-1A, litológicamente es compuesta por un nivel de ceniza gris, masiva no cementada que puede alcanzar los 2 metros de espesor en el sitio, este nivel es bien expuesto en la zona costera de Jaramijó, bien identificable por su color grisáceo y deposición caótica por lahares, los cuales contienen en su interior restos de cerámica precolombina perteneciente a la cultura Manteña. Esta misma unidad es correlacionable con la parte superior de la estación EJ-02.

La unidad EJ-02, tiene intercalaciones de arena de granulometría media (presencia de moluscos marinos) con niveles de cenizas color grisácea, algunas arenas contienen en su interior ceniza mezclada indicando una deposición de energía alta. En este nivel se muestreo fragmentos de carbonos en una capa de paleo-suelo, la cual fue seleccionada cuidadosamente en el laboratorio de malacología de la FICT (Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Tierra de la ESPOL), codificarla y enviarla al laboratorio de datación en Miami, *Beta Analytic*. El resultado de edad radiocarbónica o de C14 estimada en años es de 1.030 ± 30 B.P. Estos resultados de dataciones

fueron proporcionados por el Dr. Maurizio Mulas, becario Prometeo en Ecuador y referido en literatura por Mulas et al. (2015) [10].

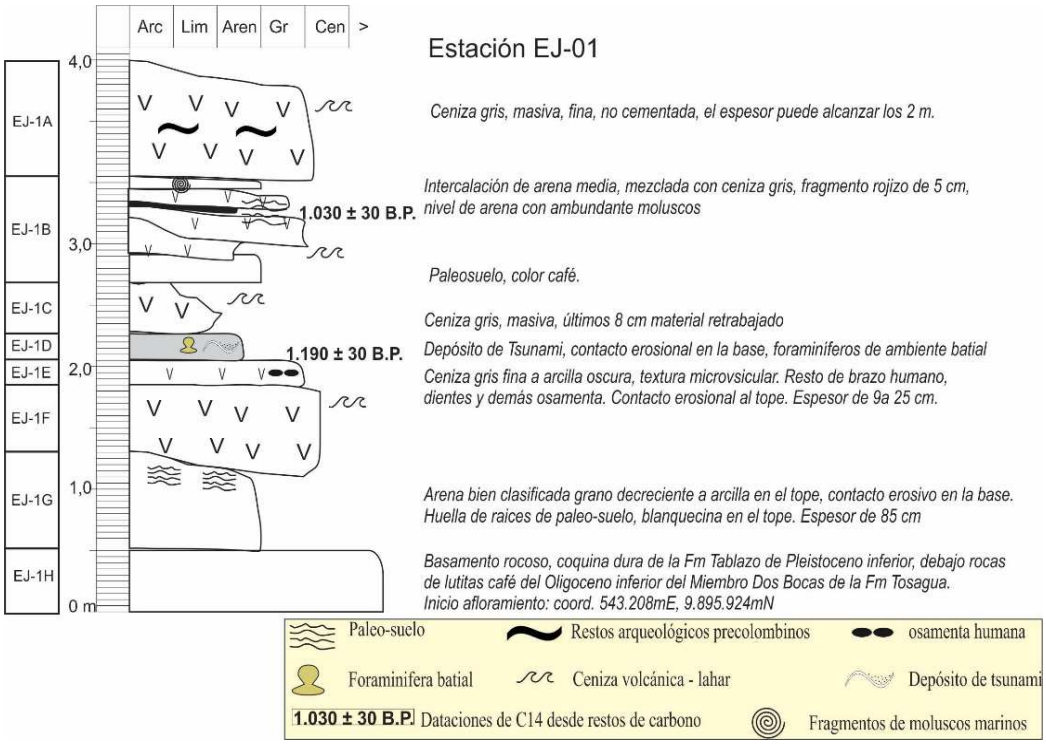


Figura 17. Columna estratigráfica de la estación de muestreo EJ-01, localizado en las coordenadas 543.208mE y 9.895.924mN. Las abreviaciones Arc: arcilla, Lim: limo, Aren: arena, Gr: grava, y Cen: ceniza volcánica. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Figura 18. Acantilado costero de la estación EJ-01, y delineación de las unidades sedimentarias y volcánicas. Nótese la distribución espacial del nivel de depósito de tsunamis de 1.200 ± 30 años atrás. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Figura 19. Resto de brazo humano de la cultura Manteña de edad 1190±30 B.P. años, sepultada dentro de una capa de ceniza gris volcánica, localizada en un acantilado costero en la playa de Jaramijó. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Figura 20. Restos de cerámica precolombina de la cultura Manteña encontrada en la estación EJ-01. La moneda de 25 centavos indica la escala de parte de fragmento de plato cerámico. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

La unidad EJ-1C, al tope un nivel de paleosuelo, esta unidad contiene ceniza gris masiva, en la base en los últimos 8 cm material retrabajado y una capa de arena de grano fino a medio, la cual cubre el nivel arenoso de depósito de tsunami de la unidad siguiente.

La unidad EJ-1D, es uno de los más importantes niveles sedimentarios que ha proporcionado información del peligro de tsunami, este nivel se encuentra a una altura de 6.3 metros sobre el nivel de mar. La máxima ola run-up (ola de tsunami) para este sitio registrado en los sedimentos, estaría en el rango de 5 a 7 metros de

altura. Toda esta información se obtuvo de un exhaustivo análisis bioestratigráfico y paleosismológico, la cual se encontró restos de foraminiferos de ambiente marino batial, es decir microorganismos que viven a 2 o 3 kilómetros de profundidad y no son presentes próximos a la línea de costa o plataforma continental, el foraminífero identificado es el *Melonis sphaerodis*, otros géneros encontrados son el *Globigerina sp.* y *Girodinides sp*, de ambiente de plataforma interna. Estratigráficamente esta unidad tiene un bien marcado contacto erosivo que corta la unidad EJ-1E.

La unidad EJ-1E, es una capa de ceniza gris entre 9 a 25 cm de grosor, al interno se encontró restos óseo de un brazo, dientes y otras osamentas las cuales estaban sepultadas en este nivel. La erosión por dinámica de olas provoco deslizamientos del sitio arrastrando la mayor parte de la osamenta, es común encontrar a lo largo de esta playa restos humanos de la cultura Manteña. Restos de carbono fueron seleccionados para determinar la edad relativa, por análisis C14 se estimó una edad de 1.190 años ± 30 B.P.

La unidad EJ-1F, es una capa de ceniza gris masiva, no cementada.

La unidad EJ-1G, es arcilla marina poco dura, al tope presenta huellas de raíces, blanquecinas, paleosuelo.

La unidad EJ-1H, es el macizo rocoso del sitio conformado por coquinas duras de la formación geológica Tablazo, más al inferior hay lutitas de color café del Miembro Dos Bocas de la formación Tosagua.

4.2.2 Estratigrafía y Unidades Litológicas de la estación EJ-02

Esta columna estratigráfica se encuentra localizada a 3.97 km de distancia de la línea de costa, geomorfológicamente localizada en una zona de terraza marina de 20 a 25 metros de altura respecto al nivel de mar. El sitio es una zona de cantera abandonada donde se extrajo material arenoso posiblemente para obras de construcción, actualmente es un lugar de botadero de desechos. Desde un punto de vista del análisis sedimentológico el sitio presenta bien preservadas secuencias sedimentarias y volcánicas que pueden proporcionar información relevante para reconstruir la paleogeografía y paleoclimatología del sitio.

La estación de muestreo EJ-02 es conformada por cinco bien identificadas unidades litológicas abreviadas desde EJ-2A a EJ-2E. Las descripciones de unidades son detalladas como sigue:

La unidad EJ-2A es el más reciente depósito caótico del lugar y es caracterizado como un paleo-deslizamiento o depósito de aluvión acontecido posiblemente a finales del Pleistoceno superior. Los clastos son heterogéneos (de diversa litología o tipo de

rocas) y con aristas angulares la cual representa un corto transporte desde la fuente arrancada de la colina alta y deposita en este sitio de valle fluvial. No se encontraron restos de cultura precolombina en esta unidad.

La unidad EJ-2B es compuesta por una capa superior de arenas negras ferro-titaníferas (en un 40%) intercalada con laminaciones continuas de arena fina color café, con laminaciones cruzadas asociadas a un depósito de energía alta; no hay restos de moluscos marinos sin embargo las características estratigráficas indican que su ambiente sedimentario corresponde a una zona intertidal (zona entre marea alta y marea baja, ver Figura 21).

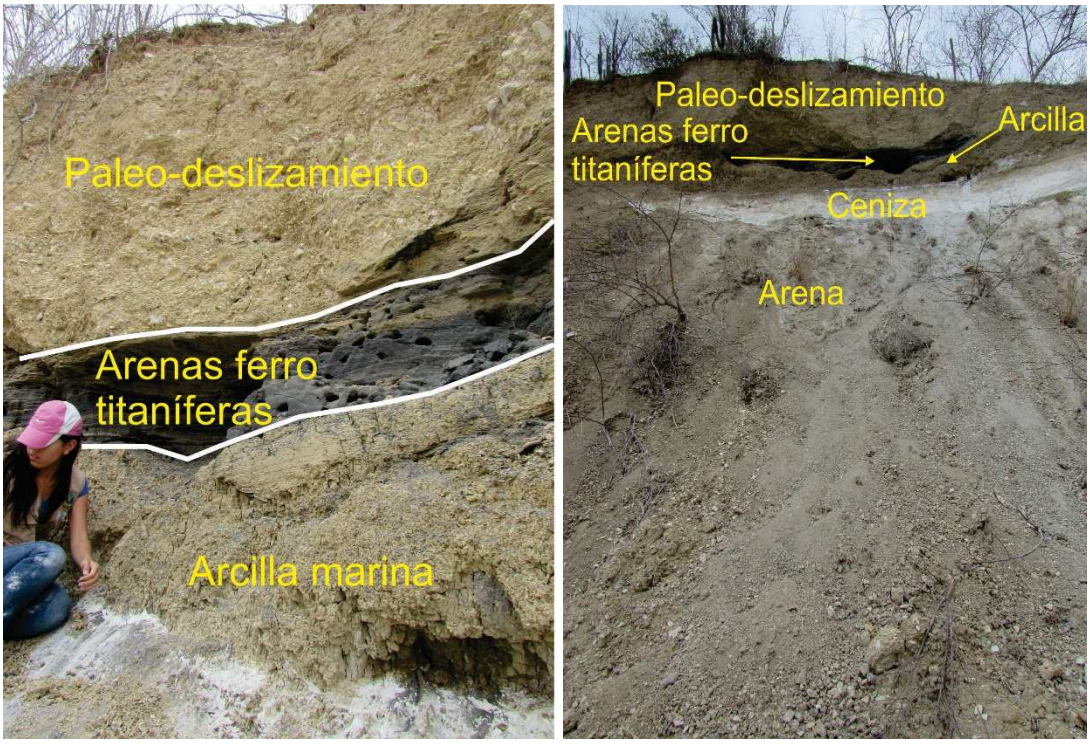


Figura 21. Unidades litológicas EJ-2A correspondiente a paleo-deslizamiento, y la unidad EG-2B son arenas ferro-titaníferas depositadas en una zona de canal posiblemente indica un paleo-acantilado, en la base arcilla marina. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

La unidad EJ-2C, es caracterizada por una capa de ceniza blanquecina, homogénea depositada por “fall-out” o caída (no por lahar), probablemente procedente del volcán Quilotoa, es ceniza lapilli rica en pumitas, cristales y depósitos líticos. (Hall & Mothes 2008) [24] indica tipo de erupción pliniana. El volcán Quilotoa localizado en la provincia de Cotopaxi, en los últimos 200.000 años se ha identificado ocho ciclos de erupciones. El intervalo de erupción es de 10.000 a 15.000 años, fuertes erupciones pliniana de intensidad moderado a gran tamaño (*Volcanic explosive Indice*, VEI=4 – 6).

La unidad EJ-2D es, conformada por arena de granulometría fina, partículas de cuarzo anguloso a subanguloso, presencia de lignitos, resinas, pocos fragmentos de moluscos y espículas de equinodermos, la coloración de este nivel puede indicar posible oxidación por encontrarse durante su depositación en un medio o interfase aerobia.

Figura 22. Unidades litológicas, posición izquierda la unidad EJ-2C correspondiente a ceniza blanquecina depositada probablemente por *fall-out*; en posición derecha, la unidad EJ-2D que es un nivel de arena con tonalidades rojizas posible oxidación.

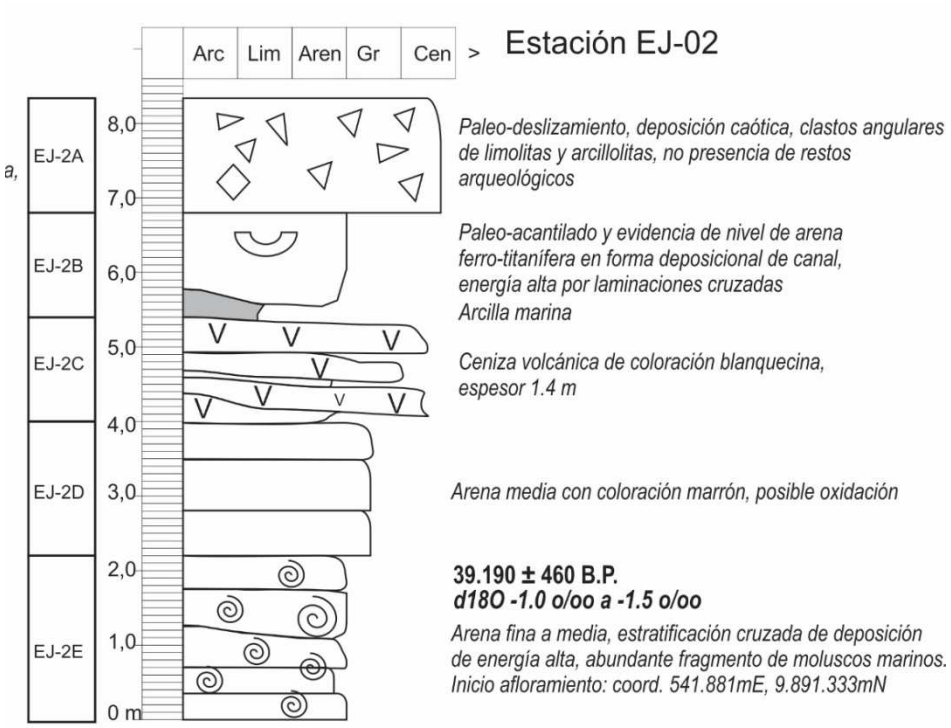


Figura 23. Columna estratigráfica de la estación de muestreo EJ-02, localizado en las coordenadas 541.881mE y 9.891.333mN. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

La unidad EJ-2E es la unidad inferior en este afloramiento sedimentario, de arena media no cementada con ambundante fragmentos de moluscos, los cuales fueron identificados tales como: *trachycardium (Mexicardia) pro, Divalinga perparvula, Diplodonta obliqua, Lucinisca centrigufa, Diplodonta sericata, Lirophora mariae, Donax dentifer y Donaxobesulus*. Estas especies proporcionan información de la deposición sedimentaria de esta unidad, de marino e intermareal de plataforma continental interna. En este nivel se obtuvo muestras de moluscos para realizar la datación de C^{14} y de isotopo de oxigeno inestable, la edad estimada es de cal. 43.245 a 42.090 años B.P., y dato de paleo-temperatura de -1 a -1.5 $\delta^{18}O$.

4.2.3 Estratigrafía y Unidades Litológicas de la estación EJ-03

El afloramiento geológico de esta columna estratigráfica se encuentra localizada en las coordenadas UTM 540.794mE y 9.895.203mN, en un sector del astillero próximo a la línea de costa, es una zona de excavación de material arenoso para emplearlas en construcciones o rellenos. Este ha dejado al descubierto secuencia sedimentaria de 7 metros de altura.

Figura 24. Extracto de imagen satelital de google earth, donde se evidencia el sitio de la estación EJ-03 próximo a la línea de costa a 200m de distancia.

Figura 25. Columna estratigráfica de la estación de muestreo EJ-02, localizado en las coordenadas 540.794mE y 9.895.203mN, referido a la línea de playa a 200 metros de distancia.

La estación de muestreo EJ-03 es conformada por ocho bien diferenciadas unidades litológicas abreviadas desde EJ-1A a EJ-1H. Las descripciones de unidades son detalladas como sigue:

Figura 26. Fragmento de olla precolombina de la cultura Manteña delineando el suelo antropogénico EJ-1A y la inferior EJ-1B, para la estación EJ-03.

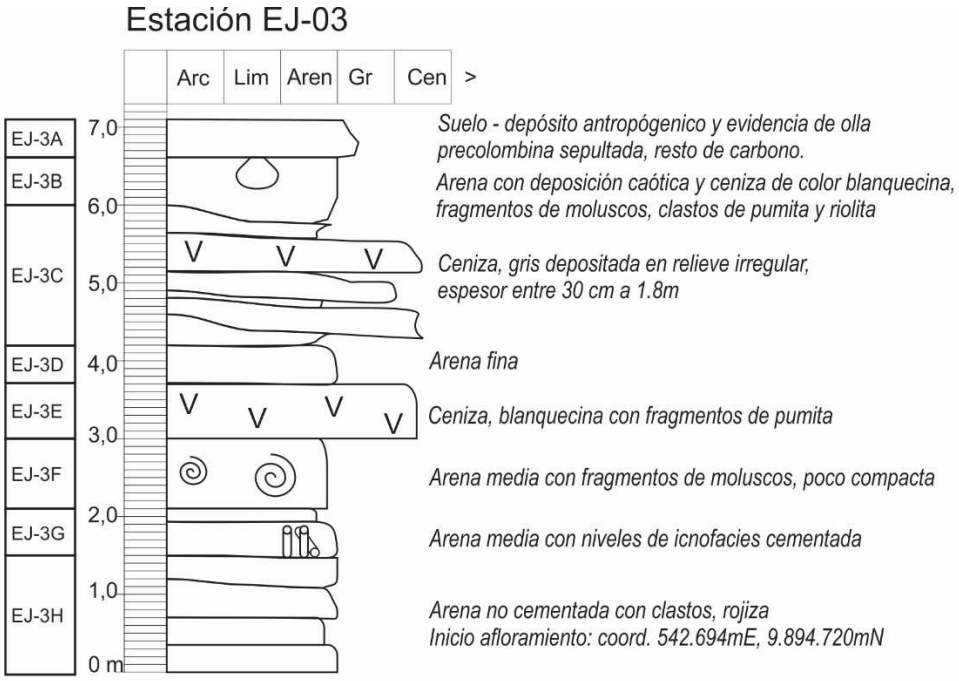


Figura 27. Columna estratigráfica y niveles sedimentario y volcánico para la estación EJ-03. Coordenadas UTM, 540.794mE y 9.895.203mN. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

La unidad EJ-1A es el más reciente depósito asociado a un suelo antropogénico con espesor de 52 cm, varios fragmentos de restos arqueológicos perteneciente a la cultura precolombina Manteña son evidenciados en los cortes verticales del sitio, una vasija con restos de carbono al interior indican un sepultamiento rápido del sitio posiblemente asociado a caída de cenizas blanquecinas transportadas desde el Quilotoa hace 800 años B.P. [9] [24] y depositadas en este margen costero de Manabí.

La unidad EJ-1B es compuesta litológicamente por arena de grano fino a medio de deposición caótica y ceniza de color blanquecina con fragmentos diminutos de pumita y riolita. Restos de moluscos también son observados en el sitio pero son más asociadas al transporte por humanos que empleaban mariscos entre sus productos alimentarios. El espesor es de 63 cm.

La unidad EJ-1C, de ceniza gris, tiene una particularidad en el sitio ya que su nivel de depositación se adapta a la forma del relieve ondulado, el espesor varía entre 30 cm a 1.8 m.

La unidad EJ-1D, es litológicamente compuesta de arena fina, con un espesor de 50 cm.

La unidad EJ-1E, de ceniza blanquecina con presencia de fragmentos de pumita. El espesor es de 70 cm.

La unidad EJ-1F, arena de granulometría media con fragmento de molusco, poco compacta. El espesor es de 90 cm.

La unidad EJ-1G, arena de grano medio con niveles de icnofacies cementada. El espesor es de 60 cm.

La unidad EJ-1H, arena no cementada con clastos rojizos. El espesor es de 1.5m.

4.2.4 Estratigrafía y Unidades Litológicas de la estación EJ-04

El afloramiento geológico de esta columna estratigráfica se encuentra localizada en las coordenadas UTM 542.173mE y 9.891.734mN, en un sector del cantera abandonada localizada a 3.50 Km referido la distancia a la línea de costa. Este sitio es uno de los pocos afloramientos cuaternarios en la costa central del Ecuador, donde se ha obtenido en los cortes estratigráficos bien preservados información fundamental para comprender la evolución paleogeográfica de la costa central del Ecuador, debido a que los sedimentos encontrados tienen una edad desde Pleistoceno superior a Holoceno.

Las unidades litológicas son descritas como sigue:

La unidad EJ-4A inicia con un nivel de arcilla arenosa de color café a amarilla, blanda, poco calcárea, esporádicos lentes de cenizas de aproximadamente 10 cm de grosor, desde tope a base se evidencia inclusiones de yeso.

La unidad EJ-4B, compuesta de ceniza masiva, blanquecina, si la correlacionamos con los otros afloramientos puede ser asociado su deposición a los volcanes de Quilotoa o Guagua Pichincha.

La unidad EJ-4C, litológicamente corresponde a arcilla arenosa, de color café a amarillo, presencia de calcáreo y abundante yeso desde tope a base de la unidad.

La unidad EJ-4D, es conformada de ceniza de color blanquecina, textura masiva.

La unidad EJ-4E, es un nivel de arena laminada de granulometría fina a media, no cementada, color café a amarillo, oxidación en las arenas, presencia de icnofacies.

Figura 28. Paisaje del sitio de afloramiento sedimentario en la estación EJ-04. Coordenadas UTM, 542.7173E y 9.891.734mN.

La unidad EJ-4F, conformado de arena de grano medio, de color café a amarillo, no compacta, presencia de icnofacies en la base de la unidad, abundante fragmento de moluscos.

La unidad EJ-4G, de litología de arena de grano medio a grueso, color café a amarillo.

Este afloramiento está a un costado de la carretera principal y evidencia dos eventos importantes de caída y depósitos de cenizas volcánicas acontecidas en el Pleistoceno superior.

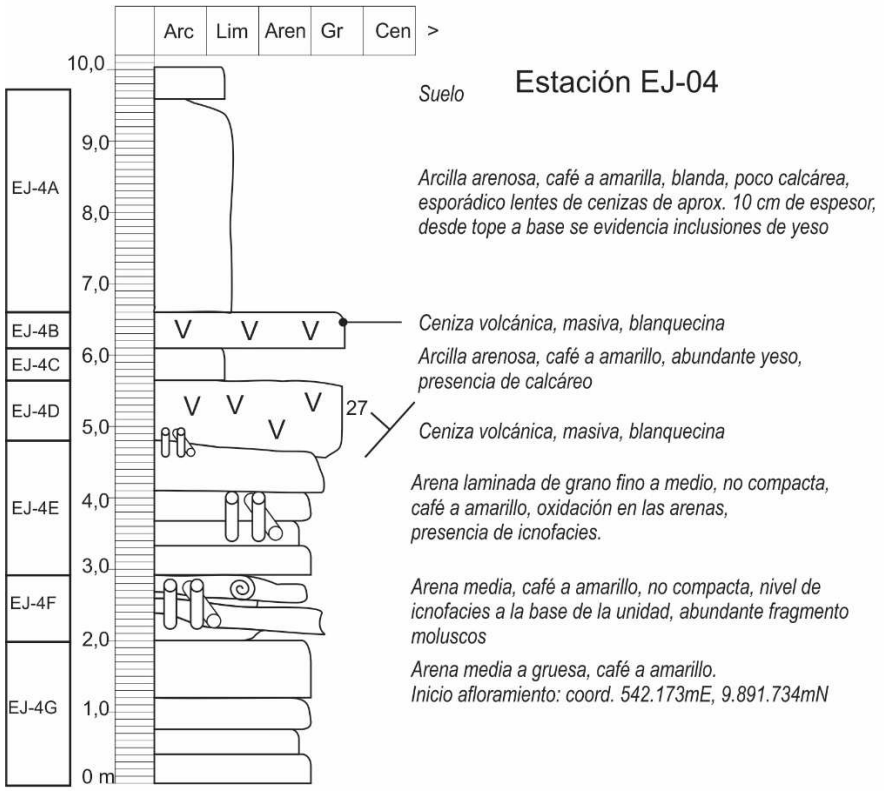


Figura 29. Columna estratigráfica y niveles sedimentario y volcánico para la estación EJ-04. Coordenadas UTM, 542.173mE y 9.891.734mN. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

4.2.5 Estratigrafía y Unidades Litológicas de la estación EJ-05

El afloramiento geológico de esta columna estratigráfica se encuentra localizada en las coordenadas UTM 542.173mE y 9.891.734mN, en un sector del cantera abandonada localizada a 3.7 Km referido la distancia a la línea de costa. Este sitio es uno de los pocos afloramientos cuaternarios en la costa central del Ecuador. Las unidades litológicas son subdivididas con las abreviaciones EJ-5A a EJ-5G, descritas como sigue:

La unidad EJ-5A inicia con un nivel de arena de grano fino a medio, no cementada, presencia de oxidación, color café.

La unidad EJ-5B, con litología de arena de grano medio, textura masiva, con oxidación de arenas en la base, presencia de moluscos, restos de raíces en el tope de la unidad, de color blanquecino. Esta unidad es similar al afloramiento de sedimentos de la base de la estación EJ-01, en la zona de playa donde se encontró los restos de osamenta de la cultura Manteña.

La unidad EJ-5C, es arena fina a media, abundante fragmento de icnofacies, compacta, de color pardo a amarillo.

La unidad EJ-5D, arena laminada fina a media, pocos restos de icnofacies, poco compacta, de color café a amarillo.

La unidad EJ-5E, compuesta de arena fina a media, con poca presencia de icnofacies, compacta de color pardo a amarillo.

La unidad EJ-5F, es caracterizada por laminaciones de arena, de grano fino a medio, no compacta, de color café claro, presencia de icnofacies.

La unidad EG-5G, es la base de esta secuencia, conformada por arena fina a media, estratificación masiva, color pardo.

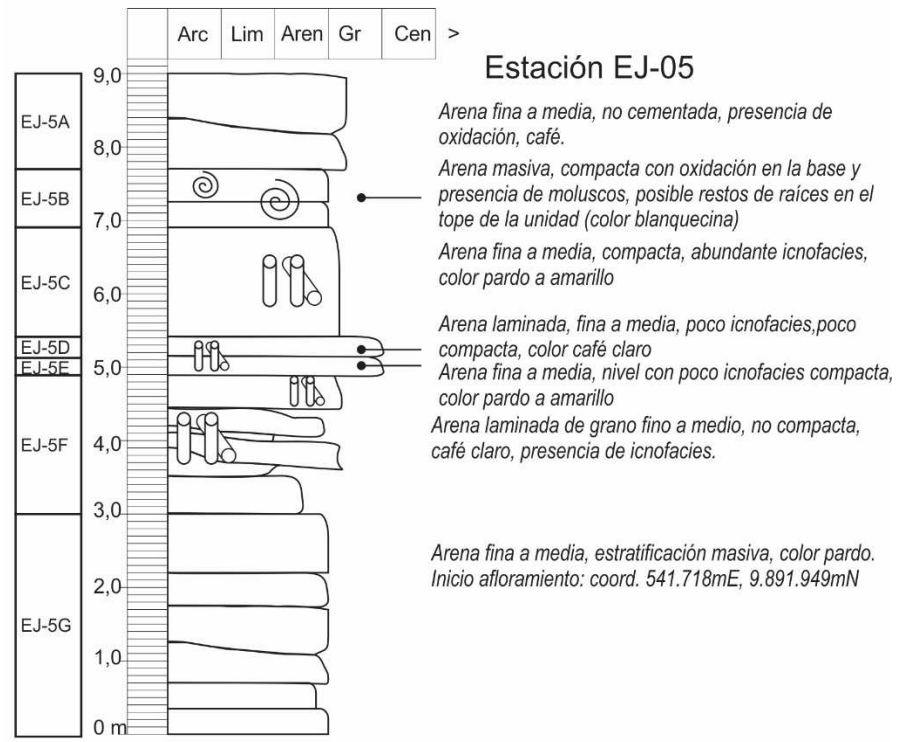


Figura 30. Columna estratigráfica y niveles sedimentario y volcánico para la estación EJ-05. Coordenadas UTM, 541.718mE y 9.891.949mN. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

4.3 NIVELES DE CENIZAS VOLCÁNICAS, SU EFECTO EN LA MODIFICACIÓN DEL TERRENO Y AFECTACIÓN A CULTURAS PRECOLOMBINAS EN JARAMIJÓ

En las columnas estratigráficas de cinco estaciones de muestreos para el sitio de Jaramijó se pueden evidenciar niveles de cenizas volcánicas de diferentes tonalidades transportadas por el viento desde los Andes septentrionales con distancias entre los 140 a 190 kilómetros, provenientes desde los volcanes Quilotoa, Pululagua, Guagua Pichincha y Cotopaxi, los cuales han reportado fuertes erupciones pliniana (columna piroclásticas que alcanzan hasta los 55 Km de altura) con índice de explosión volcánica VEI 4 a 6 (VEI, *volcanic explosivity index*) [9] [24]. En el terreno se han diferenciado dos tipos de depósitos: (1) los *lahares* con disposición caótica y fragmentos de rocas heterogéneas (diferentes litologías) en las cuales se han encontrado hasta restos rotos de cerámicas precolombinas y osamentas humanas a lo largo de la playa en y cerca de las estaciones EJ-01 y EJ-03; (2) los depósitos de cenizas por caída libre, conocido también como "fall-out", los cuales son deposiciones homogéneas depositadas directamente en el terreno, estos últimos son clasificados como productos piroclásticos primarios.

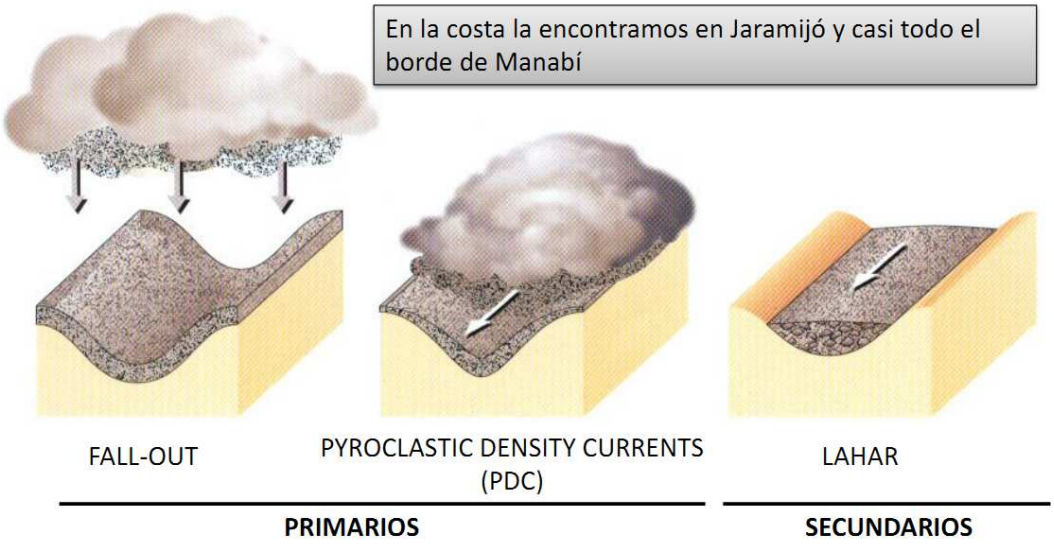


Figura 31. Productos volcánicos piroclásticos primarios y secundarios que pueden transportarse por decenas a centenas de kilómetros desde su fuente [10]. Los depósitos por *fall-out* y lahar han sido encontrados en el sitio de estudio.

Estudios precedentes de la amenaza volcánica y su efecto a poblaciones precolombinas han sido bien documentados para el valle de Jama [4] [25]. Las amenazas geológicas y en particular los volcanes tienen actividades recurrentes para la costa central de Manabí en el sector de Jama, donde fueron afectadas las culturas de Jama – Coaque, Muchique 1, Chorrera, Tabuchila 2, Valdivia y Piquigua como

consecuencia de las erupciones plinianas de los volcanes Guagua Pichincha y Pululagua (años 90 DC., 467 AC., 1880 AC; DC: después de Cristo, AC: antes de Cristo, ver figuras 32 y 33) [4].

Para la zona de playa de Jaramijó se han encontrado niveles de ceniza blanquecina probablemente provenientes de las actividades de los volcanes Quilotoa o Guagua Pichincha, ambas tienen características similares a diferencia que las pumitas del Quilotoa tienen presencia del mineral biotita. Las unidades litológicas EJ-1E y EJ-1B tienen edades de 1.190 años ± 30 B.P. y de 1.030 años ± 30 B.P., respectivamente (ver columna estratigráfica de la estación EJ-01 de la figura 16).

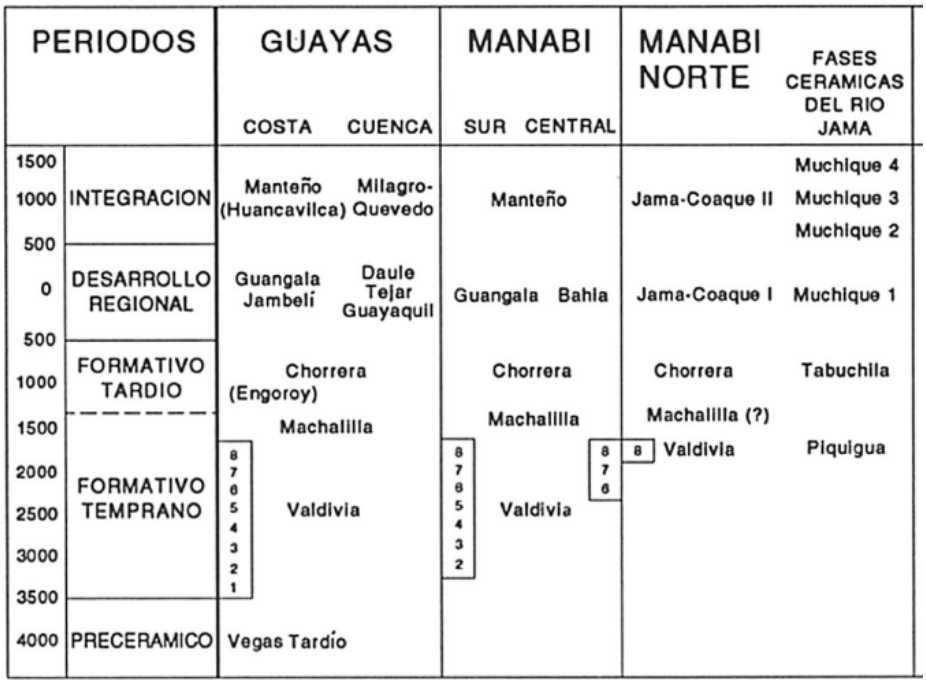


Figura 32. Periodos de culturas precolombinas de la costa sur y central del Ecuador [4].

Estimated date	Culture/Phase affected	Abandonment (years)	Probable source	Eruption type	VEI
~90 AD	Jama–Coaque I/Muchique 1	~330	Guagua Pichincha	plinian	4
~467 BC	Chorrera/Tabuchila 2	~227	Pululahua	plinian	5
~1880 BC	Terminal Valdivia/Piquigua	~580	Guagua Pichincha	plinian	4?

Figura 33. Eventos volcánicos del Holoceno registrados en el valle de Jama, costa central del Ecuador [4].

Un nivel más reciente de ceniza gris en donde se ha identificado un suelo antropogénico (ver columna estratigráfica de la estación EJ-03) puede ser indicador del último evento volcánico acontecido poco antes de la llegada de los españoles, y

por sus características sedimentológicas puede ser relacionada a una de las fuertes erupciones volcánicas del volcán Cotopaxi.

4.4 INDICADORES BIOESTRATIGRÁFICOS PARA AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Análisis de sedimentos arenosos en las unidades estratigráficas de las estaciones de muestreos han sido realizados con la finalidad de encontrar micro o macro-organismos calcáreos que permitan indicar el ambiente sedimentario de formación y demás características asociadas a depósitos de sedimentos por energía alta (influencia de las olas), moderada (ambiente subtidal de estuario) o baja.

Para la selección de microorganismos se empleaba el tamiz de mallado más finos, técnica aplicada para la recolección de foraminiferos plantónicos y bentónicos de ambiente marino a transicional. Esta técnica permite entender el tipo de ambiente sedimentario de la unidad litológica y su posición en el margen continental de plataforma interna, plataforma externa (ambiente nerítico, zona sublitoral) y de talud continental (ambiente oceánico, zona batial y abisal).

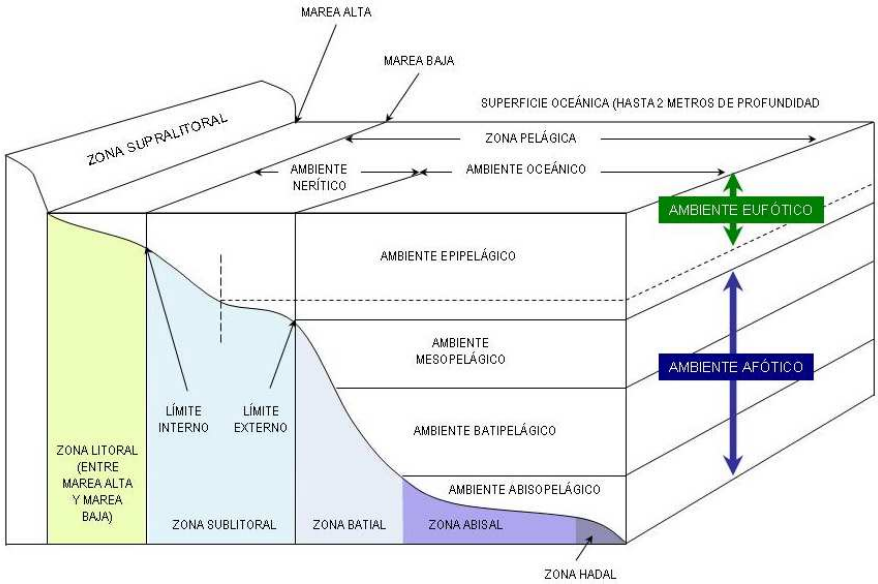


Figura 34. Margen continental y divisiones de zonas sublitoral, batial y abisal aplicado a la identificación de ambiente sedimentario.

Es importante indicar que en el análisis de los sedimentos a través de un estéreo-microscopio se encontró fósiles de radiolarios del Eoceno y Mioceno, los cuales fueron separados de las muestras de organismos atribuidas al Cuaternario, una de las características para diferenciarlos fue la tonalidad y el desgaste de las cámaras de sus

caparazones. En geología, las unidades o formaciones geológicas tienen fósiles guías bien identificados y detallados en el léxico estratigráfico de Bristow & Hoffstetter (1977) [26].

Las unidades de arena de las estaciones de muestreos EJ-01 y EJ-02 fueron analizadas, encontrando microorganismos marinos y espículas de equinodermos que identificaba el aporte sedimentario desde el océano. No obstante, las muestras de las unidades EJ-1D y EJ-2E presentaron confusión en la identificación del ambiente sedimentario además de su posición estratigráfica referida a la columna de sedimentos aflorante en el acantilado de playa (estación EJ-01) y en el corte de colina del sitio basurero (estación EJ-02).

Para la muestra EJ-1E se encontraron foraminiferos bentónicos y plantónicos que fueron colocados en una plaqueta y pegado con goma de tragacanto, y llevados al laboratorio de Bioestratigrafía del Centro de Investigaciones Geológicas de Guayaquil de Petroecuador. Los foraminiferos identificados fueron: *Globigerina sp.*, *Girodinides sp*. (ambiente sedimentario de plataforma interna), *Melonis sphaeroides*? y *Melonis barleeanum* (ambiente sedimentario batial inferior), es decir una mezcla de foraminiferos con dominio de habitad diferente, posteriores análisis estratigráfico permitió identificar que este nivel correspondía a un depósito anómalo sedimentario asociado probablemente a un arrastre de sedimentos de fondos por refracción de una ola tsunamis. Las imágenes de figura 35 fueron obtenidas desde el uso del Microscopio Electrónico de Barrido.

Figura 35. Foraminíferos bentónicos y plantónicos encontrados en la unidad EJ-1D del depósito de tsunami. En la imagen de la derecha restos de radiolarios probablemente de la *Litocelia ocellus sp*. de edad eocénica.

Para la muestra EJ-2E, nivel de arena de granulometría media, se evidenciaron en el terreno abundantes fragmentos de moluscos bien preservados, estos macroorganismos fueron en cambio llevado al laboratorio de Malacología de la FICT, para tamizarlas cuidadosamente y ordenarlas según su forma y tamaño, luego se identificaron el orden, familia, especie y el tipo e ambiente al que pertenece (ver Anexo de clasificación de moluscos de la muestra EJ-2E. Una vez retirado el sedimento (arena) de las conchas, se procedió a separarlas por clase (bivalvos y gasterópodos), luego se clasificaron las conchas que presentaban características necesarias para poder identificar taxonómicamente como por ejemplo: charnela, umbo, impresiones del musculo aductor, entre otras; seguido se utilizó como herramienta para la identificación y descripción el libro de Keen (1971) [27], con el que se comparaban cada una de las características morfológicas de cada individuo. Todos los datos fueron ingresados a una hoja en Excel, donde se registró el sitio de procedencia, nombre científico de cada especie junto al autor que la descubrió, y el hábitat de cada uno de los individuos identificados.

Los moluscos más representativos (de la estación EJ-02) en el ambiente sedimentario fueron seleccionados y remitidos a un laboratorio de especialidad en geocronología, el Beta Analytic en Estados Unidos, para realizar dataciones de C14 e Isotopos de Oxígenos Estables, la edad estimada es de cal. 43.245 a 42.090 años B.P., y dato de paleo-temperatura de -1 a -1.5 δ18O.

Figura 36. Imagen realizada por el laboratorio Beta *Analytic* para la muestra EJ-2E, limpieza de caparazones de moluscos previo análisis de dataciones de C14, el organismo más grande corresponde a *Trachycardium (Mexicardia) procerum*, y el de menor dimensión el *Divalinga perparvula*, ambas especies de ambiente marino nerítico.

CAPITULO 5

PALEOGEOGRÁFICA Y PALEOCLIMÁTICA DEL SITIO

5.1 RECONSTRUCCIÓN DE PALEO-COSTAS ASOCIADA CON LAS OSCILACIONES DE NIVEL DE MAR PARA JARAMIJÓ

Para delinear la paleo-costa de edad estimada 43.245 ± 460 años B.P. se empleó el uso de orthofotos y modelo digital del terreno en plataforma GIS, en la figura 37 se pueden observar relieves de colinas medias con alturas entre 20 a 45 m.s.n.m. (paleo-acantilado); este paisaje fue rápidamente modificado por subsiguientes aportes de flujos de detritos o deslizamientos como los observados en la columna estratigráfica de la estación EJ-02. Para comprender mejor la evolución paleogeográfica y paleoclimática del área de estudio se elaboró un perfil topográfico indicando las terrazas o levantamientos tectónicos además de su confrontación con datos proporcionado por Pedoja et al. (2006) [7].

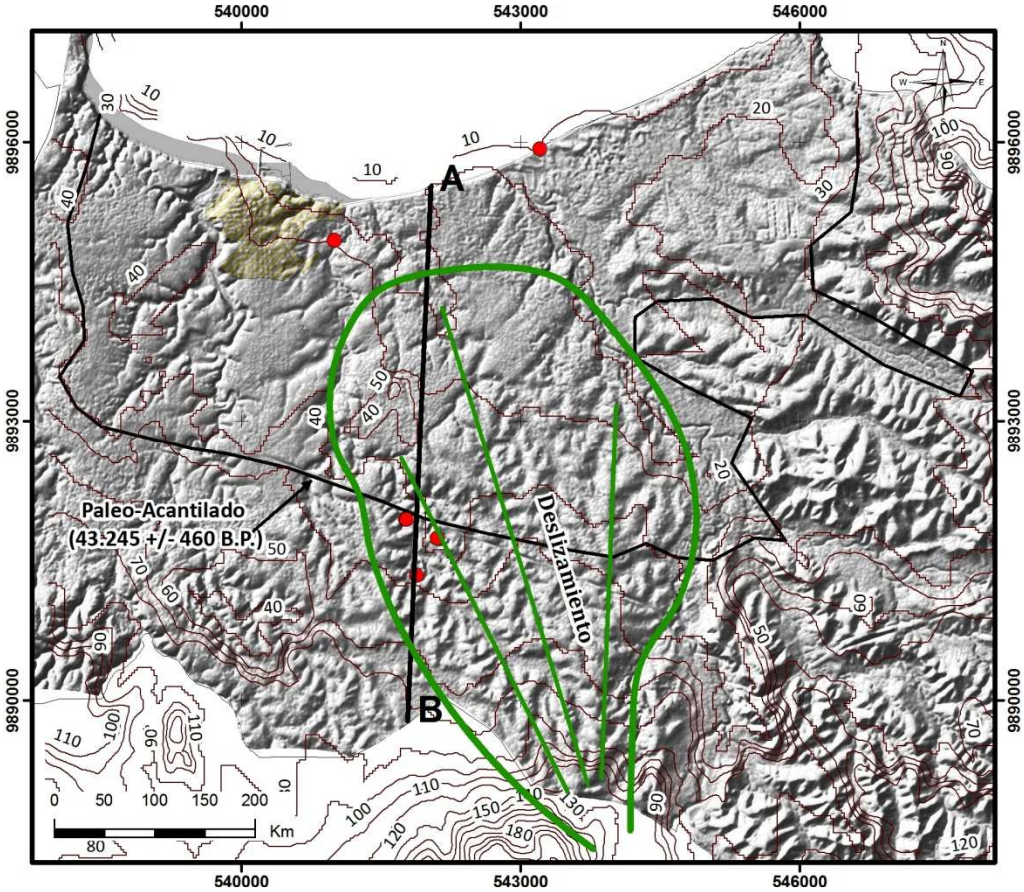


Figura 37. Localización de perfil topográfico A – B para la reconstrucción paleogeográfica del sitio. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Esta investigación de se focaliza en reconstruir la evolución paleogeográfica del sitio cuyas depositaciones o aportes sedimentarios se presentaron durante el MIS 3 (rango de edades entre 59.000 a 24.000 BP, BP en inglés, *before present*) al MIS 1 (rango de 18.000 años atrás hasta el presente). El sitio de estudio Jaramijó tiene un alto registro paleoclimático donde se puede encontrar un posible depósito interestadial documentado en la estación de muestreo EJ-02, formado por paleo-acantilado costero donde la datación de C14 es de 43.245 ± 460 años BP.

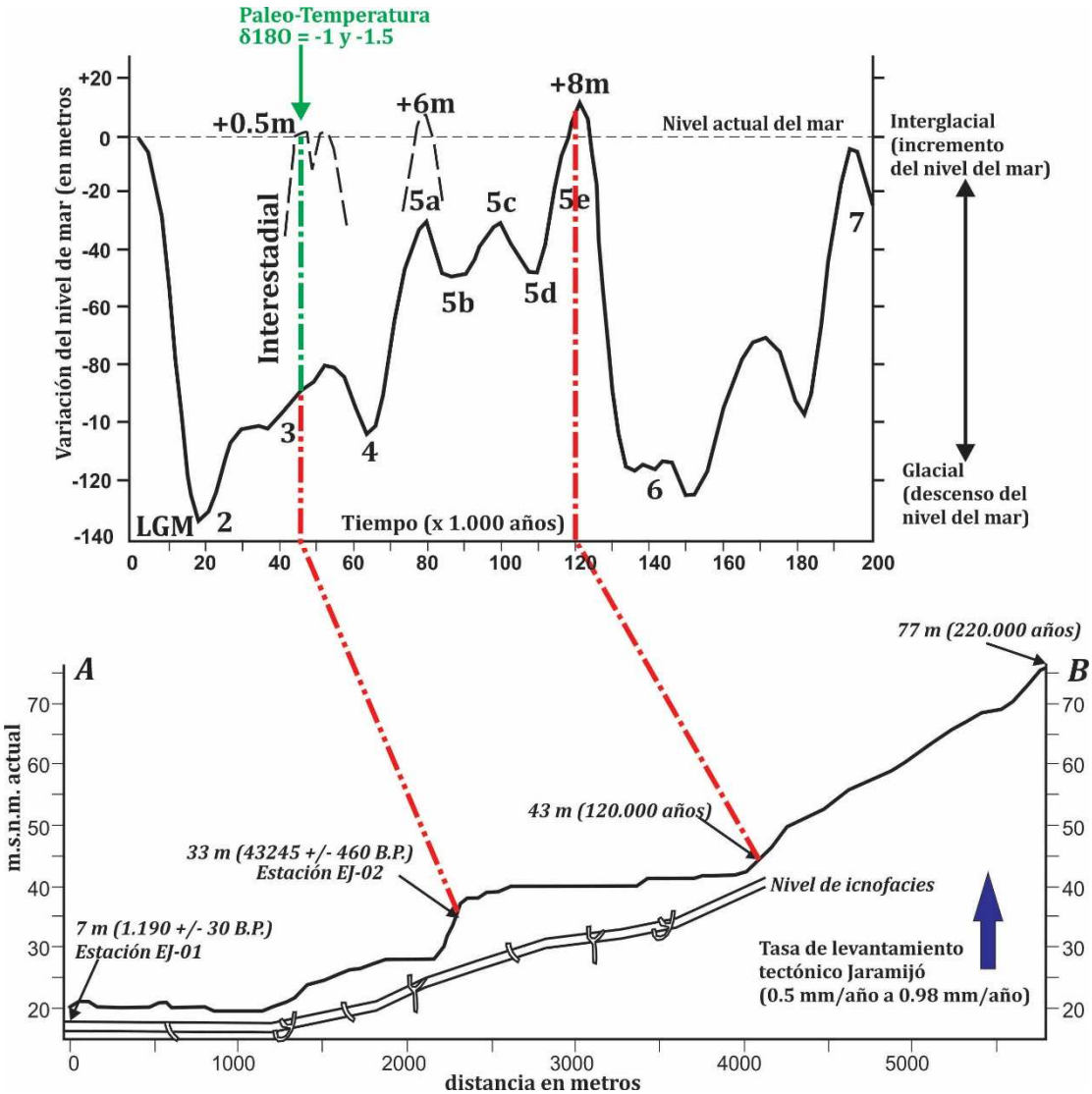


Figura 38. Reconstrucción paleoclimática del sitio Jaramijó y confrontación con los MIS 1 a 3 realizada en este estudio con las muestras de estaciones EJ-01 y EJ-02. La delineación para el MIS 5e es también considerada desde Pedoja et al. (2006) [7]. Elaborado por: María Fernanda Quiñónez.

Desde el corte de acantilado de la estación EJ-03 y de los localizados 4 kilómetros al interior del continente de las estaciones EJ-01, EJ-04 y EJ-05, se evidenció un nivel arenoso con abundante restos de icnofacies (estructuras sedimentarias producto de la actividad orgánica). Los icnofacies son estructuras que reflejan la actividad de organismos como perforaciones, senderos, pistas, madrigueras y pellets, se utilizan como pistas para identificar algunas condiciones de depósito además aportan información útil para la interpretación paleo-ambiental; el desarrollo de estas comunidades bentónicas es controlado por varios factores ecológicos como disponibilidad de oxígeno, la salinidad, temperatura, luminosidad, la consistencia del sustrato, la turbulencia y energía del agua de fondo, la velocidad del depósito y, por los eventos que los alteran (tormentas, corrientes de turbidez, lluvia de ceniza). Los icnofacies se preservan mejor en areniscas y arenas, tanto el tamaño de grano como las condiciones de depósito contribuyen a su preservación.

En el perfil A-B de la figura 38, este nivel arenoso de icnofacies puede representar la zona sublitoral acontecida probablemente durante el periodo de interglaciación del MIS 5e, cuando el nivel de mar alcanzaba los +8 metros por encima del nivel actual del mar, hace aproximadamente 120.000 años atrás. La tasa de levantamiento tectónico estimado en este estudio para Jaramijó, desde datos de altimetría confrontando con las edades de las terrazas y paleoacantilados costeros, es de 0.5 mm/año a 0.98 mm/año. Pedoja et al. (2006) [7] estima una tasa de 0.31mm/año a 0.39 mm/año, considerando terrazas marinas de edades entre 120.000 años (*Marine Isotope Stages*, MIS 5e), 220.000 años (MIS 7) y 330.000 años (MIS 9).

Los niveles sedimentarios analizados en este estudio comprenden depósitos acontecidos en el MIS 3 a MIS 1. El nivel de estrato arenoso EJ-2E tiene una datación de Cal. BC 41.295 a 40.140 años (Cal. BP 43.245 a 42.090 años), en la figura 35 hacemos referencia a la edad 43.245 años ± 460 B.P. (*Before Present*), donde la línea de costa de aquel tiempo se encontraba a 4 kilómetros de distancia de la costa actual.

Para una correcta reconstrucción paleogeográfica y dependiendo del sitio de estudio se debe considerar el escenario geológico, el sitio de Jaramijó tiene aportes sedimentarios por las transgresiones marinas del periodo interglacial y aportes continentales significativos durante los periodos proglaciales (después de la terminación de la glaciación); este último aporte puede estar asociado a los vastos deslizamientos coluviales, de flujos de detritos o de lahares de cenizas provenientes desde las colinas medias y altas del sector sur y sureste del cantón Jaramijó. Los eventos de aportes sedimentarios desde continente se presente en el sitio como relieves irregulares de laderas suaves como los delineado para el deslizamiento en la figura 37.

Secuencias estratigráficas fueron erosionadas en el terreno sin embargo las restante unidades litológicas aflorantes en las estaciones de muestreos han permitido reconstruir terrazas más recientes desde el Pleistoceno superior al Holoceno, como la

T1 a una altitud de 20 m.s.n.m, terraza T2 a una altitud entre los 30 m.s.n.m. y la T3 a una altitud entre los 43 a 57 m.s.n.m; es importante indicar que esta última terraza es considerada por Pedoja el at. (2006) [7], y que la investigación de esta tesis ha delineado dos nuevas terrazas las cuales en su mayor parte se encuentra cubierta por deslizamiento de lahares de cenizas volcánicas.

Los datos de isotopo de oxigeno estable $\delta\ ^{18}O$ referida a la unidad litológica de la estación EJ-02, indica valores de -1 y -1.5 (ambos valores corresponden a dos tipos de muestras ubicadas en diferentes distancias pero perteneciente a un mismo nivel sedimentario EJ-2E), la correlación de este dato puede ser interpretado como una etapa interestadial (cálido) dentro del periodo glacial del MIS 3, probablemente un rápido ascenso de mar proporciono sedimentos marino y moluscos en el sitio de muestreo hace 43.245 años ± 460 B.P.

Las especies de bivalvos identificadas en este estudio (27 en total y descrito su ambiente sedimentario en anexo) indican que el nivel EJ-2E durante su fase de sedimentación se encontraba en columna de agua entre los 0 a 30 metros, zona sublitoral de la plataforma interna, esta deducción es confirmada ya que durante el trabajo de campo se buscó estas mismas especies de moluscos en la playa actual no encontrando los caparazones de bivalvos completos pero sí se encuentran algunos de ellos a una profundidad de columna de agua entre – 8 a -10 metros, los cuales fueron observados en el trabajo de mar en lancha donde se extrajo muestras de sedimentos de fondo con el instrumento van veen. Toda esta información obtenido ha permitido reconstruir la evolución paleogeográfica y paleoclimática del sitio Jaramijó indicando que los sedimentos cuaternarios y volcánicos presente en el área corresponde a estadios desde el MIS 1 a MIS3, incluyendo el periodo actual interglacial y dos periodos glaciales, y una corta etapa interestadial registrada hace 43.245 años ± 460 B.P.

CAPITULO 6

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

6.1 CONCLUSIÓN

El área de estudio comprende el cantón Jaramijó con un área de 96 Km², confinante con los cantones Portoviejo, Montecristi y Manta, provincia de Manabí. Este margen costero tiene bien conservada secuencia sedimentaría y volcánica de depósitos geológicos del Cuaternario (Pleistoceno superior a Holoceno), aflorantes en los acantilados costeros y de cortes por excavaciones al interno del cantón.

Desde un punto de vista del análisis geomorfológico, la costa de Jaramijó presenta escenarios de rápidos cambios atribuidos a los procesos marinos (olas y corrientes), estratigráficos (sedimentos altamente erosionables como la arenisca y limolitas), sedimentológicos (aportes de sedimentos desde el continente), tectónicos (fracturamiento en macizos rocosos y lineamientos estructurales que son los responsables del levantamiento de la costa) y morfológicos (las diferentes terrazas marinas en etapa de erosión por procesos fluviales) que al combinarse con otros factores como los meteorológicos (precipitaciones, temperatura del aire, viento y humedad) ocasionan cambios muy bruscos en el relieve. La bahía de Jaramijó presenta costa de tipo emergente con colinas bajas, cortadas verticalmente como los acantilados costeros, con alturas entre 4 y 20 msnm, hacia el sur del cantón presenta colinas medias entre los 20 y 82 msnm.

La transgresión holocénica y la tasa de retroceso del acantilado estimado desde análisis de fotos aéreas, altimetría RTK, es de 11 a 24 metros cada 10 años o dicho en otro sentido de 1.1 a 2.4 metros por año, esto indica la rápida erosión del acantilado conformado litológicamente por sedimentos blandos y de fácil alteración. El substrato rocoso es conformado por lutitas café del Miembro Dos Bocas de la formación Tosagua, la cual también demuestra evidencia de fácil ripado (excavabilidad del terreno superficial) formando un tipo de costa en forma de bahía.

Desde un punto de vista del análisis de la batimetría de la plataforma interna de la zona sublitoral, se puede evidenciar que desde la línea de playa hasta los veriles -5m hay una franja estrecha geomorfológicamente atribuida a una zona de pendiente escarpada entre los 16° a 35° de inclinación. Desde los -5m hasta los -6.5m se presenta una terraza litoral de inclinación suave entre los 2 a 4° de inclinación posiblemente atribuida a una antigua línea de costa o paleo-costa. Desde los -6.5m a 7m el talud poco inclinado de pendiente moderadamente escarpada alcanza inclinaciones entre los 8° a 16°. En el veril -7m se desarrolla una terraza litoral estrecha de pendiente inclinada entre los 4° a 8°, tal forma representa también una

paleo costa. Desde los -7m a -8.2 se evidencia un talud poco inclinado moderadamente escarpado entre los 8 ° a 16 ° de inclinación. Interpretando este perfil batimétrico podemos indicar que: (a) las dos terrazas litorales son asociadas a paleo-líneas de costa y el talud inclinado, la distancia entre una de la otra es consecuencia de la tasa de incremento del nivel de mar en este MIS-1 periodo interglacial actual, pero algo significativo es evidenciado en el rápido o acelerado incremento de nivel de mar en el talud inclinado próximo a la línea de costa actual (transgresión holocénica).

Desde un punto de vista del análisis estratigráfico, se ha estudiado cinco estaciones de afloramientos de sedimentos cuaternarios, los cuales han sido abreviadas con las iniciales EJ-01 a EJ-05, unas realizadas en la zona de playa y otras al interior del cantón, próximo a la vía principal que direcciona a la población de Crucita. La estación EJ-01 proporción información fundamental del Holoceno, y dataciones con C14 fueron realizados a fragmentos de carbón y moluscos localizados en los niveles del estrato EJ-1B y EJ-1E, indicando edades recientes entre 1.030±30 B.P. años y 1190±30 B.P., niveles de cenizas y lahares volcánicos demuestran que el sitio de Jaramijó al igual que la costa central del Ecuador es susceptible a transportes lejanos de materiales piroclásticos desde los Andes septentrionales, ejemplo volcanes Quilotoa, Pululahua, Cotopaxí y Guagua Pichincha.

La unidad EJ-1D, es uno de los más importantes niveles sedimentarios que ha proporcionado información del peligro de tsunami, este nivel se encuentra a una altura de 6.3 metros sobre el nivel de mar. La máxima ola run-up (ola de tsunami) para este sitio registrado en los sedimentos, estaría en el rango de 5 a 7 metros de altura. Toda esta información se obtuvo de un exhaustivo análisis bioestratigráfico y paleosismológico, la cual se encontró restos de foraminiferos de ambiente marino batial, es decir microorganismos que viven a 2 o 3 kilómetros de profundidad y no son presentes próximos a la línea de costa o plataforma continental, el foraminífero identificado es el *Melonis sphaerodis*, otros géneros encontrados son el *Globigerina sp.* y *Girodinides sp*, de ambiente de plataforma interna. Estratigráficamente esta unidad tiene un bien marcado contacto erosivo que corta la unidad EJ-1E.

La unidad EJ-1E, es una capa de ceniza gris entre 9 a 25 cm de grosor, al interno se encontró restos óseo de un brazo, dientes y otras osamentas las cuales estaban sepultadas en este nivel. La erosión por dinámica de olas provoco deslizamientos del sitio arrastrando la mayor parte de la osamenta, es común encontrar a lo largo de esta playa restos humanos de la cultura Manteña. Restos de carbono fueron seleccionados para determinar la edad relativa, por análisis C14 se estimó una edad de 1.190 ± 30 B.P.

Desde un punto de vista del análisis bioestratigráfico, la unidad EJ-2E es la unidad inferior de la estación EJ-02, de arena media no cementada con ambundante fragmentos de moluscos, los cuales fueron identificados tales como: *trachycardium (Mexicardia) pro, Divalinga perparvula, Diplodonta obliqua, Lucinisca centrigufa,*

Diplodonta sericata, Lirophora mariae, Donax dentifer y Donaxobesulus. Estas especies proporcionaron información de la deposición sedimentaria de esta unidad, de marino e intermareal de plataforma continental interna, de la zona sublitoral. En este nivel se obtuvo muestras de moluscos para realizar la datación de C^{14} y de isotopo de oxigeno inestable, la edad estimada es de cal. 43.245 a 42.090 años B.P., y dato de paleo-temperatura de -1 a -1.5 $\delta^{18}O$.

Desde un punto de vista de la reconstrucción paleogeográfica y paleoclimática del sitio, las estaciones de muestreos pertenecen a aportes sedimentarios desde el MIS 3 (rango de edades entre 59.000 a 24.000 BP, BP en inglés, *before present*) al MIS 1 (rango de 18.000 años atrás hasta el presente). El cantón Jaramijó tiene un alto registro paleoclimático donde se puede encontrar un posible depósito interestadial documentado en la estación de muestreo EJ-02, formado por paleo-acantilado costero en zona intertidal (entre marea baja a alta) donde la datación de C14 indica una edad de 43.245 ± 460 años BP.

Las secuencias estratigráficas continuas fueron erosionadas durante el Cuaternario, sin embargo las restante unidades litológicas aflorantes en las estaciones de muestreos han permitido reconstruir terrazas más recientes desde el Pleistoceno superior al Holoceno, como la T1 a una altitud de 20 m.s.n.m, terraza T2 a una altitud entre los 30 m.s.n.m. y la T3 a una altitud entre los 43 a 57 m.s.n.m; es importante indicar que esta última terraza es considerada por Pedoja el at. (2006), y que la investigación de esta tesis ha delineado dos nuevas terrazas (referidas a T1 y T2) las cuales en su mayor parte se encuentra cubierta por deslizamiento de lahares de cenizas volcánicas.

Los datos de isotopos de oxigeno estable $\delta\ ^{18}O$ referida a la unidad litológica de la estación EJ-02, indica valores de -1 y -1.5 (ambos valores corresponden a dos tipos de muestras ubicadas en diferentes distancias pero perteneciente a un mismo nivel sedimentario EJ-2E). Las especies de bivalvos identificadas en este estudio indican que el nivel EJ-2E durante su fase de sedimentación se encontraba en columna de agua entre los 0 a 30 metros, zona sublitoral de la plataforma interna. La correlación de este dato puede ser interpretado como una etapa interestadial (cálido) dentro del periodo glacial del MIS 3, probablemente un rápido ascenso de mar proporciono sedimentos marino y moluscos en el sitio de muestreo hace 43.245 años ± 460 B.P.

6.2 RECOMENDACIÓN

Para confirmar la etapa interestadial del periodo glacial MIS 3, se recomienda recolectar especies de bivalvos recientes (de la zona sublitoral de Jaramijó y puede usarse el instrumento van veen para alcanzar el fondo en columna de agua de -8 a -10 metros debajo del nivel de mar) y realizar análisis de isotopo de oxigeno estable $\delta\ ^{18}O$ y confrontar los resultados con los valores de -1 y -1.5 obtenido en la muestra EJ-02, de edad 43.245 años ± 460 B.P.

Sitios de interés geológico son localizados en el terreno de BASJAR, Base Naval Jaramijó, por lo que es necesario realizar un convenio de cooperación científica para que la ESPOL pueda realizar trabajos de exploración y excavaciones en los márgenes fluviales de los ríos Jaramijó y Chilan.

Realizar estudios de paleosismología para determinar la recurrencia y altura de ola run-up del peligro Tsunami, este estudio identificó un evento de tsunami de 1.200 años ± 30 años B.P. (altura run-up de 6 a 7 metros), sin embargo las condiciones estratigráficas y sedimentológica del sitio podría proporcionar más información de un próximo evento que puede ser asociado a un terremoto local de magnitud de 8 a 8.3 grados.

CAPITULO 7

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1]. R. Blanco-Chao, K. Pedoja, C. Witt, J. Martinod, L. Husson, V. Regard, L. Audin, M. Nexer, B. Delcaillau, M. Saillard, D. Melnick, J. F. Dumont, E. Santana, E. Navarrete, C. Martillo, M. Pappalardo, L. Ayala, J. F. Araya, A. Feal-Pérez, D. Correa and I. Arozarena-Llopis. The rock coast of South and Central America. Geological Society, London, Memoirs 2014, v.40; p155-191. doi: 10.1144/M40.10

[2]. Zeidler, J., Pearsall, D. (1994). Archaeological testing in the lower jama Valley. In: (Eds.), Regional Archaeology in Northern Manabí, Ecuador, Volume 1: Environment, Cultural Chronology, and Prehistoric Subsistence in the Jama river ValleyUniversity of Pittsburgh Memoirs in Latin American Archaeology No. 8, pp. 99e109 (Bilingual volume co-published with Ediciones Libri Mundi, Quito).

[3]. Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P., Locarnini H, Garcia E., Mishonov A.V. (2009). Global ocean heat content 1955 – 2008 in light of recently revealed instrumentation problems. Geophys. Res. Lett., 36, L07608, doi:10.1029/2008GL037155.

[4]. Zeidler, J.A. (2015). Modeling cultural responses to volcanic disaster in the ancient JamaeCoaque tradition, coastal Ecuador: A case study in cultural collapse and social resilience, Quaternary International, http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.011.

[5]. Chunga K., Mulas M., Peña-Carpio E., Garcés D. (2015). Paleoseismic and Paleogeographic Reconstruction of the Central Coastal of Ecuador: Insights from Quaternary Geological Data for the Jaramijó bay area. American Geophysical Union, AGU Meeting.

[6]. Aguiar R., Chunga K., Morales E., Iza E. (2016). El Sismo de Bahía de Caráquez del 4 De Agosto de 1998 y Espectro generado en Hospital Miguel H Alcivar. Revista Geográfica de Venezuela. In press.

[7]. Pedoja, K., Dumont, J.F., Lamothe, M., Ortlieb, L., Collot, J.-Y., Ghaleb, B., Auclair, M., Alvarez, V., y Labrousse, B. (2006). Plio- Quaternary uplift of the Manta Peninsula and La Plata Island and the subduction of the Carnegie Ridge, central coast of Ecuador, Journal of South American Earth Science, 22, 1-21.

[8]. Estrada E., Meggers B., Evans C. (1962). Possible Transpacific Contact on the Coast of Ecuador. Science 02 Feb 1962: Vol. 135, Issue 3501, pp. 371-372. DOI: 10.1126/science.135.3501.371

[9]. Mothes, P.A., Hall, M.L. (2008). The Plinian Fallout Associated with Quilotoa's 800 yr BP Eruption, Ecuadorian Andes. J. Volcanol. Geotherm. Res. (Ecuadorian Special Issue). 176, 56–69 (this issue).

[10]. Mulas K. Chunga K, Peña-Carpio E., Falquez D, Alcívar-Aguilera R., Lopez-Coronel C. (2015). Stratigraphic And Lithofacies Study Of Distal Rain-Triggered Lahars: The Case Of West Coast Of Ecuador. American Geophysical Union, AGU Meeting.

[11]. Usselman P. (2006). Dinámica geomorfológica y medio ambiente en los sitios arqueológicos Chitije y San Jacinto / Japoto (costa del Manabí central, Ecuador). Bulletin de L'institut Francais d'Etudes Andines, 35 (3): 257-264.

[12]. Martinson D., Nicklas A., Pisias G., Hays J.D. Imbrie J., Theodore C., Moore J. Shackleton N. (1987). Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. Volume 27, Issue 1, January 1987, Pages 1-29.

[13]. Shackleton N. (1978). Oxygen isotope stratigraphy of the Middle Pleistocene. pp 1-16, In: Shotton, F.W., British Quaternary Studies. Recent advances. Clarendon Press, Oxford.

[14]. Emiliani, C. (1958). Palaeotemperature analysis of core 280 and Pleistocene correlations. Journal of Geology, 66: 264-275.

[15]. Shackleton N. (1967). Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed. Nature, 215: 15-17.

[16]. Chappell J., Shackleton N. (1986).Oxygen isotopes and sea level. Nature, 324: 137-140.

[17]. Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.J. (1976). Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. Science, 194: 1121-1132.

[18]. Koster E. (2005). The Physical Geography of Western Europe, Oxford, Oxford University Press, 2005, p. 41, ISBN 0-19-927775-3

[19]. Soledispa B. (2012). Caracterización geomorfológica y sedimentológica de la bahía de Jaramijó, en la provincia de Manabí. Acta Oceanográfica del Pacífico. vol. 17, n° 1, 2012. Pag-208.

[20]. Burbank, D.; Anderson, R. 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science; 273 p. Estados Unidos.

[21]. Posamentier, H. W., Allen, H. W., James, D. P., and Tesson, M. (1992). Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: Concepts,

examples, and sequence stratigraphic significance: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 76, p. 1687–1709.

[22]. Stay 2015. Evaluación geotécnica de la presa multipropósito Chone, provincia de Manabí. Tesis de Master en Geotecnia, Universidad de Guayaquil. Trabajo inédito.

[23]. Waythomas CF., Pierson T., Major J.J., Scott WE. (2013). Voluminous ice-rich and water-rich lahars generated during the 2009 eruption of Redoubt Volcano, Alaska. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 259, 1 June 2013, Pages 389-413

[24]. Hall M., Mothes P. (2008). Quilotoa volcano − Ecuador: An overview of young dacitic volcanism in a lake-filled caldera. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 176, Issue 1, 10 September 2008, Pages 44-55

[25]. Zeidler, J., Buck, C., Litton, C. (1998). The integration of archaeological phase information and radiocarbon results from the Jama river valley, Ecuador: a Bayesian approach. Latin American Antiquity 9, 160e179. Bristow & Hoffstetter (1977).

[26]. Bristow C.R., Hoffstetter R. (1977). Lexique Stratigraphique, Amérique Latine. Ed. CNRS, Paris, Fas. 5–2, Equateur: 410.

[27]. Keen, A. M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Marine mollusks from Baja California to Peru, ed. 2. Stanford University Press. xv, 1064 pp., 22 pls.

ANEXOS

A1. Tabla de Clasificación de Moluscos

Id.	SITIO	Cod.Lab	Rep.	Orden	Familia	Especie	Autor	Hábitat	Nombres no aceptados	Fotografía de moluscos
1	EJ2-E (A)	57	1	Bivalvia	Cardiidae	*Trachycardium (Mexicardia) procerum*	(G. B. Sowerby I, 18	marino, encontrado desde la línea de bajamar hasta una profundidad de varios metros		
2	EJ2-E (A)	SD	7	Bivalvia	Lucinidae	*Divalinga perparvula*	(p)	marino, encontrado hasta 55 m de prof. y en el intermareal		
3	EJ2-E (A)	SD	1	Bivalvia	Ungulinidae	*Diplodonta obliqua*	Philippi, 1846	marino, encontrado hasta 60 m de prof. entre la arena	*Felaniella calculus (Reeve, 1850)*	
4	EJ2-E (A)	SD	1	Bivalvia	Lucinidae	*Lucinisca centrifuga*	(Dall, 1901)	marino, encontrado en alta mar a profundidades de 82 m y en el intermareal		
5	EJ2-E (A)	SD	8	Bivalvia	Ungulinidae	*Diplodonta sericata*	(Reeve, 1850)	marino, encontrado comúnmente en alta mar a profundidades de 75 m sobre arena o fondos lodosos y posiblemente en el intermareal		
6	EJ2-E (A)	67	2	Bivalvia	Veneridae	*Lirophora mariae*	(d'Orbigny, 1846)	marino, encontrado en alta mar a profundidades de 110 m		
7	EJ2-E (A)	79	1	Bivalvia	Donacidae	*Donax dentifer*	Hanley, 1843	marino, Playas arenosas		
8	EJ2-E (A)	80	1	Bivalvia	Donacidae	*Donax obesulus*	Reeve, 1854	marino, Playas arenosas	*Donax peruvianus Deshayes, 1855*	
9	EJ2-E (A)	SD	6	Bivalvia	Donacidae	*Donax gracilis*	Hanley, 1845	marino, encontrado a profundidades de 24 m y en el intermareal		
10	EJ2-E (A)	SD	2	Bivalvia	Veneridae	*Transennella sp.*	Dall, 1884	Marino		
11	EJ2-E (A)	86	1	Bivalvia	Corbulidae	*Corbula (Caryocorbula) ovulata*	(Sowerby, 1833)	marino, encontrado fuera de la costa a profundidades de 2 a 55 m		

Id.	SITIO	Cod.Lab	Rep.	Orden	Familia	*Especie*	Autor	Hábitat	Nombres no aceptados	Fotografía de moluscos
12	EJ2-E (A)	SD	3	Gastropoda	Fissurellidae	*Fissurella longifissa*	G. B. Sowerby II, 1862	marino, encontrado comúnmente Intermareal sobre las rocas		
13	EJ2-E (A)	SD	1	Gastropoda	Fissurellidae	*Fissurella sp.*	G. B. Sowerby II, 1862	marino, encontrado comúnmente Intermareal sobre las rocas		
14	EJ2-E (A)	SD	1	Gastropoda	Acmaeidae	*Collisella sp*	Dall, 1871	marino, encontrado comúnmente Intermareal sobre las rocas		
15	EJ2-E (A)	SD	1	Gastropoda	Conidae	*Conasprella tornata*	Valenciennes, 1832	marino, encontrado en alta mar en aguas de menos de 37 m	Conus tornatus G. B. Sowerby I, 1833	
16	EJ2-E (A)	SD	1	Gastropoda	Acteocinidae	*Acteocina angustior*	Baker & Hanna, 1927	marino, encontrado en alta mar en profundidades de 6 a 30 m		
17	EJ2-E (A)	18	4	Gastropoda	Olividae	*Olivella semistriata*	(Gray, 1839)	Marino, de fondos arenosos		
18	EJ2-E (A)	16	2	Gastropoda	Columbellidae	*Mazatlania fulgurata*	(Philippi, 1846)	Marino, de fondos blandos		
19	EJ2-E (A)	SD	1	Bivalvia	Veneridae	*Leukoma sp.*	Römer, 1857	Marino	Protothaca Dall, 1902	
20	EJ2-E (A)	SD	1	Bivalvia	Crassatellidae	*Crassinella adamsi*	Olsson, 1961	marino.		
21	EJ2-E (A)	199	1	Gastropoda	Cerithiidae	*Cerithium sp.*	Bruguière, 1789	Marino, en el intermareal, y hasta profundidades de37m en altamar		
22	EJ2-E (B)	SD	1	Bivalvia	Veneridae	*Lamelliconcha sp.*	Dall, 1902	Marino		

Id.	SITIO	Cod.Lab	Rep.	Orden	Familia	Especie	Autor	Hábitat	Nombres no aceptados	Fotografía de moluscos
23	EJ2-E (B)	80	2	Bivalvia	Donacidae	*Donax obesulus*	Reeve, 1854	marino, Playas arenosas	*Donax peruvianus* Deshayes, 1855	
24	EJ2-E (B)	57	2	Bivalvia	Cardiidae	*Trachycardium (Mexicardia) procerum*	(G. B. Sowerby I, 1833)	marino, encontrado desde la línea de bajamar hasta una profundidad de varios metros		
25	EJ2-E (B)	SD	1	Bivalvia	Veneridae	*Transennella sp.*	Dall, 1884	Marino		
26	EJ2-E (B)	SD	1	Bivalvia	Ungulinidae	*Diplodonta sericata*	(Reeve, 1850)	marino, encontrado comúnmente en alta mar a profundidades de 75 m sobre arena o fondos lodosos y posiblemente en el intermareal		
27	EJ2-E (B)	SD	2	Bivalvia	Veneridae	*Tivela sp.*	Link, 1807	marino, características en playas arenosas.		
28	EJ2-E (B)	SD	1	Bivalvia	Veneridae	*Transennella sp.*	Dall, 1884	Marino		
29	EJ2-E (B)	28	3	Bivalvia	Arcidae	*Anadara nux*	(Sowerby, 1833)	marino, bajo suelos areno-lodosos, a profundidades de 4 a 73 m		
30	EJ2-E (B)	SD	2	Bivalvia	Lucinidae	*Divalinga perparvula*	(Dall, 1901)	marino, encontrado hasta 55 m de prof. y en el intermareal		
31	EJ2-E (B)	SD	5	Bivalvia	Crassatellidae	*Crassinella adamsi*	Olsson, 1961	marino.		
32	EJ2-E (B)	28	3	Bivalvia	Nuculidae	*Nucula exigua*	G. B. Sowerby I, 1833	marino, a profundidades de 11 a 1900 m	*Nucula paytensis* A. Adams, 1856	
33	EJ2-E (B)	SD	1	Gastropoda	Hipponicidae	*Pilosabia trigona*	(Gmelin, 1791)	Marino	*Hipponix pilosus* (Deshayes, 1832)	
34	EJ2-E (B)	SD	2	Bivalvia	Ungulinidae	*Diplodonta sericata*	(Reeve, 1850)	marino, encontrado comúnmente en alta mar a profundidades de 75 m sobre arena o fondos lodosos y posiblemente en el intermareal		
35	EJ2-E (B)	SD	4	Bivalvia	Donacidae	*Donax gracilis*	Hanley, 1845	marino, encontrado a profundidades de 24 m y en el intermareal		
36	EJ2-E (B)	233	1	Gastropoda	Turritellidae	*Vermicularia pellucida eburnea*	(Reeve, 1842)	Marino, anclados en la grava y piedras pequeñas en el intermarial.		

ANEXOS

A2. Dataciones de Radiocarbon y δ 18O de moluscos EJ-2E de la estación geológica EJ-02

BETA ANALYTIC INC.
DR. M.A. TAMERS and MR. D.G. HOOD
4985 S.W. 74 COURT
MIAMI, FLORIDA, USA 33155
PH: 305-667-5167 FAX:305-663-0964
beta@radiocarbon.com

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Dr. Maurizio Mulas — Report Date: 12/29/2015

Universidad de Guayaquil — Material Received: 12/4/2015

Sample Data	Measured Radiocarbon Age	d13C	Conventional Radiocarbon Age(*)
Beta - 425816	38890 +/- 460 BP	-6.6 o/oo d18O= -1.0 o/oo	39190 +/- 460 BP
SAMPLE : EG5-E(A) ANALYSIS : AMS-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (shell): acid etch 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 41295 to 40140 (Cal BP 43245 to 42090)			
Beta - 425817	NA	+1.9 o/oo d18O= -1.5 o/oo	NA
SAMPLE : EG5-E(B) ANALYSIS : d13C & d18O isotope analysis ONLY MATERIAL/PRETREATMENT : (shell): acid etch			

Dates are reported as RCYBP (radiocarbon years before present, "present" = AD 1950). By international convention, the modern reference standard was 95% the 14C activity of the National Institute of Standards and Technology (NIST) Oxalic Acid (SRM 4990C) and calculated using the Libby 14C half-life (5568 years). Quoted errors represent 1 relative standard deviation statistics (68% probability) counting errors based on the combined measurements of the sample, background, and modern reference standards. Measured 13C/12C ratios (delta 13C) were calculated relative to the PDB-1 standard.

The Conventional Radiocarbon Age represents the Measured Radiocarbon Age corrected for isotopic fractionation, calculated using the delta 13C. On rare occasion where the Conventional Radiocarbon Age was calculated using an assumed delta 13C, the ratio and the Conventional Radiocarbon Age will be followed by '*'. The Conventional Radiocarbon Age is not calendar calibrated. When available, the Calendar Calibrated result is calculated from the Conventional Radiocarbon Age and is listed as the "Two Sigma Calibrated Result" for each sample.

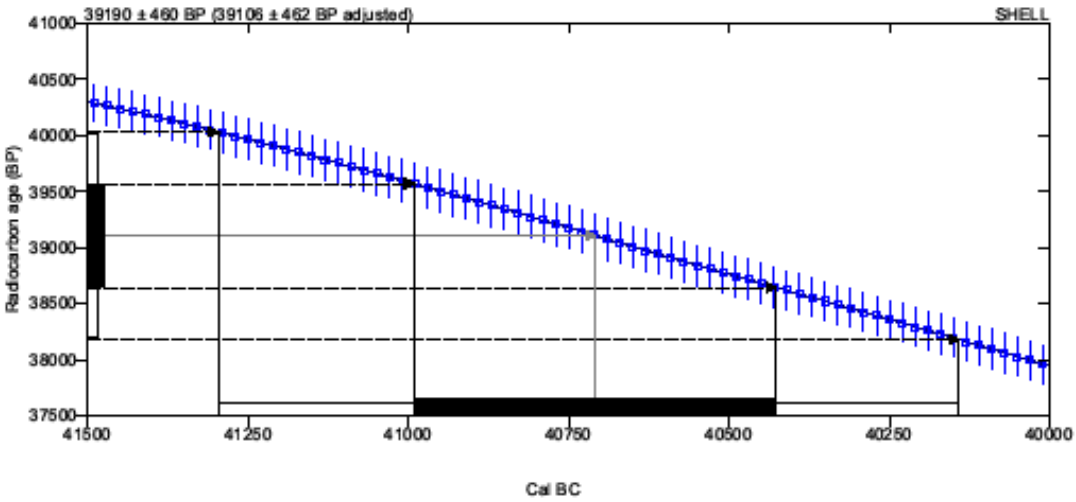
CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12 = -6.6 o/oo : Delta-R = 84 ± 45 : Glob res = -200 to 500 : lab. mult = 1)

Laboratory number	**Beta-425816 : EG5-E(A)**
Conventional radiocarbon age	**39190 ± 460 BP**

39106 ± 462 Adjusted for local reservoir correction prior to calibration

Calibrated Result (95% Probability)	**Cal BC 41295 to 40140 (Cal BP 43245 to 42090)**
Intercept of radiocarbon age with calibration curve	Cal BC 40710 (Cal BP 42660)
Calibrated Result (68% Probability)	Cal BC 40990 to 40425 (Cal BP 42940 to 42375)



Database used

MARINE13

References

Mathematics used for calibration scenario

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates, Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2):317-322

References to MARINE13 database

Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Haflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. Radiocarbon 55(4):1869–1887.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory
4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com