

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
E.A.P. de Ingeniería Geológica

Estudio del volcanismo jurásico en el extremo sur de la costa del Perú

TESIS para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Percy Obeso Mestanza

LIMA – PERÚ 2006

RESUMEN

La presente tesis hace un estudio de la geología jurásica en la costa del sur oeste de Perú, departamento de Tacna. La región constituye una zona geográfica llana, desértica, de clima cálido, y desde el punto de vista geológico poco estudiada. Las rocas más antiguas (jurásico inferior-medio) reportadas son andesitas, basaltos, y brechas volcánicas, sus afloramientos se encuentran a lo largo de casi toda la línea de costa actual, y siguiendo la dirección NNO; las secuencias más modernas del jurásico medio-superior yacen directamente sobre las primeras y se ubican hacia el este de las primeras, siendo fundamentalmente areniscas, lutitas y algunas andesitas

Estratigráficamente, a lo largo de la costa podemos diferenciar tres niveles; la base son mayormente lavas basálticas, brechas, y lavas andesíticas con intercalaciones de conglomerados. El nivel medio son piroclastos, arenitas, conglomerados, grauvacas, intercalación de lavas (andesitas y dacitas) y tobas con niveles sedimentarios; gran cantidad de intrusivos subvolcánicos. El nivel superior son areniscas y lutitas grises a rojizas, limonitas calcáreas, con ocasionales flujos lávicos andesíticos.

El volcanismo de la costa en el extremo sur de Perú (Tacna) no sería más antiguo que 180 M.a., los registros fósiles en los niveles sedimentarios más bajos reportan Bajociano-Batoniano; y se habría desarrollado en regímenes tectónicos extensionales a transtensionales. La presencia de grandes edificaciones vulcano-sedimentarias, de aproximadamente 1000 m. de grosor, supone que a partir del Jurásico inferior a medio (~175-160 M.a), en la costa del sur de Perú se emplazó un arco volcánico que generó considerables volúmenes de magma, que de acuerdo a sus afloramientos se alineó N-NO, y se desarrolló en condiciones aéreas, inicialmente de comportamiento explosivo-efusivo, cambiando a uno más efusivo; la actual línea de costa constituyó el borde oriental del arco, cuyos centros de emisión principales debieron haber relativamente bastante cerca, al oeste de la costa.

Hacia el este, los procesos de sedimentación indican que a principios del Caloviano (~165 M.a.) se creó de una cuenca adyacente al arco, en el tras arco.

Geoquímicamente, las rocas volcánicas son intermedias a básicas, y esencialmente calcoalcalinas, esto supone que las rocas son cogenéticas, a pesar de que en cortos periodos en ciertas zonas hubo ligeras tendencias algo más alcalinas; los patrones de elementos mayores, traza de REE y manto primitivo indican altos valores de K y Pb, depresión en Nb, y un empobrecimiento en tierras pesadas, además sugiere que la creación de magmas tuvo lugar en una corteza relativamente delgada (aproximadamente 30-40 Km.). De acuerdo a todo esto, estas rocas serían producto de un arco volcánico tipo continental.

Esta secuencia vulcano sedimentaria de la costa sur es producto de un solo y único evento magmático, la Formación Guaneros, que difiere del volcanismo Chocolate, anteriormente cartografiado en la línea de costa y Morro de Sama; de lo estudiado por otros autores, el volcanismo Guaneros estudiado es más joven que la Formación Chocolate, es además más básico, formado a partir de una corteza más delgada y sin gran contaminación cortical.

ÍNDICE

	PAG
Índice	1
Relación de mapas y figuras	4
Relación de anexos	5

CAPITULO I **INTRODUCCIÓN**

1.1 Descripción del estudio	6
1.2 Finalidad de la tesis	6
1.3 Metodología de trabajo	7
1.3.1 Etapa de preparación	7
1.3.2 Etapa de campo	7
1.3.3 Etapa de laboratorio y análisis estadístico	7
1.4 Trabajos anteriores	8
1.5 Reconocimientos	8

CARACTERÍSTICAS GENERALES

1.6 Ubicación y extensión	9
1.7 Accesibilidad y centros poblados	9
1.8 Geografía	11
1.8.1 Relieve	11
1.8.2 Hidrografía, clima y vegetación	11

CAPITULO II **CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

2.1 Unidades geomorfológicas	14
2.1.1 Litoral costanero	14
2.1.2 Cadena de cerros costeros	14
2.1.3 Planicies	15
2.1.4 Valle	15
2.2 Estratigrafía regional	17
2.2.1 Formación Chocolate	17
2.2.2 Formación Guaneros	18
2.2.3 Depósitos Cuaternarios	20

CAPITULO III
LITOESTRATIGRAFIA

3.1. Arco volcánico jurásico	22
3.1.1. Sector norte (morro Sama)	22
3.1.1.1. Estratigrafía	22
3.1.1.2. Petrografía	24
3.1.2. Sector centro (pta. Colorada-Moreno)	28
3.1.2.1. Estratigrafía	28
3.1.2.2. Petrografía	34
3.1.3. Sector sur (río Sama-Pabellones)	37
3.1.3.1. Estratigrafía	37
3.1.3.2. Petrografía	41
3.2. Rocas intrusivas plutónicas	44
3.3. Rasgos estructurales	45

CAPITULO IV
GEOQUÍMICA

4.1. Geoquímica de elementos mayores	48
4.1.1. Elementos mayores	48
4.1.2. Diseño del muestreo	48
4.1.3. Preparación de las muestras y métodos de ensayo	50
4.1.4. Clasificaciones geoquímicas	50
4.1.4.1. Contenido de sílice	50
4.1.4.2. Clasificación TAS	50
4.1.5. Clasificaciones en series	51
4.1.6. Diagramas de variación Harker	51
4.2. Geoquímica de elementos trazas	55
4.2.1. Elementos traza	55
4.2.1.1. Espectros de tierras raras	55
4.2.1.2. Diagramas multielementales (Spiderdiagrams)	55
4.2.2. Diseño del muestreo	57
4.2.3. Métodos de ensayo	57
4.2.4. Resultados geoquímicos	61

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Evolución geológica	63
Conclusiones estratigráficas y geoquímicas	65

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
-----------------------------------	----

ANEXOS

RELACIÓN DE MAPAS Y FIGURAS

LISTA DE MAPAS	PAG.
Mapa N° 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	10
Mapa N° 2. Mapa topográfico e hidrográfico	13
Mapa N° 3. Mapa de unidades geomorfológicas	16
Mapa N° 4. Mapa de sectores	23
Mapa N° 5. Mapa estructural y de lineamientos	47
Mapa N° 5. Mapa de ubicación de muestras geoquímicas por elementos mayores	49
Mapa N° 6. Mapa de ubicación de muestras geoquímicas por elementos trazas	56
LISTA DE FIGURAS	
Fig. N° 1. Sección estructural y perfil litoestratigráfico qda. de los Burros	26
Fig. N° 2. Sección estructural y perfil litoestratigráfico Vila Vila – pta. Gentilar	30
Fig. N° 3. Sección estructural y perfil litoestratigráfico Boca del Río–La Angola	31
Fig. N° 4. Sección estructural y perfil litoestratigráfico pta. Gentilar – El Cocal	32
Fig. N° 5. Sección estructural y perfil litoestratigráfico La Angola – La Vituña	33
Fig. N° 6. Sección estructural y perfil litoestratigráfico de C° Pabellones	39
Fig. N° 7. Sección estructural y perfil litoestratigráfico de C° Chombo	40
Fig. N° 8. Estratigrafía general de la zona de estudio	43
Fig. N° 9. Porcentajes de abundancias de rocas por el contenido de SiO ₂	51
Fig. N° 10. Abundancia porcentual de los diferentes tipos de rocas volcánicas	51
Fig. N° 11. Diagrama de clasificación de rocas en base al contenido de sílice	52
Fig. N° 12. Diagrama de clasificación TAS para las rocas volcánicas	52
Fig. N° 13A. Diagrama álcalis – SiO ₂	52
Fig. N° 13B. Diagrama AFM calcoalcalino-toleítico	52
Fig. N° 14. Diagrama de Pecerrillo y Taylor para series magmáticas	52
Fig. N° 15. Diagramas de Harker: CaO, K ₂ O, Fe ₂ O ₃ , MgO, Al ₂ O ₃ , TiO ₂ vs. SiO ₂	53
Fig. N° 16. Diagramas de Harker: Co, Hf, Dy, Lu, U, y Zr vs. SiO ₂	54
Fig. N° 17A. Diagrama REE de la serie Morro de Sama (Qda. de Burros)	58
Fig. N° 17B. Spiderdiagram de la serie Morro de Sama (Qda. de Burros)	58
Fig. N° 18A. Diagrama REE de la serie de los cerros Punta Colorada-Moreno	58
Fig. N° 18B. Spiderdiagram de la serie de los cerros Punta Colorada-Moreno	58
Fig. N° 19A. Diagrama REE de las series río Sama y C° Pabellones	59
Fig. N° 19B. Spiderdiagram de las series río Sama y C° Pabellones	59
Fig. N° 20. Diagrama REE de intrusivos y subvolcánicos	59

Fig. N° 21. Spiderdiagram de intrusivos y subvolcánicos	59
Fig. N° 22. Diagrama MgO-Al ₂ O ₃ -FeO de ambientes tectónicos	60
Fig. N° 23. Diagrama Nb-Y de ambientes tectónicos	60
Fig. N° 24. Diagrama T.A.S para los volcanismo de la costa y la Fm. Chocolate	60
Fig. N° 25. Diagrama de REE para el volcanismo de la costa y la Fm. Chocolate	60
Fig. N° 26. Paleogeografía, y la posición aproximada del arco en la costa	64
Fig. N° 27. Modelo para el magmatismo del jurásico medio (~150 M.a.)	64

ANEXOS

Análisis de Secciones delgadas	i
Tabla N° A.I. Relación de muestras petrográficas	viii
Tabla N° A.II. Análisis químicos de la serie Morro de Sama	ix
Tabla N° A.III. Análisis químicos de series rio Sama, Pta. Colorada y Pabellones	xi
Tabla N° A.IV. Valores normalizados según la condrita de Nakamura (1974)	xiii
Tabla N° A.V. Valores normalizados a la condrita de Sun y McDonough (1995)	xiv
Tabla N° A.VI. Valores de normalización al manto primitivo de White (2001)	xv

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

La presente tesis se enmarca dentro del proyecto de investigación "Estudio de Arcos Magmáticos Mesozoicos-Cenozoicos. Paralelos 16°30' a 18°00'. Sur de Perú", que ha venido desarrollando la Dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero Metalúrgico del Perú, INGEMMET. Como parte de ese proyecto, este trabajo estudió el volcanismo jurásico en el extremo sur oeste de la costa de Perú, departamento de Tacna.

Dicha área, es producto de intensa y prolongada actividad ígnea, su análisis es importante para poder establecer que tipo de evento originó las asociaciones de rocas jurásicas que se encuentran hoy en día, su influencia y duración, a la vez que diferenciarla respecto de otros eventos volcánicos.

Este estudio, presenta observaciones de campo y análisis de laboratorio, y fue desarrollado sobre la base de un estudio litoestratigráfico de las unidades jurásicas de la región, a partir del cual los estudios macro y microscópicos, petrológicos, y análisis químicos proveen de información necesaria para caracterizar las relaciones estratigráficas, petrografía, y geoquímica de toda la secuencia.

1.2 FINALIDAD DE LA TESIS

El presente proyecto de tesis tiene como finalidad la de contribuir con nuevos datos al mejor conocimiento estratigráfico, petrográfico y geoquímico de las secuencias jurásicas volcanogénicas en el sur de Perú.

Los objetivos del estudio han sido los siguientes:

- ◆ Contribuir al conocimiento de la geología de la zona, sobre la naturaleza y distribución de las secuencias volcánicas y sedimentarias.
- ◆ Hacer un estudio petrográfico, identificando los minerales primarios constituyentes.
- ◆ Caracterizar geoquímicamente las secuencias jurásicas volcánicas, en base a los análisis de sus elementos mayores y trazas.

- ♦ Aportar datos sobre la naturaleza magmática en las unidades volcánicas Jurásicas, proponiendo un marco geodinámico en el que se hayan desarrollado estas secuencias en esta región.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.3.1 ETAPA DE PREPARACIÓN

Se obtuvo información previa de la zona realizada en estudios geológicos anteriores; se revisó la información de las hojas topográficas de a escala 1:100 000 del Instituto Geográfico Nacional de Perú (IGN), fotografías aéreas del Instituto Aerofotográfico Nacional (1975) e imágenes satelitales Landsat TM 7

1.3.2 ETAPA DE CAMPO

La etapa de campo se llevó a cabo en tres campañas, y en la cual se hizo un cartografiado geológico detallado y se tomaron los datos y muestras de roca suficientes para los estudios geoquímicos y petrográficos posteriores. Se analizó la información obtenida en la etapa de preparación, siendo aceptada, corregida o actualizada en base a las nuevas observaciones.

1.3.3 ETAPA DE LABORATORIO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- a) Levantamiento geológico: las fotografía aéreas fueron estudiadas en estereoscopia; los mapas de La Yarada (37-u) y Locumba (36-u) se trabajaron con el software Map Info; complementariamente también se utilizó un mosaico de las imágenes Landsat TM 7 en RGB (742) y a escala de grises, para el programa ENVI.
- b) Análisis petrográfico: petrografía macro y microscópica en sección delgada, la clasificación en base a su contenido modal según los métodos QAPF (en rocas ígneas) y Folk (en rocas sedimentarias). Se uso el microscopio binocular Leitz Wetzlar, con aumentos de 2x, 5x y 10x, y el equipo Nikon OPTIPHOT-POL, que tenia montado el equipo fotográfico Nikon modelo U-III, para la toma fotográfica, con un aumento de 5x.
- c) Análisis geoquímico: se usaron las clasificaciones en base al contenido de sílice, clasificación TAS, clasificaciones en series: álcalis-SiO₂,

diagramas AFM, K_2O - SiO_2 , diagramas Harker de variación. Los elementos menores o traza (Cu, Co, Ni, Sc, V, Cr, etc.) fueron plotados en diagramas multielementales de REE y Spiderdiagrams, procesados en los programas Excel, Igpewin y Petroplot

1.4 TRABAJOS ANTERIORES

En el área de estudio, en Tacna y Moquegua, los primeros trabajos corresponden a los de Castro B., en 1960: "Estudio Geológico del departamento de Tacna", y de Barua V. (1961): "Reconocimiento Geológico-zona de Tacna y Moquegua", en donde ambos autores realizan un reconocimiento geológico en la franja costera, identificando a esas secuencias volcánicas como Formación Chocolate. En 1963 Jaén y Ortiz, y Narváez en 1964, publican "Geología de cuadrángulos de La Yarada y Tacna", y "Geología de los cuadrángulos de Ilo y Locumba" diferenciando los volcánicos como Formación Chocolate y los niveles sedimentarios como Formación Guaneros.

Los trabajos de autores más recientes (Pino, Semperé, Romeuf, Martínez, Cervantes, etc.) en la región de Tacna, han sido efectuados principalmente en la sierra de dicho departamento, bajo el auspicio del Institut de Recherche Pour le Développement (IRD - Francia), de la Universidad Jorge Basadre de Tacna, y del Instituto Geológico Minero Metalúrgico del Perú (INGEMMET).

1.5 RECONOCIMIENTOS

Esta tesis fue posible gracias al auspicio y financiamiento del Instituto Geológico Minero Metalúrgico del Perú, INGEMMET; especialmente a las siguientes personas: Hugo Rivera M., Oscar Palacios M., José Sánchez y Alex Zapata; ofrezco un reconocimiento personal a los ingenieros William Martínez V., y John Cervantes G., con quienes desarrollé toda la labor de campo en el sur de Perú. De igual modo, agradezco a mi jurado de mérito, los ingenieros Agapito Sánchez, Luis Reyes y Julio De La Cruz; a los doctores Thierry Semperé y Pierre Soler, miembros del Institut de Recherche Pour le Développement (IRD); y a todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

1.6 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El área de estudio se halla comprendida entre los paralelos 17°55' y 18°20' de latitud Sur, y los meridianos 70°30' y 71°00' de longitud Oeste. Políticamente, abarca parte de las provincias de Tacna y Jorge Basadre en el departamento de Tacna. Siendo la superficie territorial de la zona estudiada de aproximadamente 995 km². (*mapa N° 1*)

1.7 ACCESIBILIDAD Y CENTROS POBLADOS

La principal vía de acceso la constituye la carretera Panamericana Sur, que atraviesa el área de noroeste a sureste, y une a todas las ciudades importantes de la costa de Perú, prolongándose por el sur al vecino país de Chile. Otro acceso importante lo constituye la carretera Costanera, que en el área de estudio recorre paralela la línea de costa, y une diversos poblados llegando hasta La Yarada en el extremo sur, donde se desvía al este, hacia Tacna, uniéndose con la Panamericana Sur.

Existen además otras vías menores afirmadas, a lo largo del valle del río Sama (uniendo Sama Grande con Punta Colorada); así como diversas trochas carrozables que unen los diferentes poblados y caseríos en la zona, accesibles solo con vehículos adecuados.

No existen en el área ciudades de gran extensión; la mayoría de los centros poblados se ubican en las márgenes del río Sama y en el borde litoral; así como Las Yaras, capital del distrito de Sama; y en su desembocadura, el balneario de Boca del Río, que en los meses de verano, llega a tener una población estacional de 10 000 habitantes. En la zona costera hay algunos poblados, denominados "centros poblados menores" como Vila Vila, Caleta Morro de Sama y Llostay, todos estos con un número de habitantes menor a 1000, y de economía basada en la pesca y agricultura.

1.8 GEOGRAFÍA

1.8.1 RELIEVE

El relieve es en promedio suave, formando parte de la región costa; es una región semidesértica, árida, con zonas deprimidas que se han rellenado con arenas, limos y arcillas; la única estructura masiva y de gran relieve lo constituye la cadena de cerros en la costa, que sin embargo se halla restringido a cierto sector; el control del modelado topográfico para este sector lo dan el sistema de drenaje muy irregular y las fallas transversales, como en Pampa Platanillo, Cerros Punta Colorada y en el río Sama; que originan una topografía discontinua, a manera de bloques; por otro lado, es notoria la diferenciación en la erosión, que ha provocado que las cimas en el sector sur se encuentren más subredondeadas, y con mayor cobertura de material cuaternario que las montañas septentrionales.

En gran parte de su extensión, el litoral presenta afloramientos rocosos casi en su misma línea de costa, lo que contribuye a que el litoral sea accidentado; actuando también a manera de un dique natural; dichos afloramientos desaparecen en el sector de Boca del Río (*mapa n° 2*).

1.8.2 HIDROGRAFÍA, CLIMA Y VEGETACIÓN

El sistema hidrográfico principalmente es la cuenca del río Sama, siendo el único curso de agua permanente en la zona. Sus nacientes se hallan en los nevados de la Cordillera Occidental, y discurre casi perpendicularmente a la línea de Costa, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Existen también dos sistemas de drenajes locales en la zona: a) el sistema de la cuenca del río Caplina, que forma un abanico aluvial en el extremo sur; y b) el sistema de drenaje que se da en los alrededores del Morro de Sama, cuyas quebradas secas discurren de lo alto del mencionado morro hacia sus flancos. (*mapa n° 2*).

El río Sama es torrencioso e irregular; en la zona de estudio tiene una longitud aproximada de 51 Km., y recibe el aporte irregular de numerosas quebradas tributarias como Munipata, de Las Cajas, Blancas, Honda, y de Las Brujas. Este constituye el único curso de agua permanente, en los meses de estiaje más bajo no llega a desaguar directamente al Océano, por que además es aprovechado como regadío; esto origina que en el

invierno pueda llegar a formarse una pequeña laguna en su desembocadura, que desagua al mar por filtración.

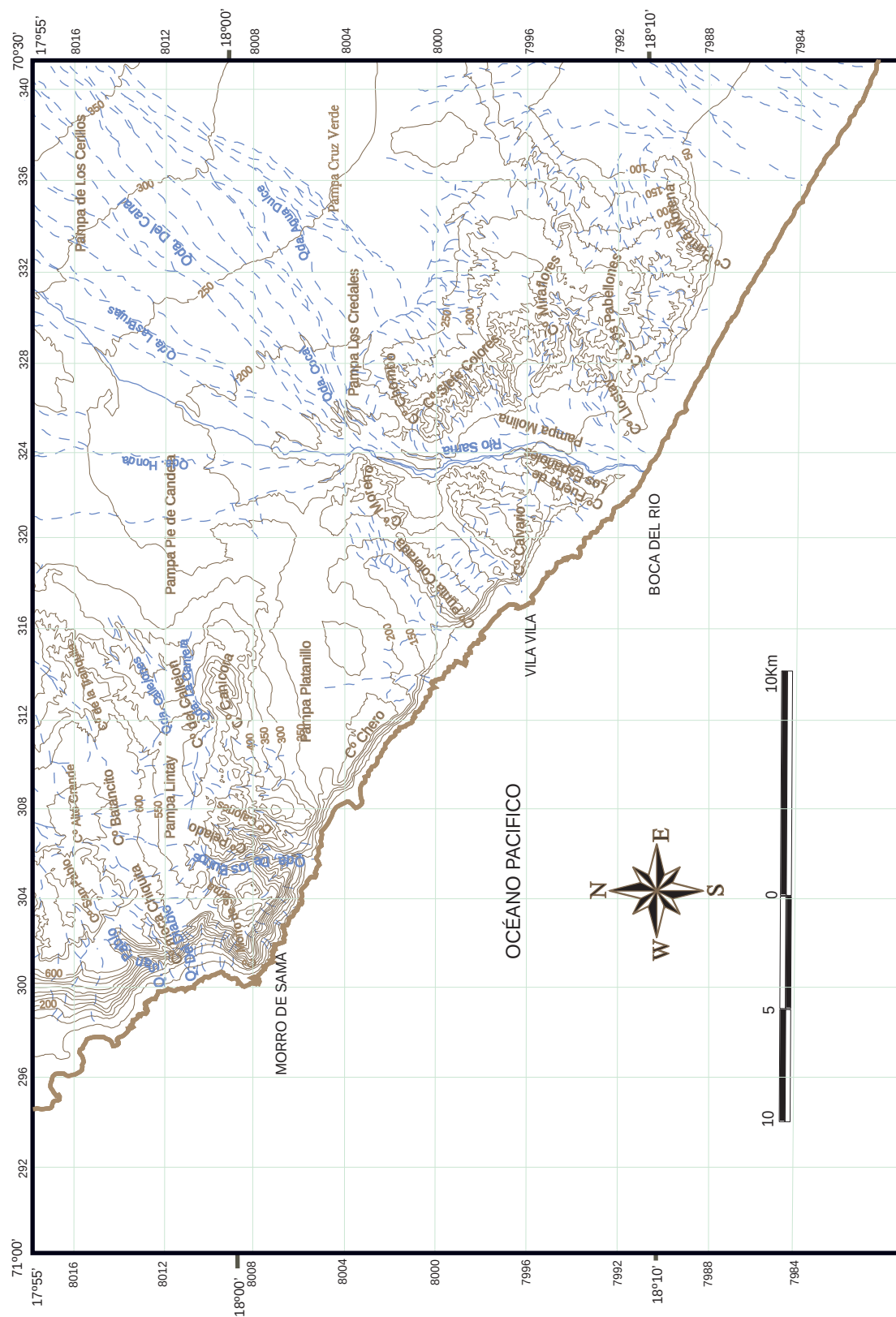
Aparte del río Sama, el resto son quebradas extremadamente secas, y solo en los meses de lluvia, las del Morro de Sama y algunas del abanico del Caplina suelen transportar pequeños volúmenes de agua.

Según el Mapa de clasificación Climática del Perú del Servicio Nacional Meteorológico e Hidrológico (SENAMHI) de 1985 (*en: www.ignperu.gob.pe/Peru*), la zona tiene un clima semi-cálido, desértico, con diferencia de lluvias estacionales anuales, y una humedad relativa media. Este tipo de clima corresponde al típico de las zonas costeras desérticas de Perú. Estas características se reflejan en la vegetación, que es sumamente escasa y focalizada

La precipitación tiene un promedio anual de 16 – 18 mm³., y de 30 – 40 mm³ en el río Sama. Las zonas más próximas al litoral marino están influenciadas por una alta condensación de las neblinas invernales provenientes del Pacífico, entre los meses de Mayo y Setiembre.

La región presenta un régimen térmico con dos épocas bien marcadas durante el año; valores altos entre Enero y Marzo (21° C) y bajos entre Junio y Agosto (17° C), con registros de niveles mensuales máximos de 28° C y mínimos extremos de 8° C. La media anual para los meses de verano es de 23.0° C y en invierno de 12° C.

Ecológicamente, el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) califica a la zona como desierto subtropical, con escasa vegetación, (*en: O.N.E.R.N. ,1976*); por lo que ésta se circunscribe a los flancos de valles y sus alrededores, como en el río Sama, el abanico del Caplina, La Yarada o Boca del Río; también existe vegetación en regiones con relativa precipitación y altos niveles de condensación como en Punta Mesa o Morro de Sama. Se ha observado que la vegetación predominante son gramadales, juncos, molle, carrizo, alfalfa, etc. cerca de los cursos de agua; y cactus con gramadales en zonas más desérticas como en Morro de Sama. Los productos de pan llevar se cultivan especialmente en el valle del Sama y zonas aledañas.



Mapa N° 2. Mapa Topográfico e hidrográfico

CAPITULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

De acuerdo a las observaciones de campo, fotografías aéreas e imagen satelital se han podido diferenciar 4 unidades geomorfológicas (*mapa n°3*)

2.1.1 LITORAL COSTANERO

Es una franja angosta, de terreno llano casi a nivel del mar, cubierto por arenas eólicas y sedimentos de origen marino entre la línea de costa y la cadena costera. Su característica principal es la variación de su ancho; desde algunos metros entre punta San Pablo, Punta Curimani, y Morro de Sama, hasta un ancho promedio de unos 300 m. frente a los cerros Punta Morena y Los Pabellones.

En general el contorno del litoral hasta la desembocadura del río Sama es sinuoso y accidentado, con numerosas puntas e islotes; frente a Morro de Sama, la faja de litoral prácticamente desaparece, y los farallones de los cerros descienden hasta el Océano; al sur de la desembocadura del río Sama el perfil es más rectilíneo y menos accidentado (*foto n°1*), a manera de inmensas playas que se extienden inclusive hasta la frontera con Chile.

2.1.2 CADENA DE CERROS COSTEROS

Es una franja de terreno montañoso y relativamente accidentado; se extiende entre la faja costera y la planicie costera, con dirección paralela a la línea de costa. (*foto n°1*)

Se le puede dividir en dos sectores: el norte, con montañas de hasta 1000 msnm.; y hacia el sur del río Sama, un sector de menor elevación, entre 300 - 400 msnm. En el sector norte, destacan los cerros San Pablo (1000 m), Morro de Sama (765 m), Canicora (662 m), etc, llegando a formar en unos casos acantilados, como el Morro de Sama, que descienden casi hasta la línea de costa, generando un borde litoral muy accidentado. La parte sur abarca desde Cerros Chero hasta los cerros La Yarada, con un ancho promedio de 10 Km. Su característica principal es la pérdida gradual de elevación respecto a la zona norte, hasta finalmente desaparecer en el cono deyectivo del río Caplina, reapareciendo en la costa Chilena.



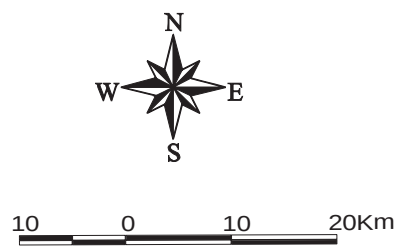
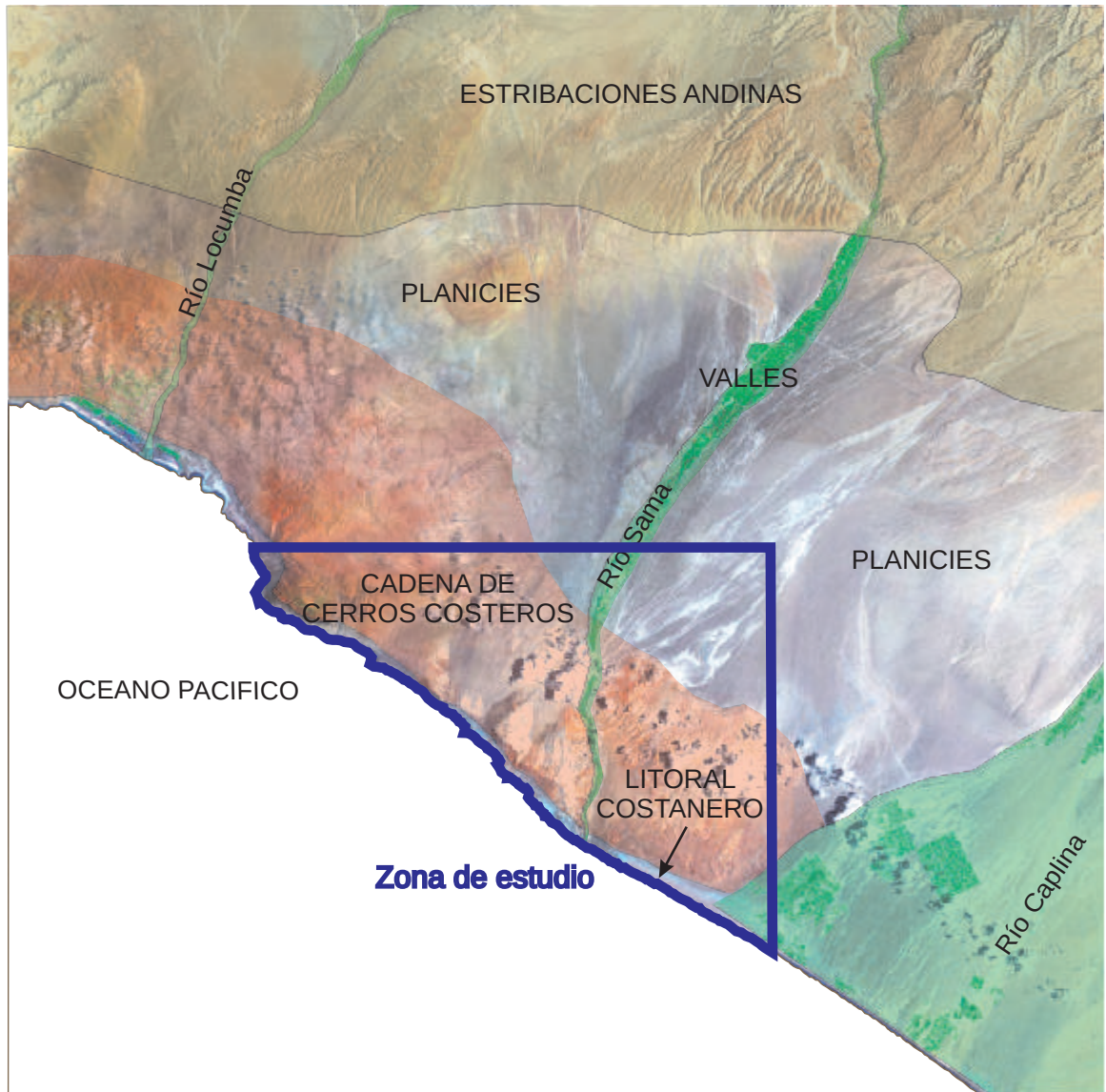
Foto N° 1. Vista hacia el sur, del litoral costero y la cadena de cerros costeros

2.1.3 PLANICIES

Constituyen una extensa llanura de terrenos, que se extienden a partir de la cadena de cerros costeros, prolongándose por el este hasta las estribaciones andinas. Las planicies están constituidas por sedimentos cuaternarios fluviales y eluviales, que cubren a depósitos más antiguos. Sus altitudes varían entre los 200 a 500 msnm.; y su ancho entre los 10 y 20 km. Tienen una ligera inclinación S-SO, y se hallan intensamente disectadas por una gran cantidad de quebradas que cortan a esta unidad transversalmente, originando una complicada red fluvial; en algunos casos se hallan cubiertas con espesas capas de yeso, como en las cercanías de los cerros Punta Colorada, y Chero. Las principales planicies que se han formado reciben los nombres de Pampas, tales como: Pampa de la Cruz Verde, Platanillo, Los Credales, de los Cerrillos, etc.

2.1.4 VALLE

El único valle actual es el formado por río Sama; este es relativamente joven y amplio hacia su margen izquierda, habiendo formado las mayores terrazas fluviales, que son aprovechadas para la agricultura; esta característica es constante hasta llegar a la franja litoral, en donde el valle se vuelve a abrir. Debe también mencionarse que hacia el sur de la zona de estudio se emplaza el abanico fluvial del río Caplina (que constituye un cono de deyección de considerables dimensiones que forma parte del estadio maduro del valle del río Caplina)



Mapa N°3 . Mapa de unidades geomorfológicas en base a una imagen Landsat TM 7

2.2 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

2.2.1 FORMACIÓN CHOCOLATE

Esta unidad fue originalmente denominada como Volcánico Chocolate por Jenks en 1948 en la antigua cantera de mármol Chocolate en el valle de Yura, Arequipa. Su estratotipo tiene un grosor de 900 m., y aunque no se observa su base, comprende principalmente dos secuencias: una basal, de derrames y aglomerados andesíticos de coloraciones marrones rojizas a marrón oscuro y de estratificación incipiente, y al tope una secuencia volcano-sedimentaria mejor estratificada, de conglomerados, volcarenitas y tobas líticas, con intercalaciones de calizas y algunos lentes de arrecifes coralinos.

Regionalmente se ha considerado que esta formación se emplaza desde Río Grande, Ica (*INGEMMET, 2000b*) hasta el valle del río Sama en Tacna, mientras que en la sierra está presente desde Pausa en Ayacucho, hasta Palca en Tacna por el sur (*INGEMMET, 2000b*); sin embargo, estudios mas recientes, en: *Martínez et al, 2005a; Martínez, Cervantes, 2005b*; dan sólidos indicios que demostrarían que la Formación Chocolate no afloraría en la costa de Perú, y que dichas secuencias corresponderían a un nivel volcano sedimentario superior; es más correlacionable al sur, en la costa norte de Chile, con la base de la Formación La Negra (Pichowiak, 1994; Scheuber et al, 1994; 200)

Debido al grado de alteración no existe una datación en la base de la Formación Chocolate; en su estratotipo, Jenks le asignó una edad Sinemuriana (~190 M.a.) en la región de Yura, en base a los corales “Oppeslismilia” y “Astrocoenia”; las secuencias en la costa a las que se le ha relacionado con la Formación Chocolate, siempre han estado en aparente discordancia sobre rocas cámbricas a precámbricas, como las del Complejo Basal de la Costa.

Los trabajos estratigráficos en la sierra de Tacna bajo las lavas Chocolate (*Pino et al , 2004*), determinan fósiles carboníferos como *Nothorhacopteris cf. Kellaybelensis* y *Timiodendron sp.*, y esta unidad (el autor prefiere usar el término “Formación Junerata”), descansa concordante sobre el Grupo Ambo, del Mississippiano, y con grosores de más de 1 500 m; un posterior estudio biolitoestratigráfico en la misma zona precisaría que los niveles

superiores de este grupo podrían realmente corresponder a las secuencias condensadas de los grupos Tarma-Copacabana del Pensilvaniano, concordantes al Grupo Ambo e infrayaciendo a las primeras lavas Chocolate (*Martinez et al* , 2005).

Ambas observaciones suponen entonces que el volcanismo Chocolate se inició hace unos 290 M.a. aproximadamente, en el Paleozoico superior (Pensilvaniano-Pérmico), mucho más antiguo que lo inicialmente propuesto (Triásico superior a Jurásico inferior) por autores anteriores; esto también equivaldría a considerar de casi 100 M.a de actividad volcánica en la región de Tacna.

2.2.2 FORMACIÓN GUANEROS

Denominación dada por Bellido en 1962, a una unidad volcano sedimentaria de aproximadamente 2300 m. de grosor en la quebrada Guaneros (Moquegua); a esta unidad se le describió como una secuencia superior compuesta predominantemente por volcanicos (*foto N°2*), con alternancia de tobas y una inferior de facies de areniscas y lodolitas, intercalándose con ocasionales niveles volcánicos.

Regionalmente, se han encontrado afloramientos similares en Ica y Arequipa, siendo los de Tacna los más australes en Perú; mas al sur, en la costa norte de Chile, y de acuerdo a lo observado en este trabajo, tendría mayor correlación que lo originalmente supuesto con la Formación La Negra (*Pichowiak, 1994; Scheuber et al, 1994; Scheuber et al, 2000; Franz et al, 2000; Hillebrandt et al, 2000; Makshev, 2001*).

La sección superior sedimentaria se prolonga al Este, siendo similar a la parte superior de Formación San Francisco del Toarciano sup - Batoniano, las formaciones Puente y Cachíos del Batoniano-Caloviano, del Grupo Yura, y la Formación Atapasca del Caloviano-Oxfordiano; (*Vicente, 1981; Pino et al, 2004*) y en el norte de Chile a la Formación Morro de Arica (según Ceccioni y García en 1960; en: *Narváez, 1964*), donde describen calizas y lutitas con fósiles del Caloviano, con lavas volcánicas de facies marinas, y algunas en almohadillas hacia su base.



**Foto N° 2. Lavas andesíticas con
textura fluidal de la
Fm. Guaneros en
La Clemesí (Moquegua)**

Los diversos fósiles hallados en la quebrada Guaneros y en otros afloramientos (*Posidonia escuttiana* Douglas, *Reineckia* sp., *Amaltheus* sp., etc), por diversos autores, asignaron a esta formación una edad Caloviana (~165 M.a) y estratigráficamente yace sobre la Formación Chocolate; estudios posteriores indicarían sin embargo que la Formación Guaneros sería más antigua, cuya base estaría en el Bajociano superior a Batoniano inferior, la presencia de ciertos fósiles como *Posidonia escuttiana* (DOUGLAS), *Globirhynchia aff sussoleta* (DAVIDSON), y *Parkinsoniidae ind.* (reportados en este trabajo) lo confirman; además de estar en contacto directo con el Complejo Basal de la Costa o sobre el Devoniano (Grupo Cabanillas), en donde se han datado lavas andesíticas basálticas de 152 M.a., directamente bajo Guaneros (en Hacienda Chucarapi, Punta Bombón; *Martínez, Cervantes; 2005b*); otras dataciones dan unas edades aproximadas de 124, 129 en lavas dacíticas (por *Roperch y Carlier, 1992; citado en: Romeuf et al; 1993*), y 157.2 M.a. en una intrusión hipabisal de la Formación Chala que es correlacionable con la Formación Guaneros (*Romeuf et al; 1993, 1995*)

2.2.3 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

a) Depósitos de Yeso.- se les encuentra principalmente en los cerros Punta Colorada, sobre sus partes altas a manera de extensa meseta y cubiertos por una delgada capa de sedimentos eluviales y material transportado (tales como conchas de gasterópodos), teniendo espesores considerables, que en unos casos lo hacen económicamente rentable (mina Viernes Santo); otras coberturas de yeso pero de aparentemente menor espesor ocurren frente a los cerros Siete Colores, aquí el yeso se presenta en capas superficiales de 2 a 3 cm intercaladas con gravas, y cuyo grosor va incrementándose con la profundidad; también existen capas en los cerros Llostay, Calvario, y al sur de punta Gentilar, en la Yesera, en donde las capas gruesas de yeso se hallan entre los planos de las areniscas y lutitas. Los depósitos de yeso son producto de una invasión marina, y que al evaporarse permitió que precipitaran sus sales y carbonatos; y por su cobertura, son anteriores a las arenas y gravas que cubren a las planicies.

b) Depósitos eólicos.- son las acumulaciones de material de origen eólico, producto de la meteorización y disgregación de las rocas, están formados por clastos de tamaño pequeño (3-10 mm.), de formas angulares a subangulares, y de composición litológica variada; cubren gran parte de las partes bajas de los cerros, y la zona deprimida de las planicies, a manera de relleno, formando las “pampas costaneras” (Pampa de la Cruz Verde, Platanillo, Los Credales, de los Cerrillos, Pie de Candela, etc); en algunos casos son depósitos con muy escaso transporte eólico y se acumulan en las laderas de los cerros (cerros Miraflores, Los Pabellones, Siete Colores, Chombo); en otros casos estos depósitos son arenas mucho mas finas, redondeadas, que han sufrido gran transporte y se presentan a manera de dunas o médanos como entre los cerros Calvario y Punta Colorada; también pueden llegar hasta de litoral, por ejemplo frente al cerro Punta Morena.

c) Depósitos aluviales y fluviales.- los depósitos aluviales constituyen los más extensos de la zona de estudio, están formados por gravas y conglomerados medianamente a bien consolidados, y son producto de la

acumulación de material traído por quebradas y corrientes de agua antiguas. Los depósitos fluviales son acumulaciones de material traído por las corrientes de agua actuales, estos se restringen a los valles actuales del Sama y Caplina, consisten de gravas, arcillas y arenas no consolidadas, formando generalmente terrazas y llanuras de inundación que se aprovechan para la agricultura local. Los más amplios se ubican en la margen izquierda del Sama, y en el cono deyección del Caplina.

d) Depósitos marinos.- formados por gravas y conglomerados en una matriz arenosa; son el resultado de las invasiones marinas recientes, los clastos mas cercanos a la línea de playa son de las características formas alargadas y achatadas, con diámetros de 5-10 cm. en su eje mayor; la matriz es bastante fina y de colores oscuros, debido a su origen volcánico andesítico, con escaso cuarzo; estos depósitos se les encuentra a lo largo de toda la línea de playa, a partir del sur del Morro Sama, hasta el cono de deyección del río Caplina.

CAPITULO III

LITOESTRATIGRAFIA

3.1. ARCO VOLCÁNICO JURÁSICO

Los afloramientos de la zona de estudio constituyen un gran edificio volcano sedimentario construido a mediados del Jurásico, como producto del material de un arco volcánico emplazado en la actual costa de Perú. Para su mejor tratamiento, se ha dividido el área de trabajo en tres sectores (*mapa N° 4*):

I) Sector Norte (Morro Sama): comprende: cerro Morro de Sama, cerro Bravo, cerro Pelado, cerro La Tranquila y la quebrada de Los Burros

II) Sector Central (Punta Colorada - Moreno): comprende los cerros Punta Colorada, Moreno, Fuerte de Los Españoles, Calvario, y entre Boca del Río y Punta Gentilar.

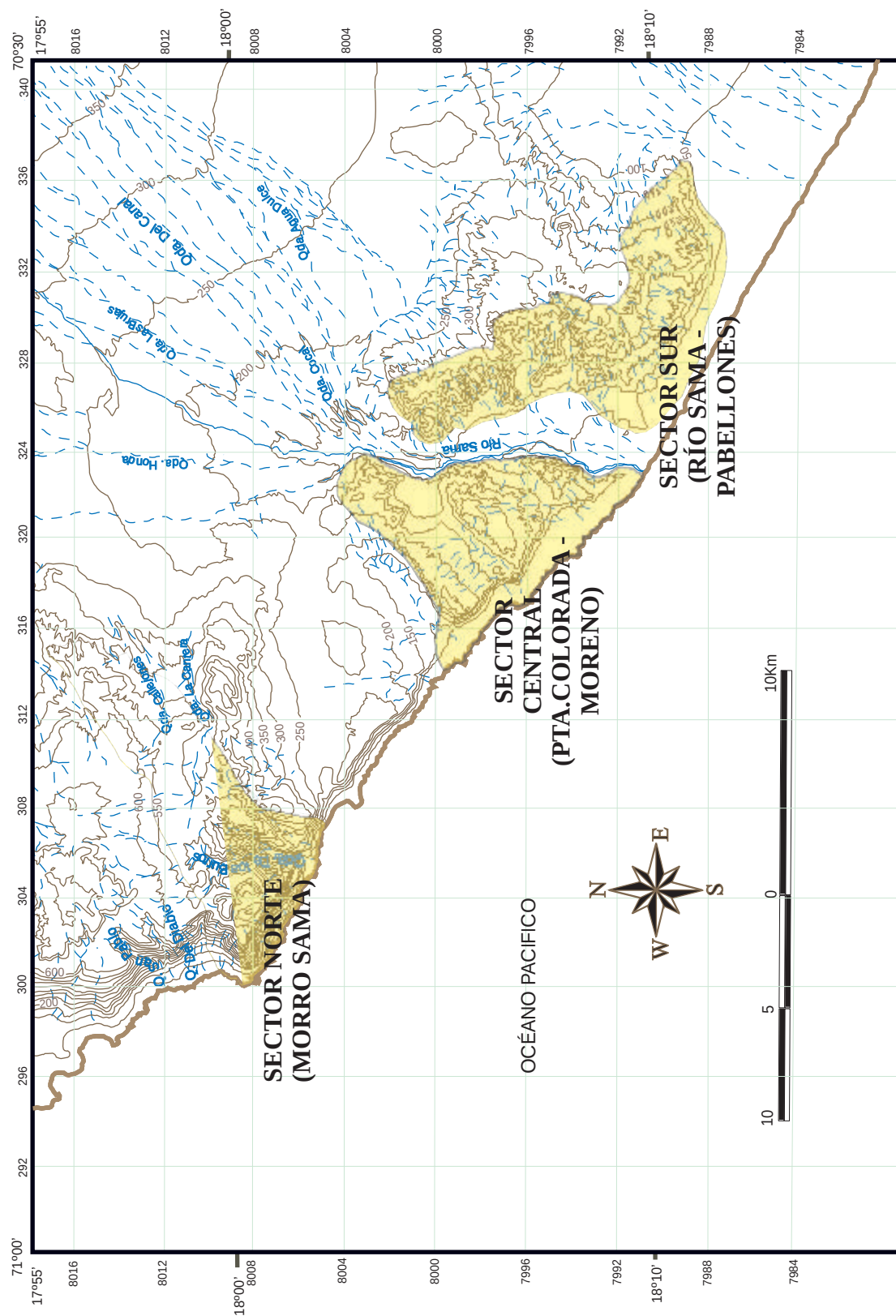
III) Sector Sur (río Sama-Pabellones): al sur del río Sama; comprende los cerros Los Pabellones, Chombo, Siete Colores, Miraflores, Punta Morena, etc.

3.1.1. SECTOR NORTE (MORRO SAMA)

3.1.1.1. ESTRATIGRAFÍA

En la sección de quebrada de los Burros se evidencia una etapa de prolongado volcanismo en casi total ausencia de sedimentos, representado por más de 1000 m. de lavas y brechas. (*fig N° 1*).

Las muestras 53 a 59, tomadas en campañas anteriores, corresponden al nivel litoestratigráfico más bajo de todo este paquete; constituido por intercalaciones de lavas andesíticas con andesitas de composición basáltica (*muestras N° 25 y 58*), y niveles de brechas volcánicas. Las rocas son de grano medio y de color gris a verde oscuro; algunas secuencias se encuentran pseudo estratificadas con grosores de 20 a 30 cm; los afloramientos son mayormente tabulares y bastante gruesos en conjunto, la alteración que tienen es moderada y producto de la meteorización; las brechas son monomíticas con clastos subredondeados de lavas porfíricas de color gris a violeta, y con espesores de varias decenas de metros; algunos de estos niveles son rojizos, debido a la presencia de hematita entre las fracturas y rellenando cavidades, en algunos casos cristalizada (oligisto micáceo).



Mapa N° 4 . Mapa de estudio por sectores

El nivel intermedio contiene predominancia de lavas, generalmente de composición andesítica (*muestras N° 23, 24, 37, 46, 47 y 50*) en bancos de 20 a 30 cm., medianamente a bien estratificados, de color gris y marrón, de tonos oscuros; porfiríticos con abundante plagioclasa y en algunos casos con estructuras de flujo con intercalaciones esporádicas de brechas y tobas (*foto N° 3*) en niveles muchos más delgados que en la base. Existen diques que cortan la secuencia, estos son porfiríticos, y menores de 2 m. de grosor.

El nivel litoestratigráfico superior contiene horizontes de lavas andesíticas con intercalaciones de niveles piroclásticos (*foto N° 4*), y un horizonte potente de brechas al tope; en muchos casos existen estructuras de flujo y laminación, con fuerte presencia de material lítico como componente de las rocas, y con metamorfismo de bajo grado; aparecen los primeros depósitos marinos de origen volcánico (grauvacas feldespáticas, *muestra N° 36*) con presencia de cuarzo, plagioclasa y elementos propios de lavas, ahí se encontró el fósil *Limaluta cf. L. gibbosa SOWERBY* (de rango Bajociano–Caloviano) en regular estado de conservación; concordante a esta secuencia se encuentran lavas afaníticas, brechas con clastos de origen sedimentario y flujos riolíticos, estos últimos muy alterados y difíciles de caracterizar (*muestras N° 32, 33, 34 y 35*). La secuencia es cortada por un intrusito diorítico (*muestra N° 31*)

3.1.1.2. PETROGRAFÍA

Los tipos de rocas estudiadas en Morro de Sama son andesitas, andesitas basálticas, tobas, riolacitas y grauvacas en la quebrada de los Burros. Las andesitas son de texturas microporfiríticas a porfiríticas, en algunos casos fluidal y vacuolar; el mineral más abundante es la plagioclasa, que es bimodal, en tamaños de 0.5 a 1 mm. (generalmente a manera de matriz) y en fenos de 1.5 a 3 mm., encontrándose siempre en formas euhedrales a subhedrales, macladas y zonadas. El cuarzo primario se encuentra en microcristales cúbicos y tabulares subhedrales diseminados de 0.2 a 0.3 mm., y el secundario en agregados anhedrales. Los ortopiroxenos y clinopiroxenos se presentan en cristales de 1 a 3

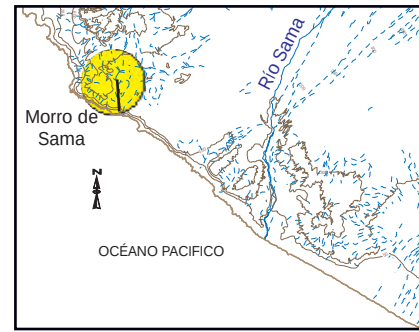
mm., y en microcristales diseminados de 0.3 mm., estando algo alterados, rotos, y algunos maclados; escasos anfíboles (hornblenda) en cristales de hasta 2 mm., maclados, y rotos; moldes de minerales máficos (piroxenos, anfíboles, olivino) alterados a carbonatos, cloritas, serpentina, limonitas y con silicificación.

Existe presencia de óxidos de hierro debido a la pirita y calcopirita; y otros minerales accesorios en pequeñas cantidades como ortosa y biotita; vidrio intersticial escaso. Las muestras 32, 34 y 35, presentan problemas para su diferenciación, al microscopio la matriz microcristalina presenta una notoria superimposición de flujos microcristalinos de composición más ácida, y en forma de bandeamiento, lo que aparentaría ser una “mezcla de 2 diferentes fuentes magmáticas”, algunos minerales como el cuarzo y algunas plagioclasa muestran cierta recristalización y deformación, así como texturas vacuolares rellenas de cloritas y serpentina, dichas muestras deben ser tratadas con cuidado para su correcto reconocimiento.

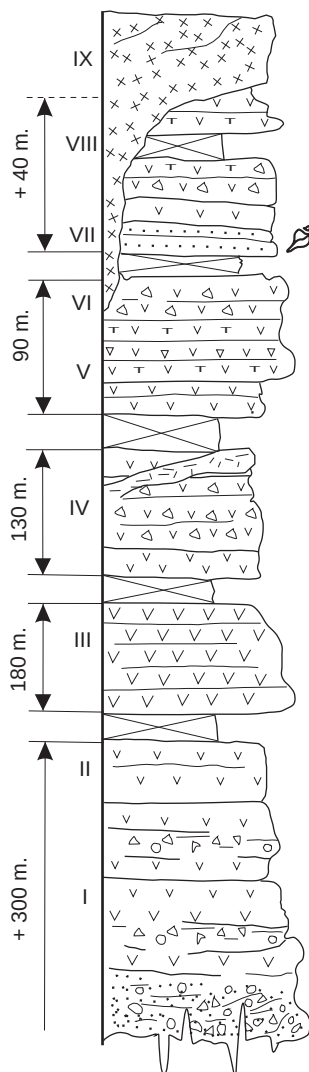
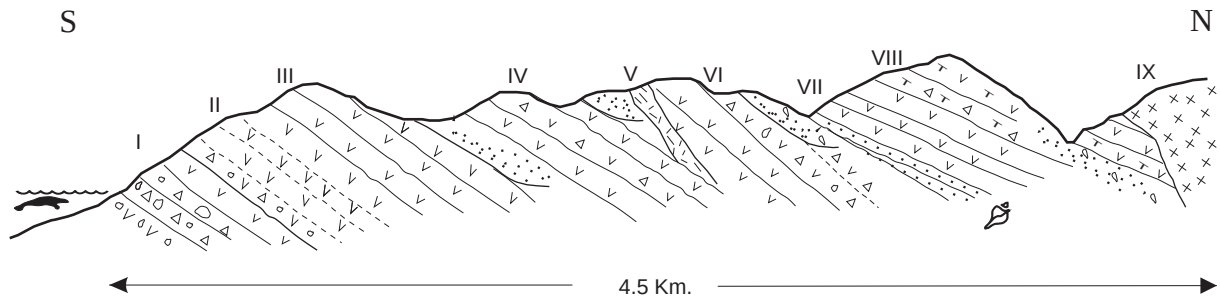
Las andesitas de composición basáltica tienen mayor porcentaje de plagioclasas (hasta 95%) respecto de minerales como el cuarzo (no mayor del 5%), sin presencia de anfíboles; mayor cantidad de minerales máficos (piroxenos, olivino) en cristales de 1 mm., y moldes alterados. Las tobas representan las fases explosivas del sistema y forman parte de la secuencia superior de Morro de Sama (Nº 33, 35 y 50); se componen de plagioclasa, cuarzo, en cristales, moldes de minerales máficos, medianamente alterados; líticos con materiales de origen lávico; presencia de fiame, escaso vidrio intersticial. La riodacita (51), representa la facie más ácida de la secuencia, con feldespato alcalino (14%), que incluye sanidina; se presenta con textura fluidal, gran cantidad de matriz vítrea; la observación microscópica en sección delgada la presenta como una aparente mezcla de magmas, uno mas fluida que el otro.

Las grauvacas se componen de cristales de plagioclasa alterados y rotos, fragmentos de roca de origen lávico, fenos de piroxenos y cuarzo rotos, en matriz criptocristalina. La alteración superficial es moderada a fuerte, lo que se manifiesta en la marcada presencia de cloritas, serpentinillas, calcita, epidota, sericita, muscovita y limonitas.

SECCIÓN Y COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA EN QUEBRADA DE LOS BURROS



UBICACIÓN DEL ÁREA



IX.- Intrusivo de composición variable entre monzodiorita a diorita, dependiendo de su porcentaje de feldespatos alcalinos.

Muestra N° 31

VIII.- Lavas andesíticas afaníticas de colores claros, en estratos de 15 cm.; intercalándose con flujos piroclásticos colores cremas a beige, algo oxidados, brechas oscuras con clastos sedimentarios. N10-30°O, 25-30°NE. **Muestras N° 32, 33 y 52.**

VII.- Grauvacas en estratos de 20 cm. Fósil *Limatula* cf. *L. gibbosa* SOWERBY. N15°O, 30°NE. **Muestra N° 36**

VI.- Tobas litocristalinas, alteradas, flujos piroclásticos; brechas en niveles delgados y lavas andesíticas porfíricas. N°20-30°O, 40 - 45°NE. **Muestras N° 35, 34, 48**

V.- Lavas andesíticas grises a lilas, porfíricas, de grano grueso en paquetes medios de 20 cm., con algunos niveles brechosos y tobáceos delgados de 10 a 15 cm. N55°O, 30°NO. **Muestras N° 37 y 47.**

IV.- Lavas andesíticas grises a verdosas en la base, porfíricas y alteradas; en estratos de 15 cm., mal estratificados; infrayacen a una gruesa secuencia de brechas monomíticas, de clastos subredondeados grises violáceos; algunos niveles con presencia de hematita y limonita; en el tope, lavas andesíticas grises medianamente estratificadas en estratos de 20 cm. Ocasionales diques. **Muestras N° 24, 46, 23 y 50.**

III.- Secuencia masiva de lavas andesíticas grises a verdosas, porfíricas, grandes cristales de Plagioclasa, en paquetes medianos de 20 a 30 cm., medianamente estratificados. N70°O, 55°SO.

II.- Lavas andesíticas de composición basáltica grises verdosas, porfíricas de grano medio, bastante alteradas, abundante clorita, en estratos medios a gruesos, la estratificación no es clara. **Muestras N° 25 y 58.**

I.- Intercalaciones de lavas basálticas verdosas, rojizas, bastante alteradas, oxidadas, porfíricas, con conglomerados y brechas, abundante calcita en venillas y rellenando fracturas; en capas gruesas, mal estratificadas. **Muestras N° 53 - 57, 59.**

Fig N°1. Perfil estructural y columna litoestratigráfica en quebrada de Los Burros

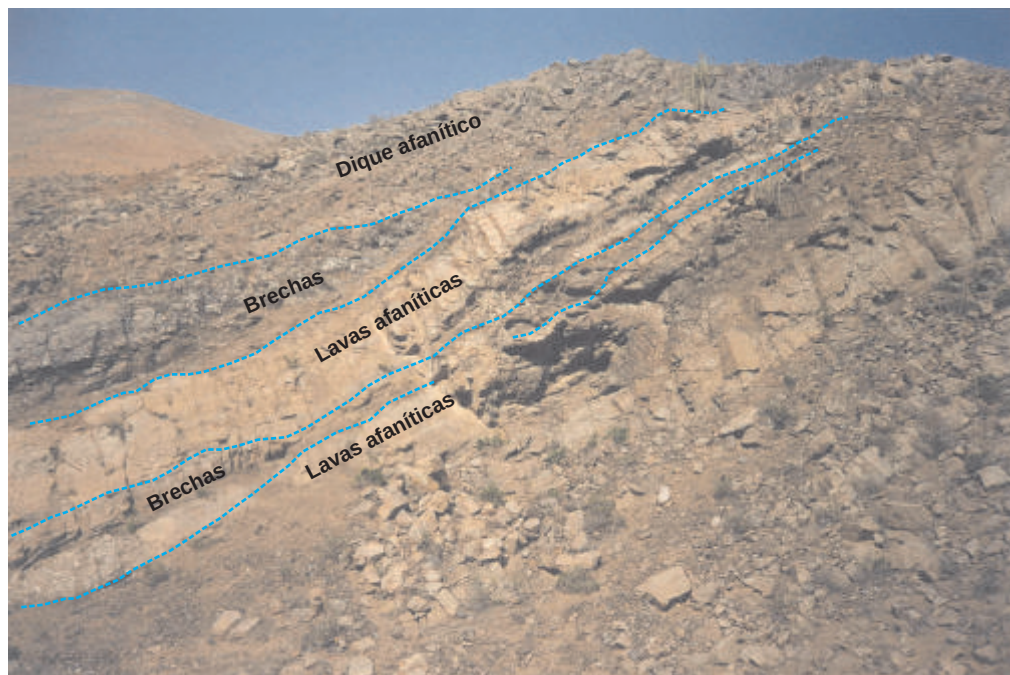


Foto N° 3. Secuencia de brechas y lavas de la Formación Guaneros, cortada por un dique de rumbo NS en la parte media de qda. de Los Burros. Vista al NE



Foto N° 4. Secuencia de flujos piroclásticos de la Formación Guaneros bien estratificados de rumbo N 40° O, buzando 35° NE. Toma hacia el sur.

3.1.2. SECTOR CENTRO (PUNTA COLORADA-MORENO)

3.1.2.1. ESTRATIGRAFÍA

Es una secuencia típicamente volcano sedimentaria; contiene lavas, piroclastos, ocurren además una gran cantidad de cuerpos subvolcánicos; a diferencia del sector de Morro de Sama, las rocas sedimentarias son tan abundantes como las de origen volcánico. Los niveles volcánicos en su mayoría se restringen a la línea de costa, hacia el sur-sureste se profundiza la cuenca, los procesos sedimentarios son entonces más desarrollados y prolongados, pero aún con esporádicos eventos volcánicos que se manifestaban, a manera de sills y diques andesíticos.

En los alrededores entre Boca del Río y Vila Vila (*fig N° 2 y 3*); un fallamiento y posterior rotación antihoraria casi paralela a la línea de costa, habrían provocado que las estructuras de la franja litoral varíen de rumbo, de NNO a NNE, por lo que constituyen el nivel estratigráfico inferior para este sector. Las rocas son brechas volcánicas y lavas de color gris a verde oscuro, estas son de composición andesítica a basáltica (*muestras N° 44 y 45*), porfiríticas, fuertemente meteorizadas, con disyunción esferoidal y fracturas rellenas de calcita (*foto N° 5*); la mayoría de las brechas son monomícticas (clastos de lavas con 2 a 3 cm de diámetro, angulosos a subangulosos), se hallan diaclasadas, y muy alteradas.

Los niveles intermedios en los alrededores de La Yesera, pta. Gentilar, cerros Punta Colorada y Fuerte de los Españoles son areniscas y lutitas (*fig N° 2, 3 y 4*), con un rumbo promedio hacia el NE y buzando al NO; que se intercalan con volcánicos lávicos y piroclastos (*muestras N° 01, 04, 05, 06, 41, 42 y 43*); estos últimos suelen ser tobáceos, tipo brechas, o conglomerádicos, y las lavas de naturaleza andesítica a andesita basáltica; las areniscas suelen ser cortadas por cuerpos subvolcánicos (*foto N° 6*), de color gris a verde oscuro, porfiríticos mayormente, con abundante plagioclasa y piroxenos, o ignimbritas de tono rojizo (*foto N° 7*), bien estratificadas, y con clastos subredondeado, estos subvolcánicos al intruir engloban secuencias más antiguas, en donde las areniscas han sido replegadas y parcialmente asimiladas por un cuerpo mucho mayor

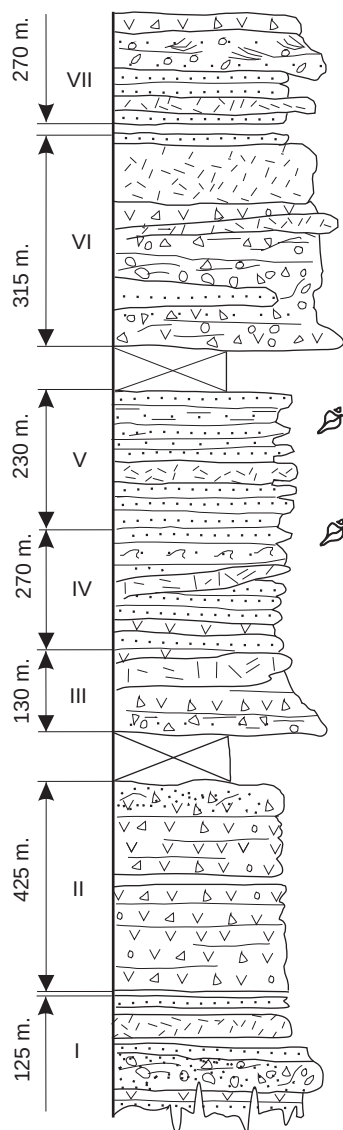
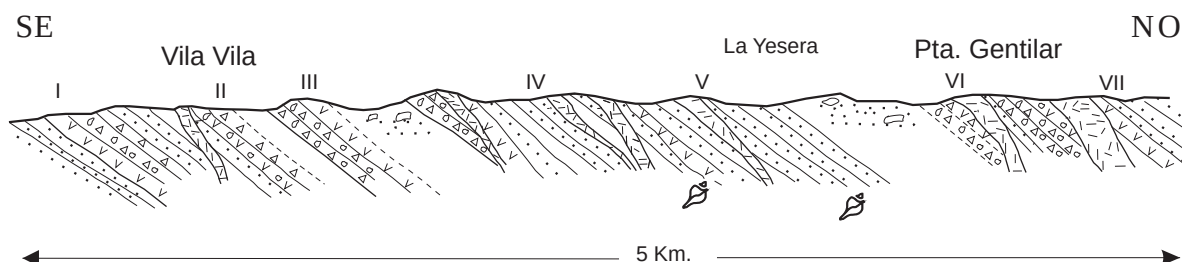
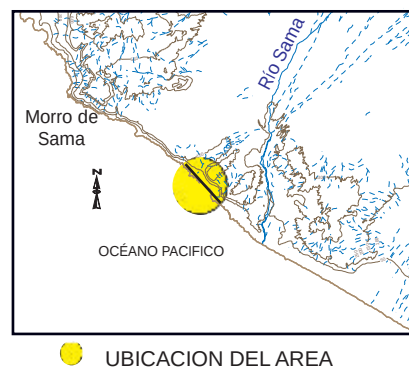
(foto N° 8); algunas areniscas finas pueden presentar laminación o estratificación ondulada, y estructuras sedimentarias (como slumpings, paleocanales y rizaduras)

Los niveles superiores entre El Cocal, La Angola y Vituña (fig n° 4 y 5) están formados en su mayoría de rocas sedimentarias (areniscas, limonitas, lutitas) y cortados ocasionalmente por algunas lavas andesíticas y subvolcánicas afaníticas. Las areniscas son de tonos gris a rojizo, de grano fino, mediana a bien estratificada, en estratos desde los 3 a 20 cm. de grosor, y fisibles (muestra N° 18), ocasionalmente se observa algo de hematita secundaria que rellena fracturas; algunas son bastante más gruesas, con clastos flotantes y alterados a manera de guijarros subredondeados a redondeados, en estratos de 15-20 cm., algunos con estratificación ondulante.

Las areniscas se intercalan con limolitas areniscosas y calcáreas de color gris a rojizo, en estratos de 5 a 8 cm. de grosor; los depósitos de yeso se encuentran interestratificados entre las areniscas y limolitas. Algunas rocas presentan abundantes carbonatos; la muestra N° 9 representa uno de los dos niveles (2 m. de grosor) de calizas, en donde se observa clastos de cuarzo y feldespatos flotando en la matriz carbonatada, se encuentran regularmente estratificados, y cuya dirección es aproximadamente noroeste buzando al noreste (muestras N° 09 y 15). Se hallaron los fósiles *Posidonia escuttiana* (DOUGLAS), *Globirhynchia aff sussoleta* (DAVIDSON), y *Parkinsoniidae ind.*; (Bajociano-Caloviano). *Bositra buche* (ROEMER), *Posidonia escuttiana* (DOUGLAS) y *Anisocardia sp.*; encontrándose regularmente conservados, y reportando Bajociano- Caloviano, aproximadamente entre 140 a 160 M.a.

Los cuerpos volcánicos son escasos y delgados (10–20 cm.), generalmente andesitas porfíricas; se presentan en algunos casos concordantes con el material sedimentario, a manera de sills, o intruyéndolos como diques, y acuñándose, ya que lateralmente no se prolongan más de 15m. (muestras N° 17, 20, 21 y 22).

SECCIÓN Y COLUMNA LITOSTRATIGRÁFICA ENTRE VILA VILA - PUNTA GENTILAR



VII.- Intercalación de areniscas gris rojizas, en estratos delgados y laminados con niveles volcánicos lávicos y subvolcánicos; estructuras de paleocanales en brechas monomicticas; presencia de yeso entre los planos de laminación de las facies sedimentarias. N20°E, 30°NO .

VI.- Lavas oscuras basálticas, porfíricas algo estratificadas intercaladas con potentes paquetes de brechas gris oscuras de clastos subangulosos de gran tamaño; estructuras mineralizadas; cuerpos subvolcánicos niveles de areniscas englobado en los subvolcánicos. N50°E, 20°NO

V.- Areniscas rojizas, laminadas en estratos gruesos, estratificación paralela a ondulante; algunos niveles son pelíticos. Escasos cuerpos volcánicos. Niveles fosilíferos. N50-80°O, 20°NO

IV.- Secuencia de areniscas pardas a grises en estratos delgados, de grano fino; presenta estratificación ondulante, patrones de bioturbación, y estructuras en slumping; esta cortada por niveles subvolcánicos y diques. Niveles fosilíferos. N65-70°E, 20-25°NO.

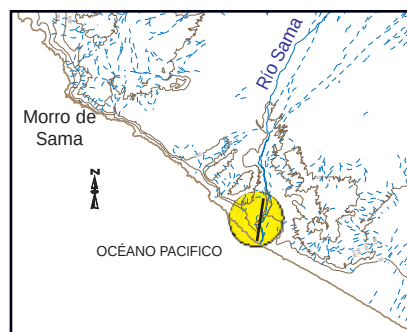
III.- Brechas gris verdoso, algo estratificadas, monomicticas, se intercalan delgados niveles de areniscas verdosas y cuerpos subvolcánicos con estratificación incipiente. N50-60°E, 45-50° NO

II.- Lavas afaníticas gris rojizas, mal estratificadas ; brechas monomicticas grises verdosas , angulosas, abundantes carbonatos; ignimbrita pardo-rosada; diques verdes afaníticos cortan los niveles. N45°E, 50°NO.

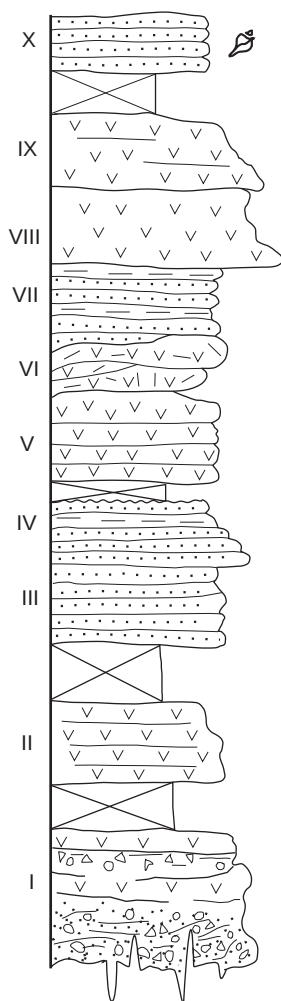
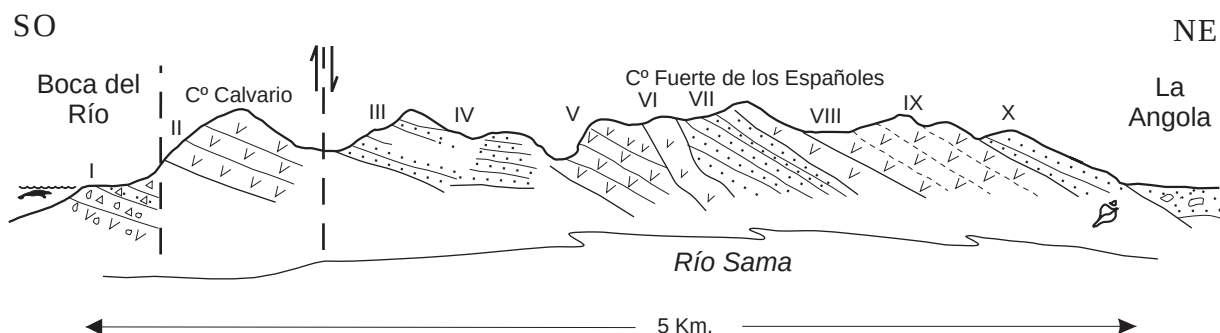
I.- Lavas grises-marrones en estratos medios a gruesos y brechas volcánicas monomicticas; cuerpos subvolcánicos grises, grano medio a fino; niveles areniscosos, rojizos a verdosos de grano fino, estratificación delgada y ondulante, cortadas por algunos diques andesíticos

Fig N°2. Perfil estructural y columna litoestratigráfica Vila Vila - punta Gentilar

SECCIÓN Y COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA ENTRE BOCA DEL RÍO - LA ANGOLA



UBICACION DEL AREA



X.- Secuencia de areniscas de grano medio no calcáreas en estratos de 10-15 cm., algunos fósiles bivalvos mal conservados, E-O, 40°N,

IX.- Lavas pardas con tono rojizo porfíricas de composición andesítica con ligera alteración
Muestra N° 21

VIII.- Lavas grises a beige, con tonalidades claras, porfíricas, sin estratificación aparente

VII.- Intercalación de areniscas gris rojas y limolitas grises, algo calcáreas; en estratos delgados; fósiles mal conservados, N10°E, 35°SE .

VI.- Lavas porfíricas grises rojizas como placolitos

V.- Lavas grises en estratos medios N35°O, 40°NE
Muestra N° 22

IV.- Facies de areniscas rojas en paquetes de grosor medio, no calcáreas, con algunas limoarcillitas bien estratificadas, N-S, 5°O.

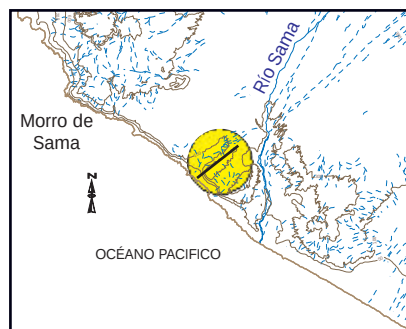
III.- Primeras secuencias sedimentarias de areniscas grises con tono verdoso, de grano medio y no calcáreas en estratos de grosor medio, bien estratificados. N60°O, 20°NE

II.- Lavas porfíricas andesíticas grises con tonos verdosos y rojizos; con estratificación notoria, N75°E, 25°NO. **Muestras N° 04, 41, 42, 43.**

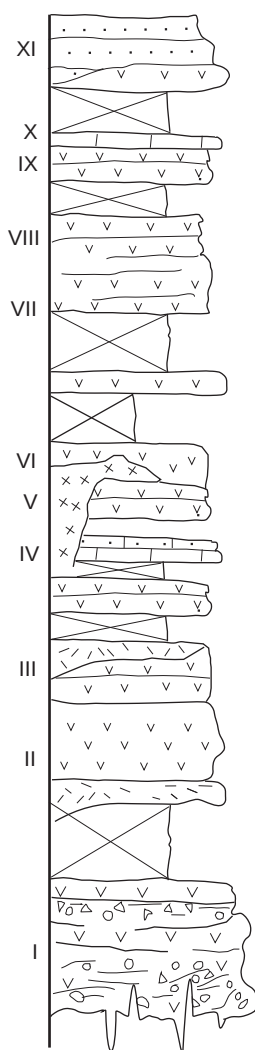
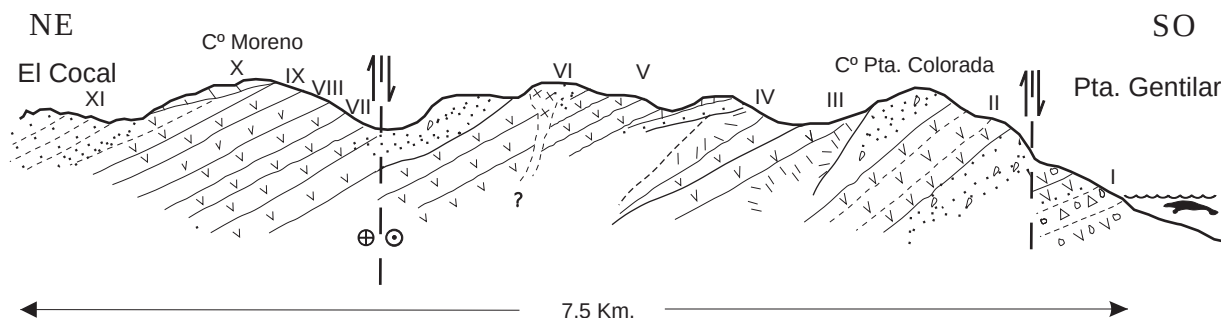
I.- Intercalación de lavas basálticas porfíricas con brechas grises a pardas, algunos niveles de microconglomerados verdes a grises, pseudoestratificados en paquetes de 50 cm .

Fig N°3. Perfil estructural y columna litoestratigráfica Boca del Río - La Angola

SECCIÓN Y COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA ENTRE PTA. GENTILAR - EL COCAL



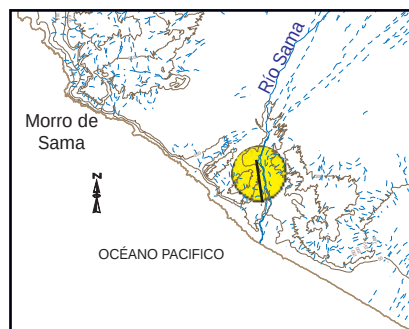
UBICACIÓN DEL ÁREA



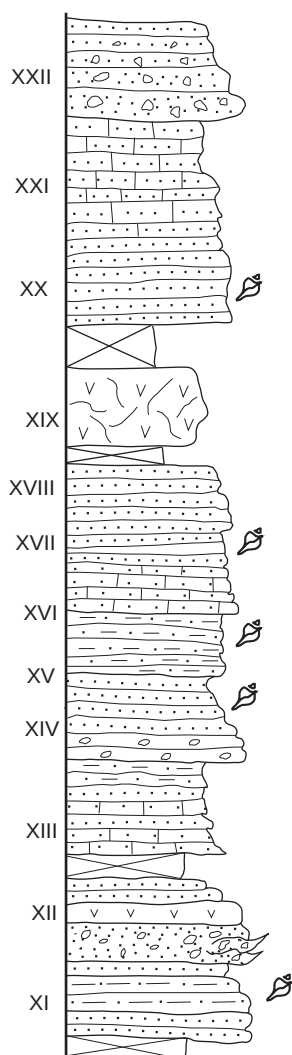
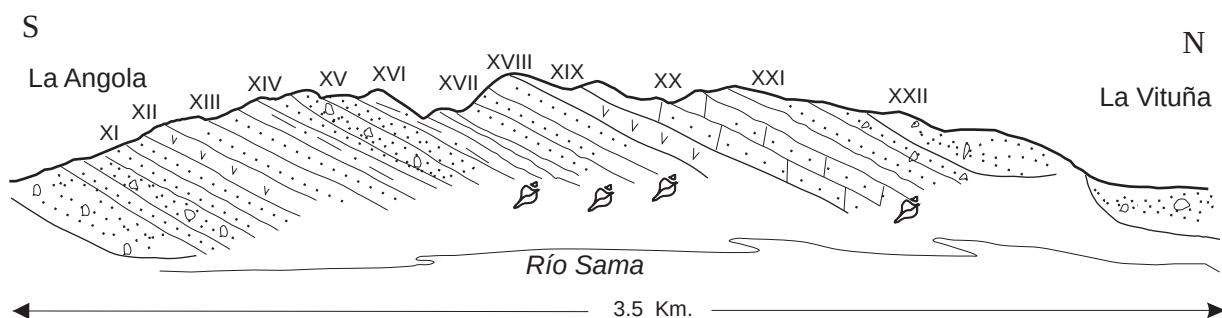
- XI.- Lavas de composición andesítica, pardas a rojizas, que cortan areniscas rojizas a beige, grano medio en estratos delgados. **Muestra N° 17**
- X.- Nivel delgado de calizas grises, tonos rojizos en estratos de 10 cm., sin fósiles. N60°O, 42°NE. **Muestra N° 15**
- IX.- Lavas grises claras, porfíricas, no estratificadas. **Muestra N° 15**
- VIII.- Lavas andesíticas gris verdosas, porfíricas, estratificación regular a buena en estratos medianos de 20 cm., N45°O 25°NE. **Muestras N° 12 y 13**
- VII.- Andesitas de composición basáltica, pardo grisáceas, porfíricas, la estratificación no es muy notoria. **Muestra N° 14**
- VI.- Intrusivo de composición tonalítico-diorítico, blanco grisáceo holocristalino. **Muestra N° 08**
- V.- Lavas andesíticas gris verdosas, porfírica, en partes con textura fluidal. **Muestra N° 07**
- IV.- Nivel delgado de calizas beige claro, en estratos de 10cm., con asimilación de lavas (clastos flotantes) por gravedad. **Muestra N° 09**
- III.- Secuencia masiva de lavas grises a lilas, andesíticas porfíricas, escasa presencia de carbonatos; sin una estratificación aparente; algunos intrusivos subvolcánicos. **Muestras N° 05 y 06**
- II.- Lavas de composición andesítica grises claras, porfíricas sin carbonatos, y en estratos delgados; intercalaciones de intrusivo subvolcánicos N20°O, buz. Vertical. **Muestra N° 01**
- I.- Intercalaciones de lavas basálticas verdosas, conglomerados y brechas monomíticas, abundante calcita en venillas rellenando fracturas; la estratificación es regular en paquetes de 20-30 cm., N30°E, 45°SE. **Muestras N° 44 y 45.**

Fig N°4. Perfil estructural y columna litoestratigráfica Pta. Gentilar - El Cocal

SECCIÓN Y COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA ENTRE LA ANGOLA - LA VITUÑA



UBICACION DEL AREA



XXII.- Secuencia de areniscas gruesas inmaduras grises verdosas, meteorizadas; con estratificación ondulante algunos conglomerados muy esporádicos. Estratos medianos a delgados N25°-30°O, 20°-25°NE

XXI.- Secuencia de areniscas finas y algunas limolitas calcáreas grises con tono rojo, laminadas N50°O, 25°-30°NE. **Muestra N° 18**

XX.- Secuencia de areniscas y limolitas calcáreas pardas a beige con contacto no diferenciado. Fósiles bivalvos mal conservados.

XIX.- Lavas vitrificadas gris rojizo sin estratificación. **Muestra N° 19**

XVIII.- Areniscas grises rojizas finas silicificadas, en estratos delgados presencia de hematita secundaria que las cubre y rellena fracturas

XVII.- Limolitas areniscosas grises a rojizas, algo de material calcáreo, fósiles en pequeñas cantidades

XVI.- Areniscas beige a marrones, grano fino, en estratos delgados con fósiles (bivalvos), algo calcáreas. N40°O, 25°NE

XV.- Limolitas y areniscas finas no calcáreas, con estratificación fina, fósilíferas. N65°O, 25°NE

XIV.- Secuencia de areniscas grises gruesas (2-3 mm), no estratificadas y diaclasadas

XIII.- Areniscas grises claras a pardas, de grano medio, intercaladas con las areniscas gruesas, bien estratificadas en estratos medios, sin fósiles. N50°O, 30°NE.

XII.- Lavas color pardo a marrón porfíricas, a manera de placolito. **Muestra N° 20**

XI.- Conglomerados de clasto flotante, subredondeado, con intercalaciones de areniscas grises gruesas y arcillitas beige, y areniscas grises fósilíferas en la base

Fig N°5. Perfil estructural y columna litoestratigráfica La Angola - Vituña

3.1.2.2. PETROGRAFÍA

Las secuencias volcánicas del sector del río Sama son andesitas, andesitas basálticas, brechas y tobas. Las andesitas tienen texturas porfiríticas a microporfiríticas, de matriz criptocristalina, y en varios casos es parcial o totalmente fluida; el mineral más común es la plagioclasa (~65%), que es bimodal, en tamaños de 0.3 a 0.5 mm. y fenos de 1 a 2 mm., se encuentra en formas euhedrales a subhedrales, con maclas polisintéticas y zonamiento, y en algunos casos con inclusiones de piroxenos, y corroídos por vidrio; el cuarzo es enteramente primario y cúbico, en microcristales diseminados de 0.3 mm. y cantidades que varían de 6-9%. Los piroxenos, se presentan en fenocristales de 1 a 3 mm., y rara vez en microcristales diseminados, la mayoría está maclado y han sido alterados a carbonatos, quedando solo sus moldes; los anfíboles (hornblenda y tremolita) son escasos, se presentan subhedrales, en tamaños que varían 0.5 a 2 mm. y algunos casos maclados, presentando aureolas por la oxidación. Los moldes de minerales máficos (piroxeno, anfíbol y olivino) son comunes; el vidrio se presenta en la matriz; escasos minerales opacos; la alteración es media – alta, presencia de cloritas, sericita, epidota, arcillas, etc.

Las andesitas basálticas son microporfiríticas y porfiríticas; la plagioclasa se presenta en cristales bien formados de 1-3 mm., maclados, rotos, y con alteración superficial de micas y arcillas; escaso cuarzo (menor del 5%), que siempre es primario en microcristales cúbicos de 0.2-0.3 mm.; piroxenos en cristales de hasta 3 mm. bien conservados y maclados; moldes de minerales máficos (se reconocen piroxenos, olivino) alterados a carbonatos, cloritas, micas, etc. Los niveles explosivos (tobas, ignimbritas, brechas), ocurren a nivel de la playa; el tipo de piroclasto para las tobas varía desde bombas y bloques a cenizas, las brechas son casi en su totalidad monomícticas; y el grado de alteración es bastante alto (carbonatos, cloritas, arcillas, micas)



Foto N° 5. Lavas porfíricas de la Formación Guaneros, con numerosas venas de calcita. Vista al oeste en Boca del Río

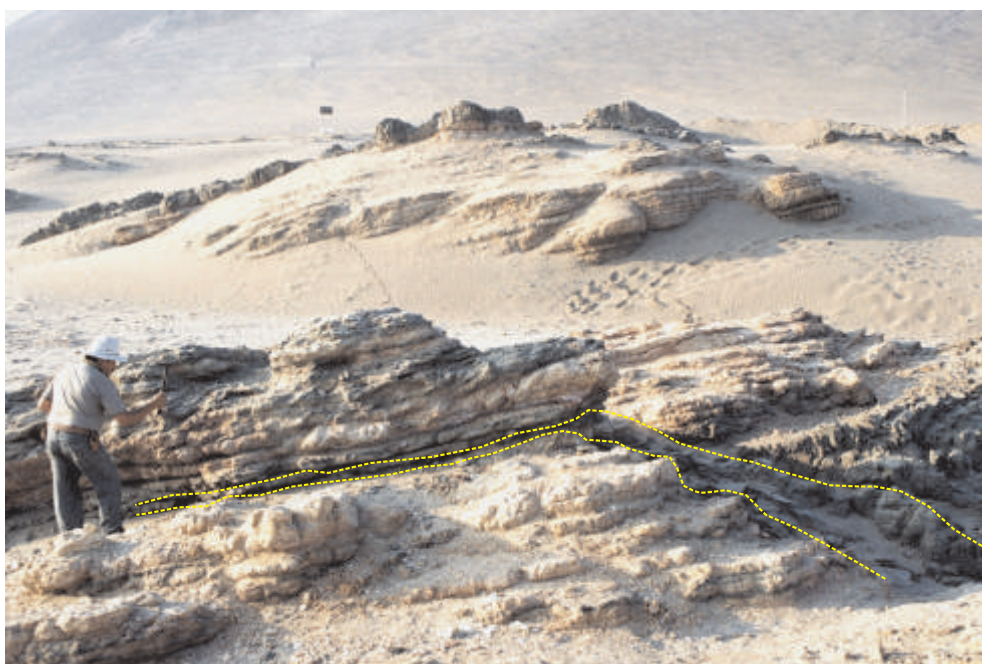


Foto N° 6. Secuencia sedimentaria de la Formación Guaneros que es cortada un cuerpo volcánico que aprovecha las fracturas en las areniscas. Al norte de Vila Vila



Foto N° 7. Vista hacia el oeste de un afloramiento de ignimbritas de la Formación Guaneros en las cercanías de Vila Vila



Foto N° 8. Areniscas de la Formación Guaneros replegadas y englobadas por un cuerpo subvolcánico. Foto hacia el suroeste. La Yesera.

3.1.3. SECTOR SUR (RÍO SAMA-PABELLONES)

3.1.3.1. ESTRATIGRAFÍA

Consiste de una secuencia fundamentalmente sedimentaria con intercalación de niveles subvolcánicos, de dirección promedio N-NE y buzante al NO aproximadamente; siendo además petrográficamente bastante similar al sector Angola-Vituña.

Las secuencias volcánicas son exclusivamente lávicas, a excepción de las brechas de los cerros Llostay y Punta Morena. Las facies sedimentarias son areniscas y algunos niveles de lutitas. La presencia de intrusivos plutónicos se dan muy restringidamente en el cerro Los Pabellones y frente al poblado de Llostay.

El nivel estratigráfico inferior que se aprecia en este sector aflora en los cerros Los Pabellones (*fig Nª 6*), son lavas gris oscura porfíricas de composición andesítica con un grosor considerable (más de 60 m. si tomamos en cuenta que no se aprecia su contacto inferior), y su geometría hace que sea un cuerpo casi paralelo a la línea de costa (*muestra Nª 27*), comportándose estructuralmente como un dique-sill que en algunas zonas intruye a las areniscas superiores, estando también conforme a las mismas; los niveles superiores lávicos son de grosores variables entre unos cuantos metros a unas decenas de metros, la mayoría son sills entre los niveles sedimentarios, cuya continuidad lateral llega a varias decenas de metros, y en algunos casos pasando de cien metros; la composición de estos es andesítica, porfiríticos y son gris oscuro; la secuencia también es cortada por diques de composición similar a los sills (*fotografía Nª 9*). La zona del cerro Punta Morena esta brechada, con fuerte alteración tipo oxidación y silicificación; las brechas volcánicas del cerro Llostay son de color pardo rojizo y sus clastos son de gran tamaño, subangulosos, y presenta una fuerte alteración, parecida a la de cerro Punta Morena.

En los cerros Los Pabellones, un cuerpo subvolcánico de grandes dimensiones (*muestra Nª 28*) corta tanto las secuencias sedimentarias como las volcánicas (en algunos lugares quedan bloques colgados), es de composición cuarzo traquitica, abundan el cuarzo y en feldespatos alcalinos en la matriz, pero pobre en

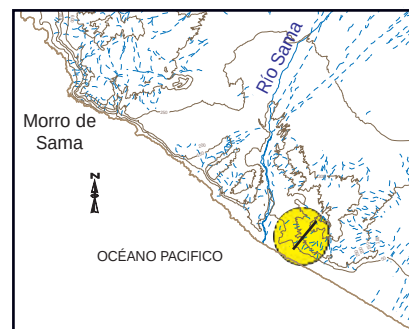
plagioclasas, presenta oxidación, por lo que toma coloración naranja a rojiza.

Los niveles sedimentarios se intercalan con los volcánicos (*muestra N° 30*), y muestran mayor continuidad lateral y menor variación litológica que las lavas; son principalmente areniscas pardo-rojizo a gris, con presencia de carbonatos, y de matriz generalmente arcillosa (*muestra N° 29*). La presencia de areniscas se aprecia desde el flanco oeste del cerro Llostay; en el cerro Los Pabellones las rocas sedimentarias se hallan sobre los volcánicos y representa una secuencia casi monótona de areniscas interrumpida por sills y cortada por algunos diques y el subvolcánico; hacia el flanco norte del cerro Los Pabellones esta secuencia sedimentaria topográficamente desciende, variando hacia el tope a una facie de areniscas de grano más fino, de colores más oscuros, gris a rojiza, laminadas y fisibles, e intercalándose con material pelítico en bancos de 5 cm.

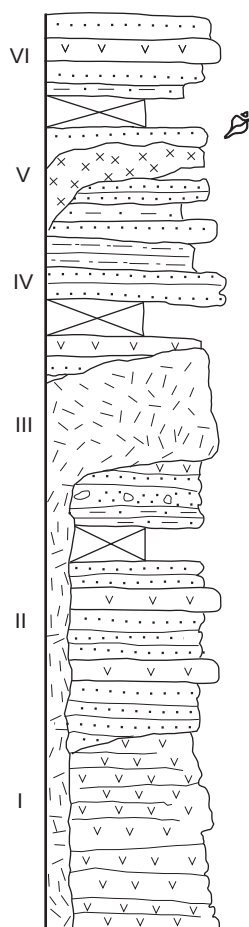
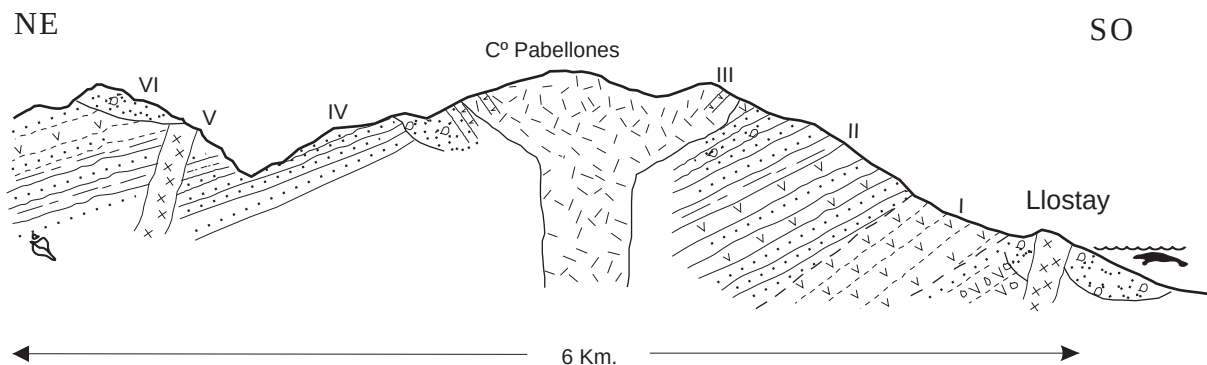
En los niveles fosilíferos del cerro Siete Colores se encuentran bivalvos mal conservados; el material fino se mantiene más o menos inalterable en los niveles sedimentarios inferiores. La secuencia sedimentaria más superior que aflora en la zona forma las partes altas de los cerros Siete Colores y Chombo, concordante a un nivel de lavas (*fotografía n°10*), las areniscas son de colores claros, amarillo a rojizo, de grano medio, en paquetes competentes de 15-20 cm. con estratificación paralela y ondulante, hay ausencia de material pelítico y mayor cantidad de carbonatos, conteniendo moldes fósiles incompletos, e igualmente es cortada por algunos cuerpos subvolcánicos bastante delgados (*fig N° 7*)

Los eventos volcánicos como brechas, lavas basálticas, andesíticas, precursores de la sedimentación, no se aprecian en este sector, probablemente porque de acuerdo a sus rumbos, los afloramientos de este tipo tienden a desarrollarse hacia el oeste (Océano Pacífico).

SECCIÓN Y COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA EN LLOSTAY - CERRO PABELLONES



UBICACIÓN DEL ÁREA



VI.- Areniscas grises, de grano fino a medio, en estratos delgados de 10 cm., con secuencias pelíticas de limoarcillitas y limolitas, fósiferas; se intercalan con lavas afaníticas de varios metros de espesor. E-O, 40°N.

V.- Intrusivo blanco rojizo, de composición granítica, grano medio a grueso, inequigranular. **Muestra N° 49**

IV.- Areniscas beige con tonos rojos a amarillentos, grano medio, algunas con bandeamiento, en estratos de 20 cm., bien estratificados.

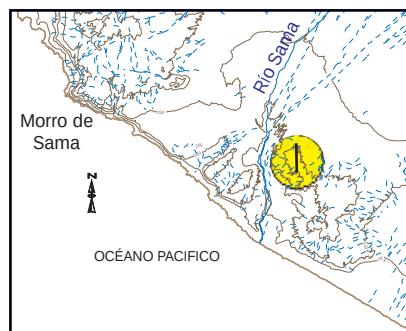
III.- Cuerpo subvolcánico, traquítico, color crema con tonos rojizos, con abundante feldespato alcalino y cuarzo; es una secuencia masiva, aparentemente sin una estratificación definida, presenta oxidación superficial, y estructuras columnares. **Muestra N° 28.**

II.- Secuencia sedimentarias con algunos niveles volcánicos. Los facies sedimentarias son areniscas grises de tonos rojizos a amarillentos, de grano fino a medio, en estratos delgados de 10 cm. , escasa presencia de carbonatos, en algunos casos matriz arcillosa; algunos niveles de areniscas gruesas cerca de contacto con el cuerpo subvolcánico; Intercalación con niveles con lavas afaníticas de 1 m. de grosor a manera de sills.

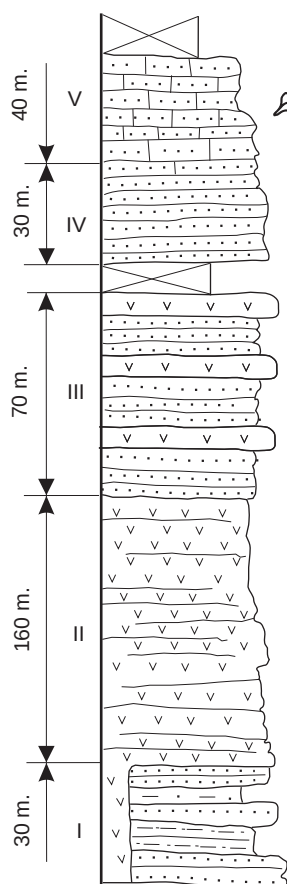
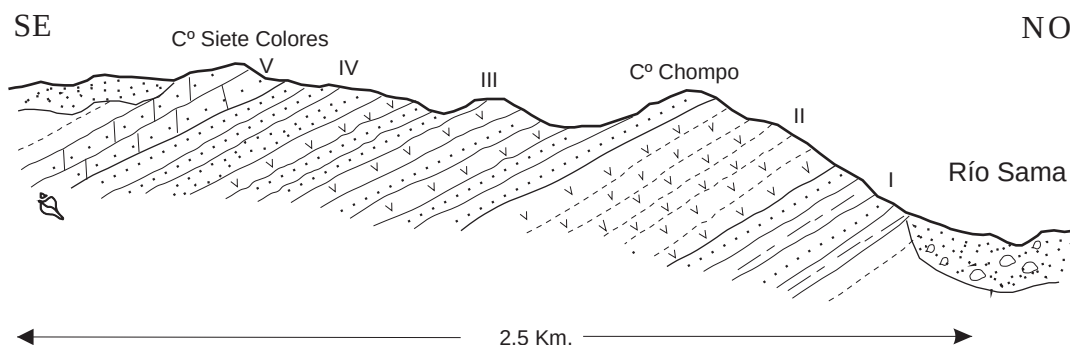
I- Lavas de composición andesítica, gris oscuras, mayormente porfíricas, pseudoestratificadas Tiene un rumbo aproximado noroeste, **Muestra N° 27**

Fig N°6. Perfil estructural y columna litoestratigráfica en cerro Pabellones

SECCIÓN Y COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA EN CERROS CHOMBO - SIETE COLORES



UBICACIÓN DEL ÁREA



V.- Areniscas calcáreas (Calcarenitas), amarillentas a beige, de grano medio, en estratos delgados de 15 cm., algunos moldes de fósiles mal conservados, N75°O, 30°NO.
Muestra N° 39

IV.- Areniscas beige con tonos rojos, grano medio, bandeadas en estratos delgados de 20 cm., bien estratificados. N20°E, 40° NO

III.- Secuencia de areniscas beige de grano medio a fino, bien estratificadas en estratos de 10 - 20 cm., N80°O, 30°NE; se intercalan con algunos niveles lávicos de 1m - 2m. a manera de sills, y de textura afanítica. Existen niveles de alteración, carbonatos, y Hierro en cuerpos tabulares de 2 m. de ancho.

II.- Secuencia potente de lavas andesíticas gris verde, intercalándose niveles afaníticos de 10 - 20 cm., con secuencias de lavas más porfiríticas de 20 - 30 cm., su estratificación no es muy clara.
Muestra N° 30

I- Areniscas oscuras de grano fino a medio en estratos de 10 cm., lodolitas y arcillitas en estratos finos.

Fig N°7. Perfil estructural y columna litoestratigráfica en cerro Chombo

3.1.3.2. PETROGRAFÍA

Los niveles volcánicos en este sector están representados por cuerpos tabulares a manera de sills, de composición andesítica, porfírica; la plagioclasa se encuentra como fenos de 0.5 y de 1-2 mm., además con una alteración moderada a micas; el cuarzo que predomina es el secundario, anhedral y en agregados, observándose también cuarzo microcristalino ; presencia de piroxeno en fenos medianos; algunos niveles presentan fuerte oxidación y altos porcentajes de minerales opacos (pirita, calcopirita, etc), así como de minerales de alteración. Las secuencias sedimentarias son areniscas, conglomerados, calizas y lutitas. Las areniscas son mayormente maduras, de colores beige con tonos rojizo, de grano medio (~0.3 mm), subangulosos a redondeados, y clastos con empaquetamiento flotante a tangente; algunos niveles muestran matriz calcárea y clastos de plagioclasa y cuarzo orientados en un sentido de flujo, lo que provoca que microscópicamente tengan un bandeamiento. Los conglomerados están compuestos por clastos cuyo tamaño varía entre cantos (~2 mm.) y bloques (~5-120 mm), se hallan subangulosos a redondeados, y con un empaquetamiento tipo flotante. Las calizas se hallan bastante restringidas, con granos de micrita recristalizada, presenta inclusiones de cuarzo y plagioclasa, asimiladas por la caliza seguramente por gravedad. Las lutitas se encuentran en ciertos niveles entre las areniscas, son limolitas de color beige oscuro y de grano grueso a fino.

Además existen varias secuencias que corresponden a cuerpos subvolcánicos, estos son mayormente de texturas porfíricas, de grano grueso, y de composición andesítica en su mayoría; una excepción es la muestra Nº 28, de color beige, con tonos rojizo por la oxidación, de composición traquítica-riolítica, con altos porcentajes de feldespato potásico en la matriz microcristalina, cristales de plagioclasas y cuarzo,

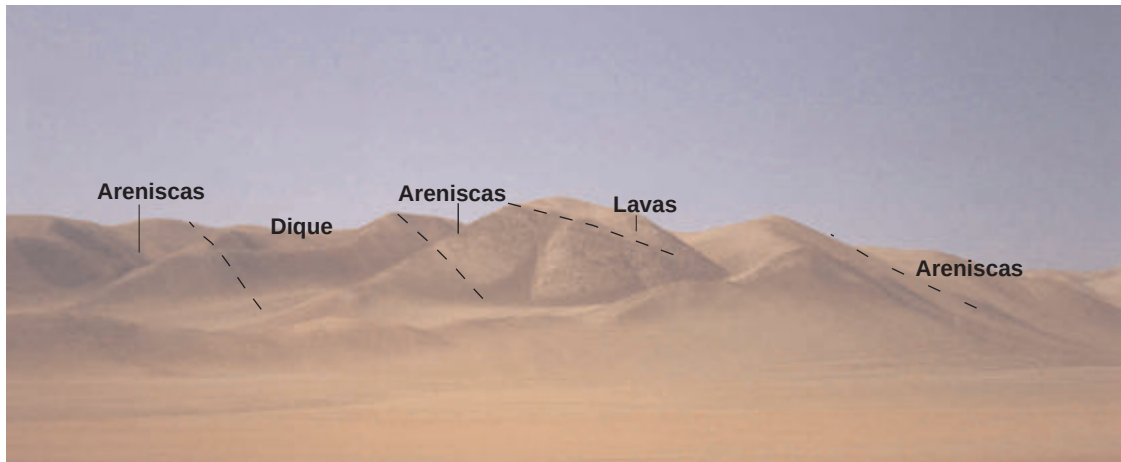


Foto N° 9. Vista hacia el norte de los cerros Miraflores, y la intercalación de areniscas, y diques volcánicos de la Formación Guaneros

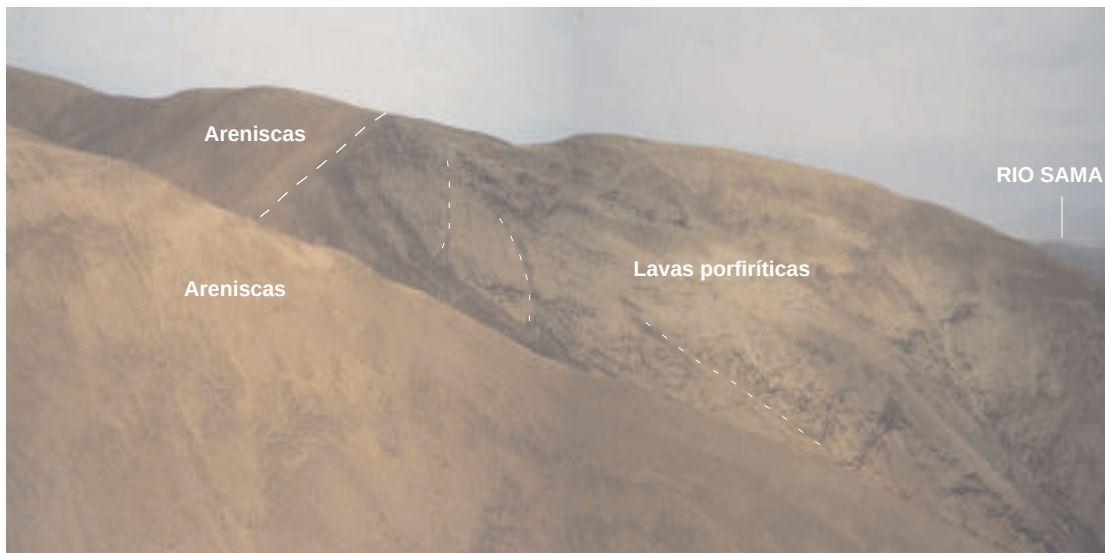


Foto N°10. Contacto entre lavas andesíticas porfiríticas y areniscas de la Formación Guaneros, en el cerro Chombo. Vista hacia el suroeste

FORMACIÓN GUANEROS		
NIVEL INFERIOR	Brechas, lavas basálticas, andesitas,	Lavas andesíticas, tobas; intercalación con areniscas, conglomerados
NIVEL MEDIO		
NIVEL SUPERIOR	Areniscas finas, limolitas, calcarenitas	

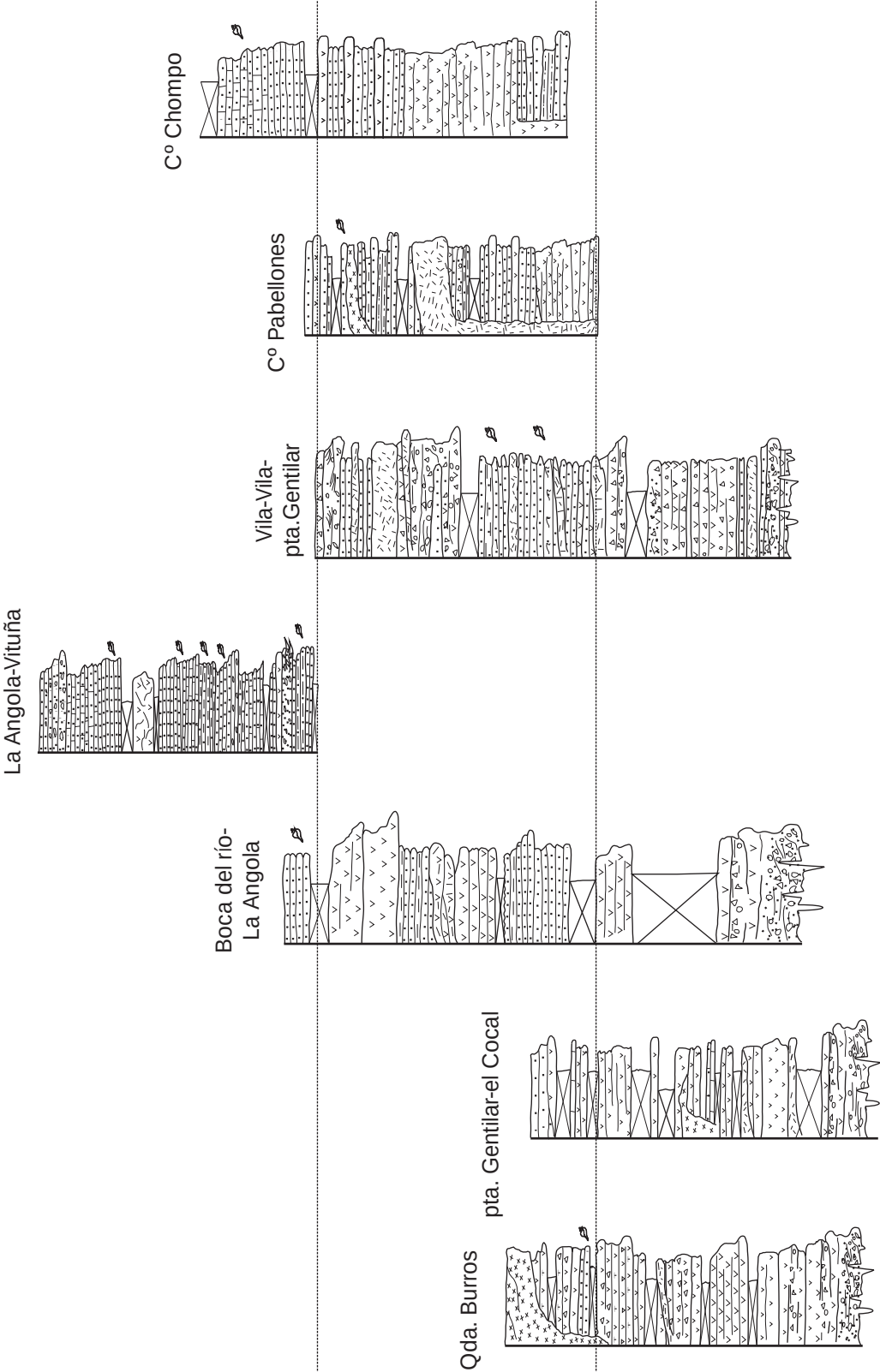


Fig N° 8. Estratigrafía general de la zona de trabajo

3.2. ROCAS INTRUSIVAS PLUTÓNICAS

Se han encontrado cuatro cuerpos plutónicos expuestos:

- a) Al norte de la región de estudio, formando los cerros La Tranquila, Batancito, Meca, Chiquita y Torillo Muerto.
- b) El ubicado a la derecha de la desembocadura del río Sama, al costado de la carretera Panamericana.
- b) En los cerros Punta Colorada.
- c) En los cerros Miraflores

Los afloramientos mayores son los de La Tranquila, Batancito, Meca, Chiquita y Torillo Muerto, con una área de aproximadamente 45 km², y un ancho mayor a los 18 Km., formando parte de una cadena de cuerpos intrusivos de grandes dimensiones que aflora desde la zona de Tambo en Arequipa, y que formaría parte del llamado Batolito de la Costa, asignados a la Super Unidad Ilo, (INGEMMET, 2000). Las observaciones de campo se hicieron a lo largo de la quebrada Callejones; en cerros La Tranquila las rocas son mayormente de composición mayormente diorítica, de grano fino, holocristalina, de grano medio a fino, y con variaciones locales en su contenido de feldespato potásico y está cortada por algunos diques de composición andesítica, una muestra de este cuerpo (*muestra N° 31*) fue clasificada como cuarzo monzodiorita. Hacia el oeste, varía a una roca de grano más fino, con porcentajes altos de feldespato potásico, bien cristalizado, aparentemente inalteradas; intercalándose con las granodioritas; cerca de cerro Bravo las rocas muestran gran alteración, petrográficamente presentan plagioclasa, cuarzo secundario que rellena oquedades, y una matriz rojiza predominante; hasta la zona entre los cerros Pelado, donde se aprecian las primeras lavas y tobas.

La muestra N° 56 (Caleta el Morro) forma parte del mismo cuerpo intrusivo, la roca es de color blanco gris claro, textura inequigranular, y petrográficamente es clasificada como una diorita. Como referencia, en el trabajo de Narváez (1964) el muestreo del flanco norte del cerro Chiquita, da una roca intrusiva holocristalina, de textura granular, compuesta principalmente de andesina. diópsido, titanita y clorita; clasificada como una diorita diopsídica.

El afloramiento del río Sama forma un pequeño morro que sobresale de la topografía circundante; la roca es de color gris claro, de composición diorítica, de grano grueso, holocristalina, y compuesta de plagioclasas, minerales máficos

como hornblenda y algo de cuarzo; de acuerdo al estudio microscópico (*muestra N° 38*) se le clasificó como cuarzo diorita.

El tercer cuerpo, ubicado en los cerros Punta Colorada (*muestra N° 8*), es una roca clara, de textura inequigranular hipidiomórfica, de composición tonalítica, que intruye a las lavas y areniscas de la Formación Guaneros.

Otro cuerpo intrusivo, se encuentra en los cerros Miraflores, es una roca gris parduzca, de grano medio, textura inequigranular, hipidiomórfica con presencia mayoritaria de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa; microscópicamente se le clasificó como un sienogranito.

De acuerdo a sus minerales, los cuerpos intrusivos plutónicos más significativos son esencialmente de composición diorítica, pero con ciertas variaciones principalmente en su contenido de feldespatos alcalinos.

Geoquímicamente, los diagramas de REE de los intrusivos de Punta Colorada (*muestra N° 8*), y de la caleta el Morro (*muestra N° 56*) muestran una gran correlación, enriqueciéndose en los elementos más ligeros; para el diagrama multielemental, también hay una buena correspondencia, excepto que la muestra N° 56 tiene una caída notoria en Zr y Hf respecto de la N° 8; basándose en estos diagramas y en la petrografía, dichos cuerpos intrusivos seguramente tuvieron una misma génesis o por lo menos muy similar, por lo que al igual que la muestra de Punta Colorada, los otros cuerpos de la parte sur de la zona de estudio, podrían constituir remanentes del gran cuerpo plutónico del norte, es decir de la Super Unidad Ilo. Los espectros geoquímicos de elementos menores indican que la evolución de las rocas intrusivas se desarrollaron dentro de un contexto geodinámico y tectónico similar al de las lavas del arco jurásico.

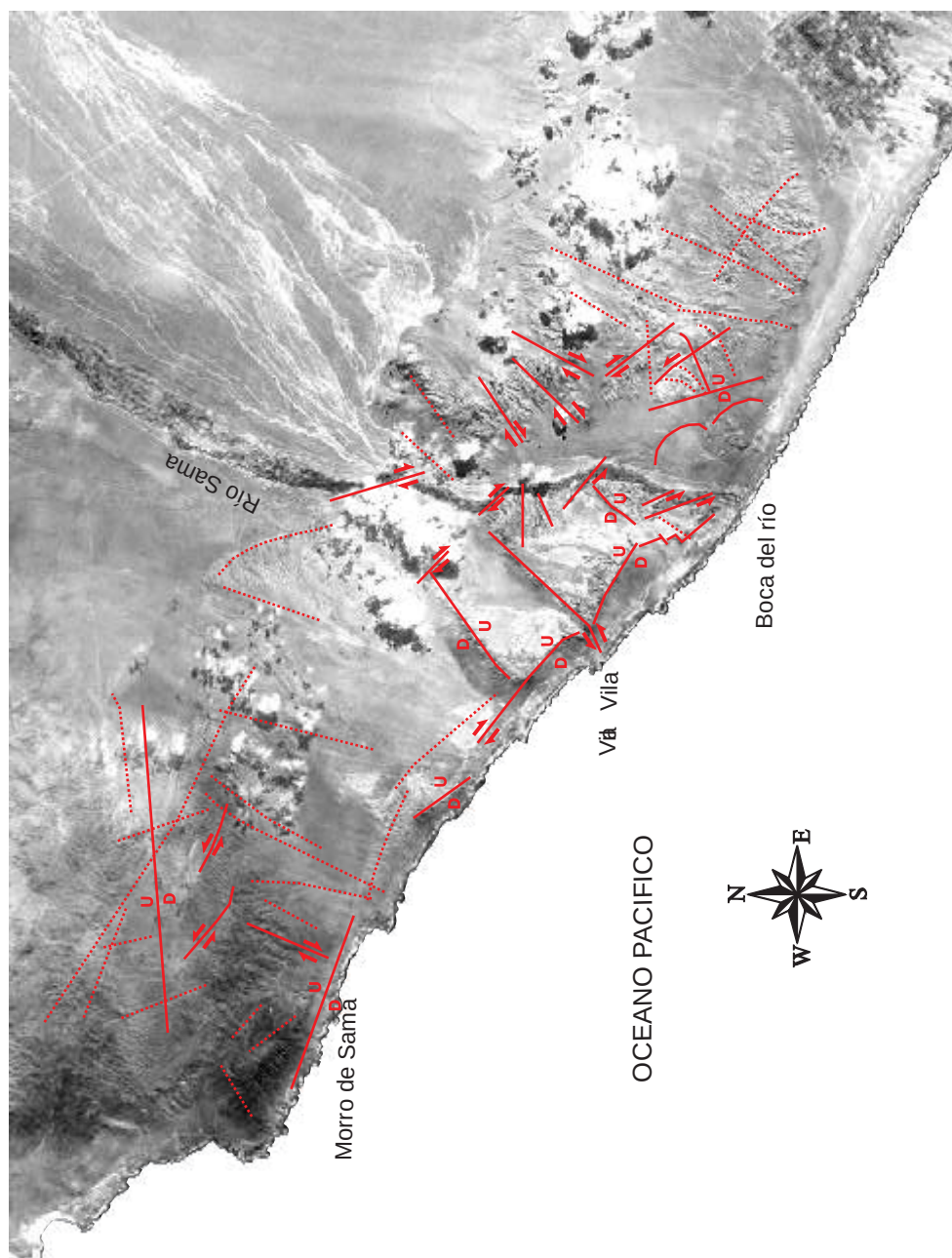
3.3. RASGOS ESTRUCTURALES

La cobertura cuaternaria en la región de estudio hace difícil identificar en el campo los rasgos tectonoestructurales de la zona, las zonas de falla se hallan casi siempre cubiertas.

En base a las fotografías aéreas e imágenes de satélite, se han diferenciado los diferentes lineamientos en la zona estudiada (*mapa N° 5*); siendo de mucha ayuda en el entendimiento del régimen estructural que allí predomina. De acuerdo a esto, se presentan dos direcciones predominantes son NNE y NNO; algunas estructuras tienen formas escalonadas propias de sistemas de

transcurrencia y transtensión. El sistema NNE es de rumbo similar a los del norte (falla El Abra, Los Chilenos), y son mayormente gravitacionales; esto pudo haber contribuido a que se formen depresiones a manera de grabens, hoy en día cubiertas por material cuaternario (pampas), y a que se genere una geometría desigual, con el bloque del norte más elevado que el del sur.

Algunos de los efectos combinados que la tectónica puede causar se observan en la franja costera al norte del río Sama; dicho sector debió haber sufrido rotaciones antihorarias que provocaron un cambio en el rumbo de las estructuras de NNO a NNE, posteriores esfuerzos transpresivos de componente siniestral afectarían gran parte de la región, y finalmente fallamientos gravitacionales provocarían la “caída” de la línea de costa a su posición actual; mas aún algunos rasgos topográficos actuales como la disposición del río Sama y disposición de los afloramientos indican que hubo una notoria influencia de la tectónica de transcurrencia, propio de regiones afectadas por la subducción. El bloque al sur del río Sama, constituye un afloramiento relativamente estable, no está muy afectado por fallamientos como si lo están el sector central y norte; no se aprecian grandes estructuras plegadas o deformadas; por lo que cabe decir que el sector donde hoy se emplaza el Sama se comportó en un momento como un gran control tectónico, que no permitió que las estructuras del norte se propaguen hacia el SO.



Mapa N°5 . Mapa de fallas (líneas rojas continuas) y lineamientos (discontinuas), sobre una imagen Landsat en escala de grises (banda 4)

CAPITULO IV

GEOQUÍMICA

4.1. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES

4.1.1. ELEMENTOS MAYORES

Se definen como elementos mayores constituyentes de una roca a aquellos que se encuentran en altas concentraciones de las mismas (generalmente por encima del 1%), aunque pueden ocurrir en porcentajes bajos; y además constituyen los principales elementos formadores de minerales. Por lo tanto corresponden al primer grupo anteriormente definido. Los resultados del análisis químico de rocas se expresan normalmente en óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , etc.), esto se debe a la tradición heredada de los químicos anteriores y porque en las rocas sus elementos se agrupan en compuestos oxigenados, haciéndose más práctico su tratamiento.

4.1.2. DISEÑO DEL MUESTREO

Para la geoquímica por elementos mayores se han tratado 29 muestras del total de 42 muestras para análisis geoquímico (*mapa N° 6*), teniendo en cuenta los criterios de representatividad, tanto en amplitud geográfica como de niveles estratigráficos, intentando que los resultados nos reflejen las variaciones evolutivas laterales y verticales del magmatismo que ha dado lugar a las secuencias volcánicas del jurásico. Debido al grado de alteración que presentan las muestras en la zona, se escogieron las que tuvieran un nivel aceptable de no alteración, basándose en el contenido de carbonatos a nivel macroscópico y al estudio de las secciones delgadas; aún así muchas muestras se presentan alteradas, como se observan en los resultados; pero pueden ser tomadas como referenciales.

Se han dividido el total de muestras en 4 series (*mapa N° 6*):

- a.** Serie Morro Sama
- b.** Serie Punta Colorada - Moreno
- c.** Serie Río Sama
- d.** Serie Pabellones-Miraflores

Mapa N°6. Mapa de ubicación de muestras geoquímicas, con análisis por elementos mayores

4.1.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y MÉTODOS DE ENSAYO

La preparación de las muestras se llevó a cabo en los laboratorios de Química Analítica de INGEMMET. El método de determinación fue el de digestión ácida por absorción atómica.

En la preparación de muestras los pasos llevados a cabo fueron:

- a.- Molienda de la muestra, obteniendo una pulpa homogénea de unos 50 g. aproximadamente.
- b.- Se trabaja con un 1 gr. de muestra y se le disuelven con 2 ml. de HCl y 1 ml. de HNO_3 .
- c.- Se agrega 3 ml. de HF a 110°C por 2 horas; para luego dejar enfriar
- d.- En una fiola aparte se les agrega HCl y H_3BO_3 y agua deionizada.
- e.- De la solución anterior se tomarán las alícuotas para cada elemento con adición de los supresores para cada elemento.
- f.- Se hace la determinación analítica en un equipo de absorción atómica con flama N_2O -acetileno para los elementos refractarios como Si y Al, y flama de aire- acetileno para los otros elementos.

4.1.4. CLASIFICACIONES GEOQUÍMICAS

4.1.4.1. CONTENIDO DE SÍLICE

Se basa en el porcentaje de Sílice que contenga la muestra:

Rocas ácidas: SiO_2 mayor a 66%

Rocas intermedias: SiO_2 entre 52% y 66%

Rocas básicas: SiO_2 entre 45% y 52%

Rocas ultrabásicas: SiO_2 mayor a 45%

La *figura N° 9* representa porcentajes de rocas ácidas, intermedias y básicas. La *fig. N° 11* plotea SiO_2 vs. Álcalis; donde se pueden definir el rango para cada muestra.

4.1.4.2. CLASIFICACIÓN TAS

La clasificación TAS (total Álcali vs. Sílice), es la más usada en geoquímica rocas volcánicas (*Le Maitre et al., 1989*)

De acuerdo a esta clasificación TAS, la *fig N° 12*, muestra la distribución de muestras y su nomenclatura, y se le resume en la tabla N° 3. Tomándolo como referencia, se, representa la abundancia de rocas (*fig N° 10*) en base a su nomenclatura.

4.1.5. CLASIFICACIONES EN SERIES

Las figuras N° 13A y 13B, muestran los patrones geoquímicos de acuerdo a los diagramas **Álcalis-SiO₂** (modificado por McDonald y Katsura, 1968*); **AFM** (Tiley*); y **K₂O-SiO₂** (Pecerillo y Taylor de 1976*) en la figura N° 14.

*En: Fernández, S.; Hernández, A. (1991).

4.1.6. DIAGRAMAS DE VARIACIÓN HARKER

Representan la variación del quimismo que se da en un magma; utilizando originalmente el porcentaje en peso del SiO₂ en las abcisas y el porcentaje en peso de los óxidos en las ordenadas. Fig N° 15 y 16

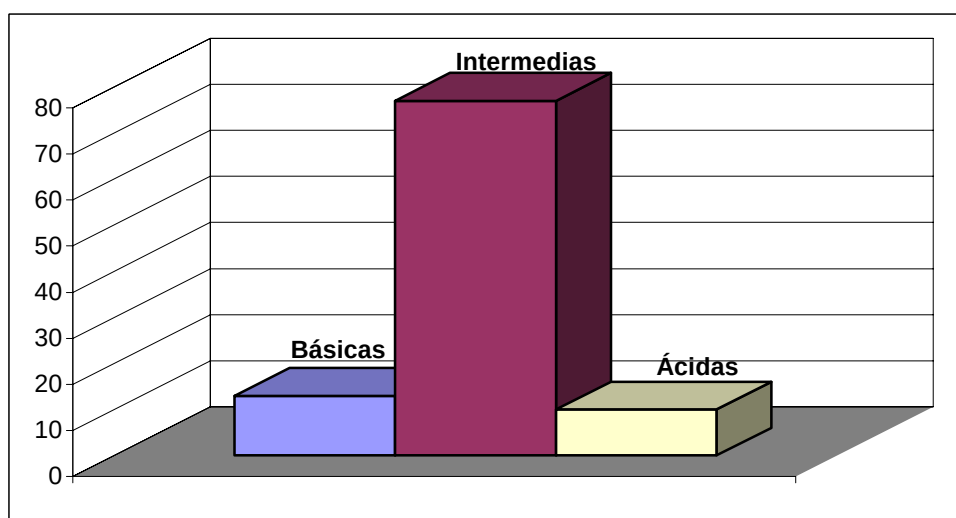


Fig. N° 9. Porcentajes relativos de abundancia de rocas básicas, ácidas e intermedias, de acuerdo a su porcentaje de SiO₂

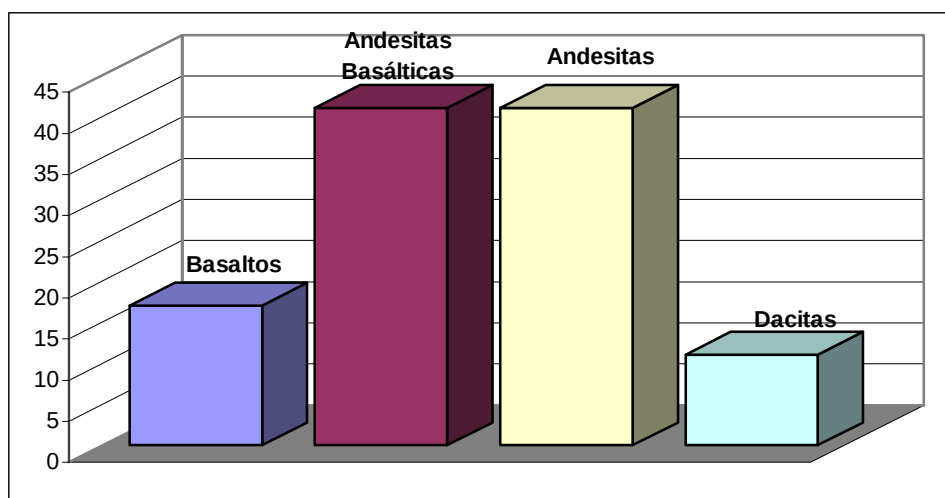


Fig. N° 10. Representación de la abundancia porcentual de los diferentes tipos de rocas volcánicas.

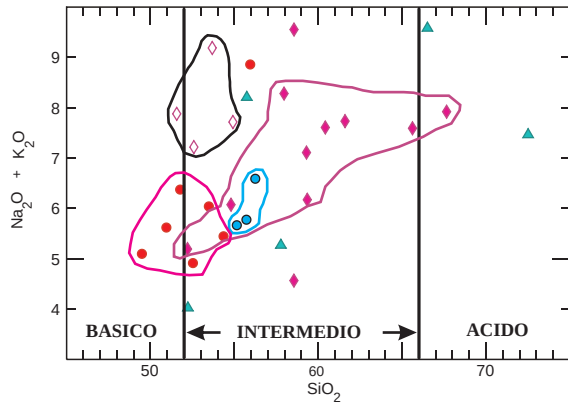


Fig. N°11. Diagrama que muestra el carácter químico de las muestras en base al contenido de SiO₂

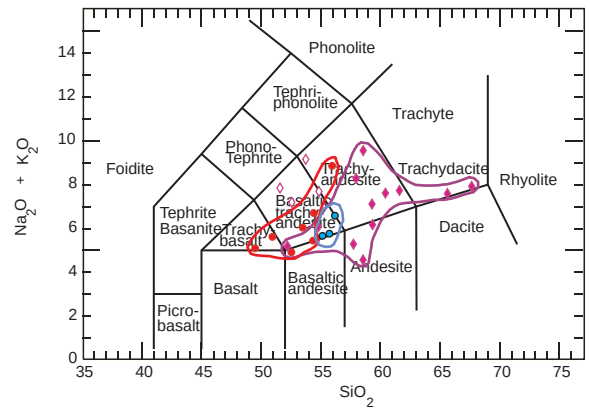


Fig. N°12. Diagrama de T.A.S. para clasificar rocas volcánicas. Le Bas & Streckeisen (1991)

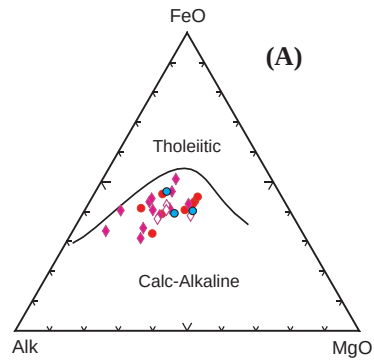


Fig N°13. A. Diagrama Alcalis - SiO₂; que diferencia entre magmas de serie alcalina o subalcalina; según Irvine y Baragar.
B. Diagrama AFM que discrimina la subserie calcoalcalina de la toleítica.

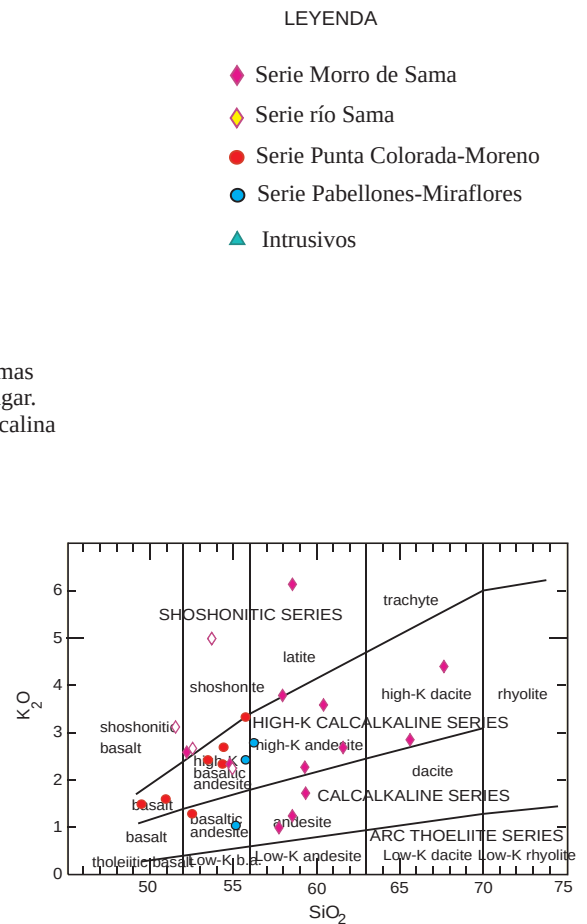
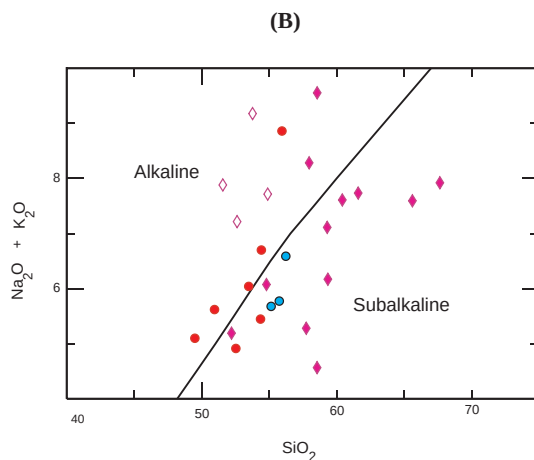


Fig N°14. Diagrama de Peccerillo y Taylor, para series magmáticas; al igual que el gráfico 13 B hay gran dispersión por Potasio.

DIAGRAMAS DE HARKER - I

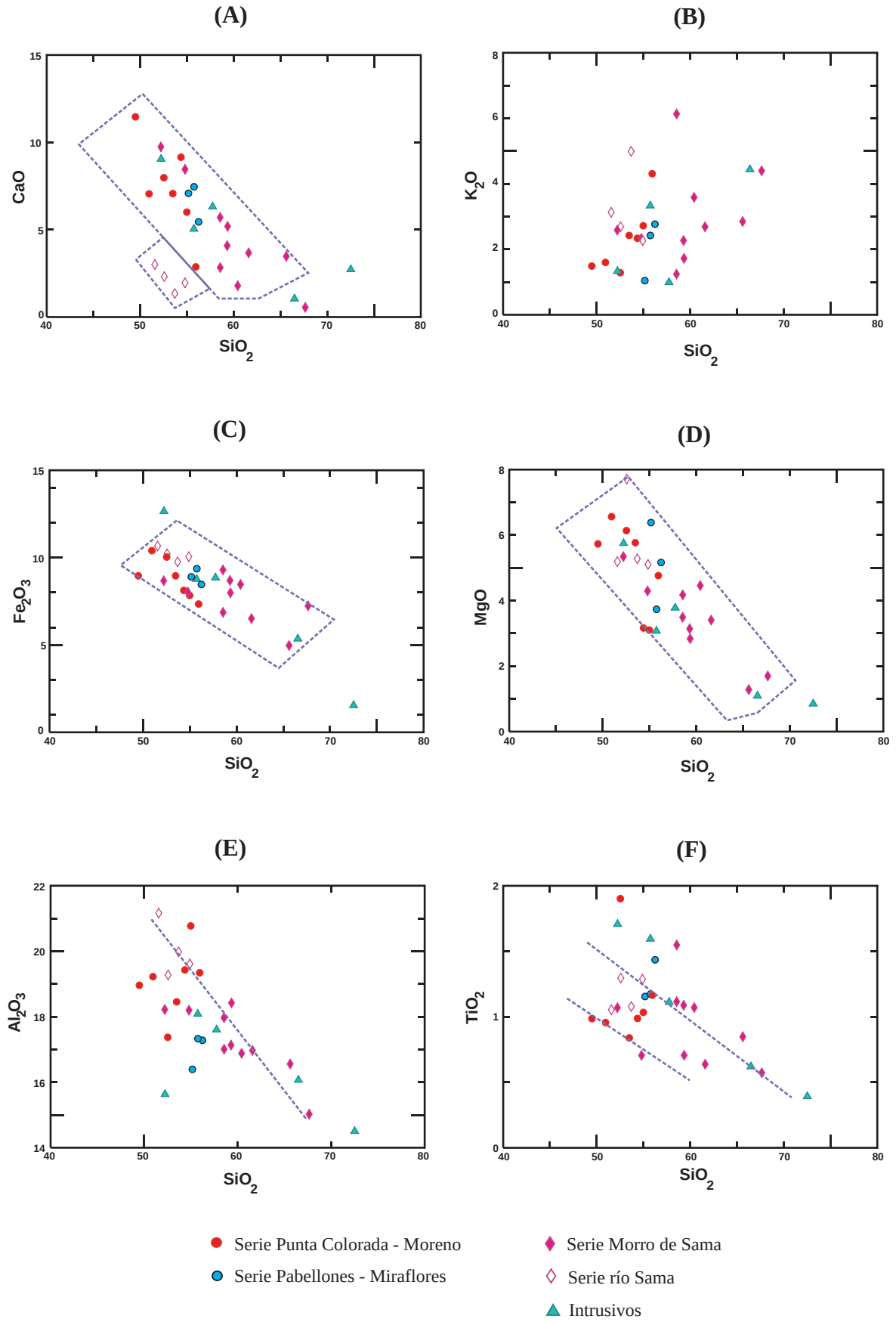


Fig. N°15. Diagramas de Harker del CaO , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , y TiO_2 vs. SiO_2

DIAGRAMAS DE HARKER - II

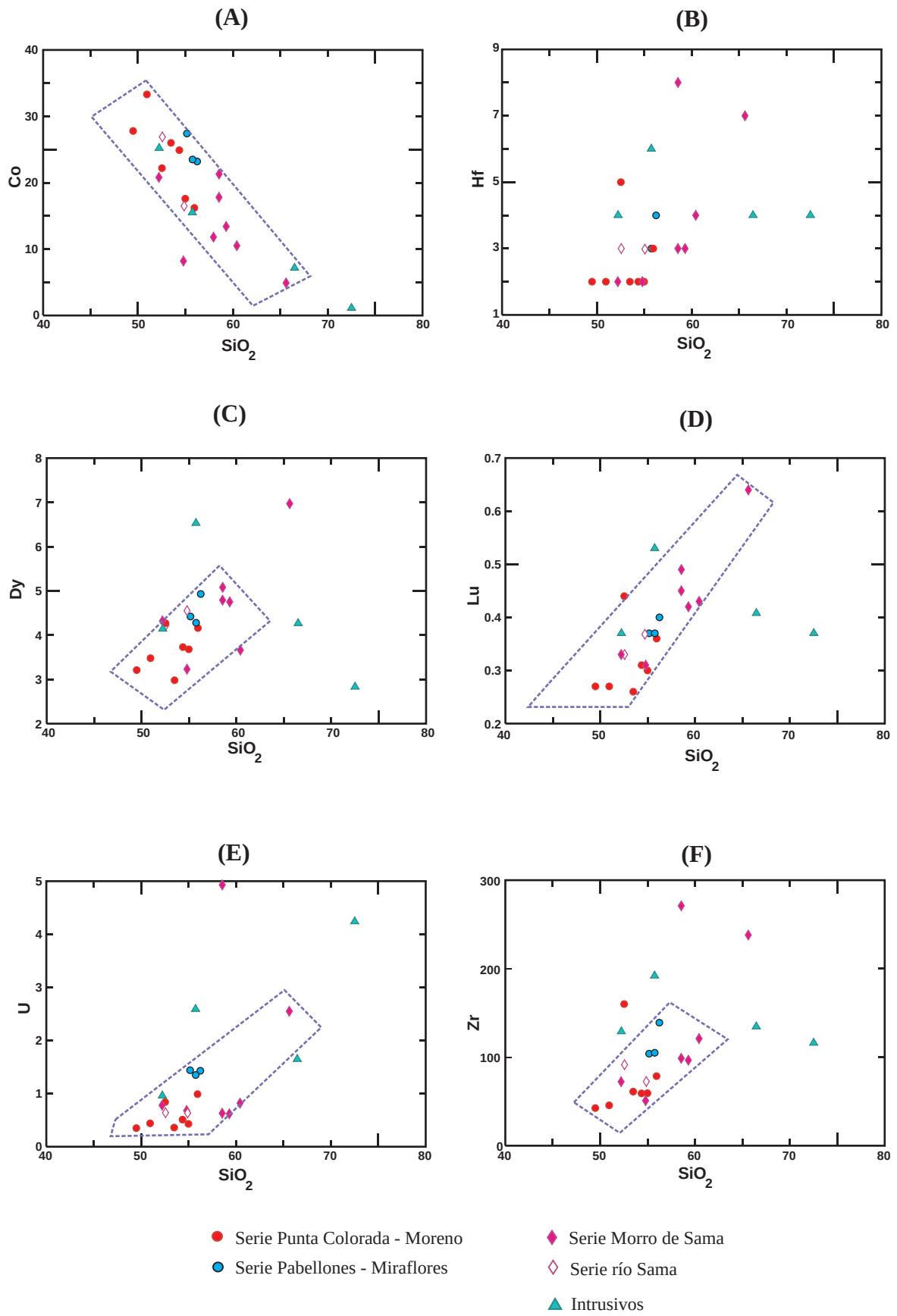


Fig. N°16. Diagramas de Harker de elementos menores: Co, Hf, Dy, Lu, U, y Zr vs. SiO_2

4.2. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZAS

4.2.1. ELEMENTOS TRAZA

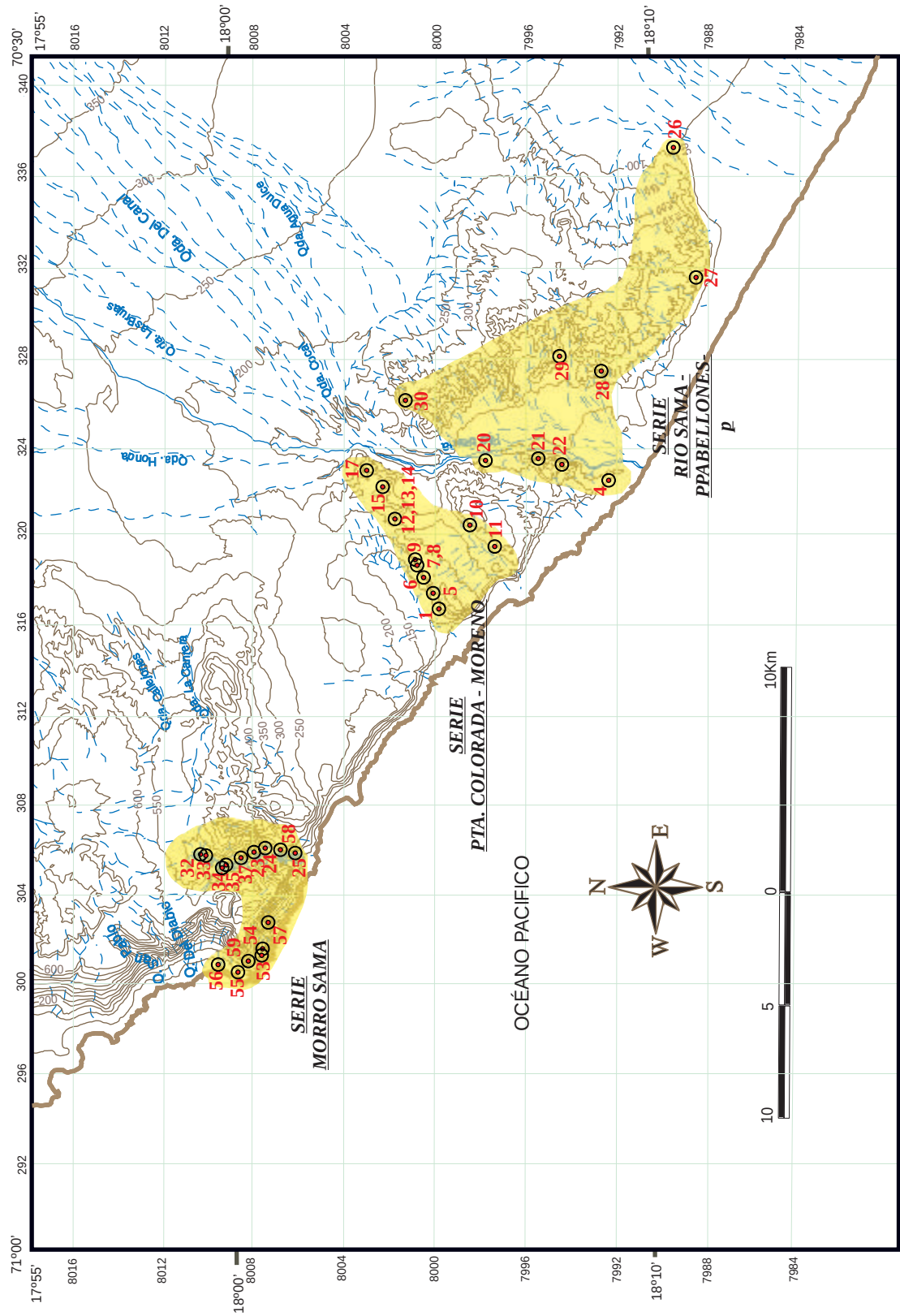
No hay una definición bien establecida para “elementos trazas”, sin embargo para sistemas ígneos y metamórficos se les suele definir como aquellos elementos que no son constituyentes estequiométricos de las fases en el sistema estudiado, y que al no ser parte de su fórmula ideal se les puede considerar “extraños” al mismo (*White, 2001*); son de comportamiento variable, en unos casos como “elementos incompatibles” (tierras raras y otros como Cs, Rb, K, Ba, Pb, etc), y en otros como “compatibles” (Cu, Co, Ni, Sc, V, Cr, etc).

4.2.1.1. ESPECTROS DE TIERRAS RARAS

Con la finalidad de mostrar gráficamente los valores de concentraciones de las tierras raras, se proyectan las abundancias de estos en diagramas binarios, colocando a los elementos en las abscisas y sus abundancias en las ordenadas, resultando los llamados Diagramas REE. La forma de un diagrama de REE nos da la idea de la profundidad de la fuente y del grado de fusión que ha sufrido. El grado de evolución de un magma se puede determinar en virtud si el diagrama de REE se parece al de la condrita, mientras más similar sea menos evolucionado será.

4.2.1.2. DIAGRAMAS MULTIELEMENTALES (SPIDERDIAGRAMS)

Los spiderdiagrams (diagramas tela de araña) o llamados también multielementales, son una extensión de los diagramas REE, por la mayor cantidad de elementos que plotea; por lo que se les puede considerar como un “diagrama patrón” de referencia con el cual se comparen las abundancias de los elementos de una roca en particular. Sin embargo este tipo de diagramas no se encuentran estandarizados; normalmente se ordenan los más incompatibles a la izquierda, y los menos a la derecha; igualmente dependiendo de los autores se tienen diferentes constantes de normalización



Mapa N°7. Mapa de ubicación de muestras geoquímicas, con análisis por elementos traza

4.2.2.DISEÑO DEL MUESTREO

Para la geoquímica por elementos trazas se han analizado 37 del total de 42 muestras volcánicas (*mapa N° 7*), teniendo en cuenta los criterios de representatividad, tanto en amplitud geográfica como de niveles estratigráficos. A diferencia de los elementos mayores, la cantidad de muestras tomadas es superior, incluyendo las que tienen alteración, esto debido a que en el caso de los elementos inmóviles (tierras pesadas), el grado de alteración no debería producir mayores resultados erróneos, sin embargo deben ser tratadas con cuidado y algunos casos deberán ser tomadas solo como una referencia (*muestras N° 32 a N° 35*)

Se han dividido en 3 series de muestras:

- a. Serie Morro Sama
- b. Serie Punta Colorada - Moreno
- c. Serie Río Sama-Pabellones

4.2.3.MÉTODOS DE ENSAYO

La preparación de las muestras se llevó a cabo en los laboratorios de SGS Canadá Inc. El método de determinación usado fue el de espectrometría multielemental de emisión inductivamente activada acoplado, (Whole Rock Add-on to ICP95), en un esquema MS95.

Para los diagramas de tierras raras, estos fueron normalizados a la condrita de Nakamura de 1974^(*) y de Sun y McDonough de 1989^(*). *Fig N° 17A, 18A, 19A, 20.*

Los diagramas multielementales del manto primitivo están normalizados según los valores dados por Sun y McDonough. *Fig N° 17B, 18B, 19B y 21* El diagrama ternario usado es el de Pearce^(*) (*fig N° 22*), donde se usan los elementos mayores que son mas inmóviles (Al, Fe, Mg); se plotó también en un diagrama binario Nb, Y (*fig N° 23*); ambos diagramas son usados como discriminantes en ambientes tectónicos.

^(*) En: *Wilson (1989) y White (2001).*

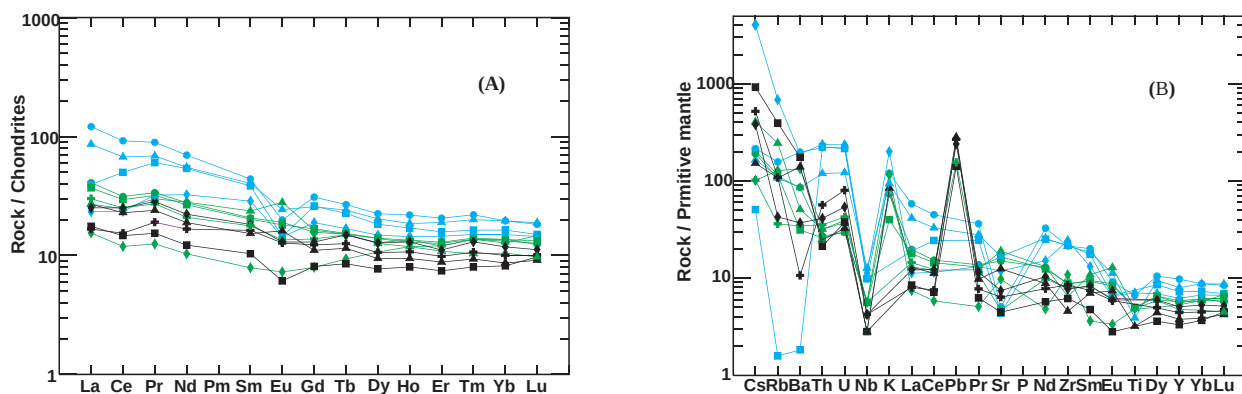


Fig N°17. A. Espectro de REE (condrita de Nakamura) de la serie Morro de Sama (Qda. de Burros)
 B. Spiderdiagram(según Sun & Donough) de la serie Morro de Sama (Qda. de Burros).
 Muestran patrones bastante similares: enriquecimiento en REE ligeras, depreciación en Europio y en Nb, aumento en Pb y alta dispersión de alcalinos. Valores de Nakamura y Sun & Donough en Wilson (2001)

LEYENDA (fig N°17)

Nivel superior ▲ 32 ■ 33 (*) ◆ 34 ● 35 (*)
 Nivel medio ■ 23 ◆ 24 ● 25 + 58 ▲ 37
 Nivel inferior ▲ 53 ■ 54 ◆ 55 + 59

(*): tobas litocristalinas

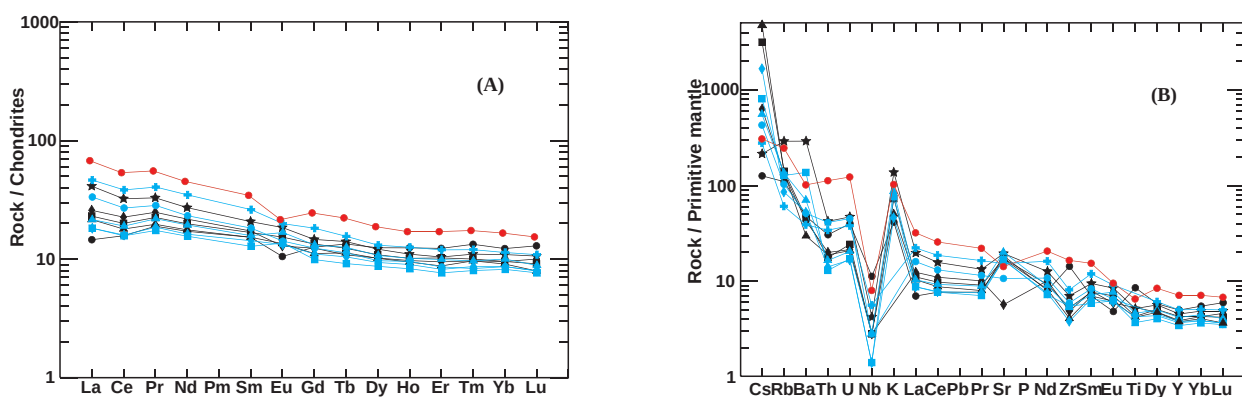


Fig N°18. A. Espectro de REE (condrita de Nakamura) de la serie Pta. Colorada-Moreno
 B. Spiderdiagram(según Sun & Donough) de la serie Pta. Colorada-Moreno
 Sus patrones son bastante similares: enriquecimiento en REE ligeras, depreciación en Europio y en Nb, alta dispersión de alcalinos (K, Cs, Rb). Valores de Nakamura y Sun & Donough en Wilson (2001)

LEYENDA (fig N°18)

Nivel superior ◆ 14 ▲ 12 + 17 ■ 13 ● 15
 Nivel inferior ▲ 1 ■ 5 ◆ 6 ● 7 ★ 10 ● 11(*)

(*) flujo subvolcánico asociado a Guaneros

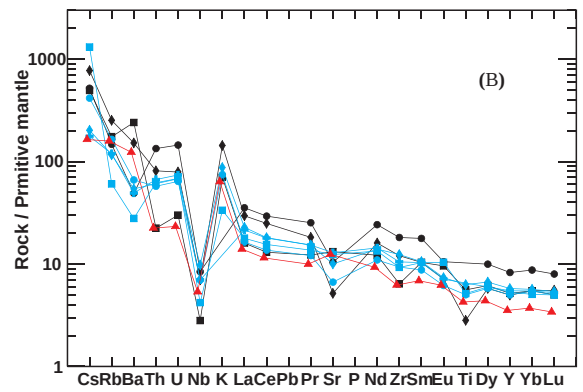
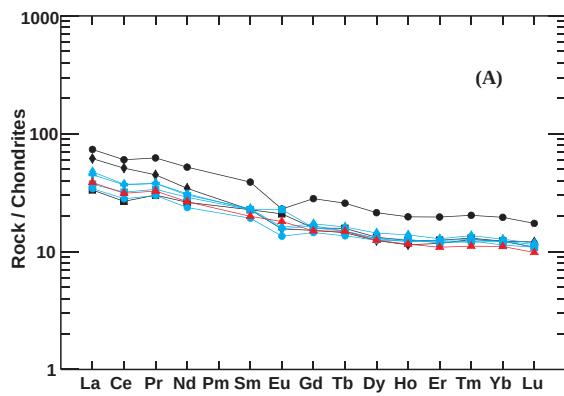


Fig N°19. A. Espectro de REE (condrita de Nakamura) de la serie río Sama - Pabellones
B. Spiderdiagram(según Sun & Donough) de la serie río Sama - Pabellones

(*) flujo subvolcánico asociado a Guaneros

LEYENDA

Sama	Pabellones
■ 20	■ 26
◆ 21(*)	◆ 27
● 22(*)	● 29
▲ 04	⊕ 30

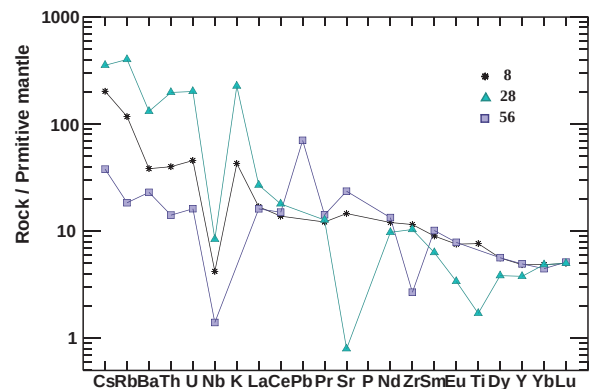
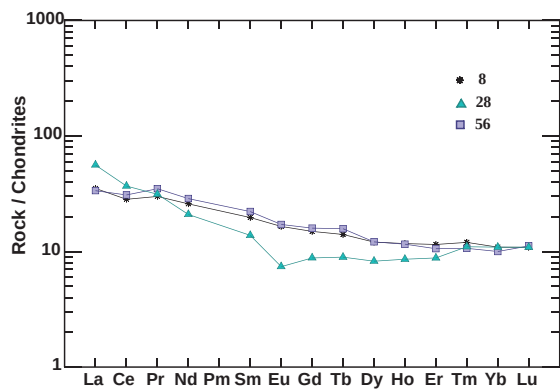


Fig N°20. Diagrama de REE según Nakamura de los intrusivos y subvolcánicos

Fig N°21. Spiderdiagram según Sun y McDonough de los intrusivos y subvolcánicos

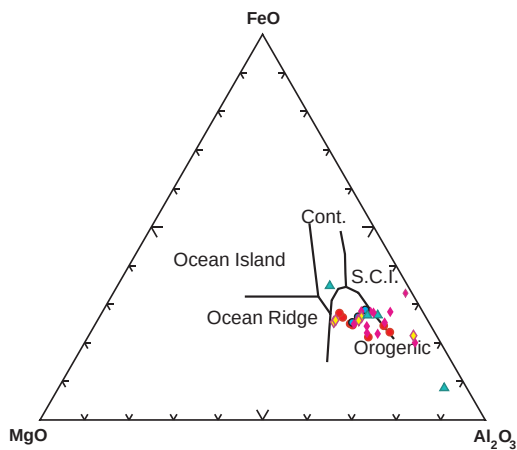
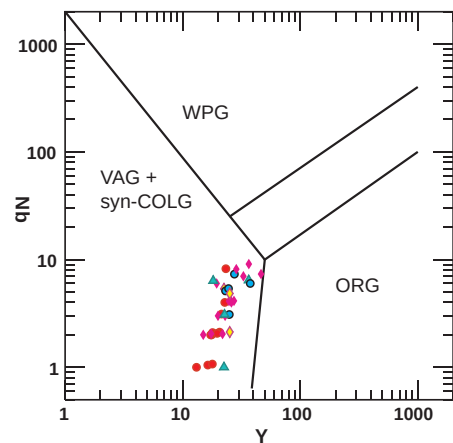


Fig. N°22. Diagrama MgO-FeO-Al₂O₃, propuesto por Pearce, et al; en base a elementos mayores para discriminar ambientes tectónicos. Pearce et al. en Fernández S., Hernández A.(1991)



WPG = granitos intraplaca
ORG = granitos de cordilleras oceánicas
VAG = granitos de arcos volcánicos
syn-COLG = granitos syn-colisiones

Fig. N°23. Diagrama Nb-Y, propuesto por Pearce et al; en base a elementos traza. Pearce et al. en Fernández S., Hernández A.(1991)

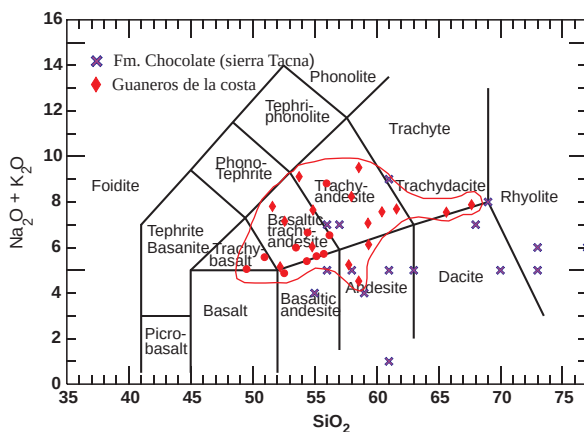


Fig. N°24. Diagrama T.A.S, para el volcanismo Guaneros de la costa y la formación Chocolate en la sierra de Tacna (datos modificados de Martinez et al, 2005) La secuencia Chocolate es notoriamente más ácida

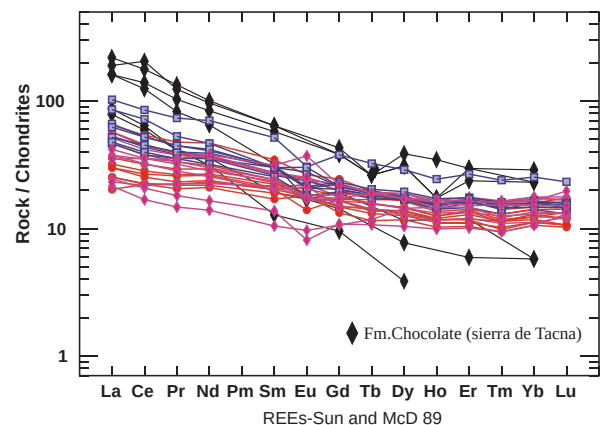


Fig. N°25. Diagrama de REE para el volcanismo Guaneros y la formación Chocolate de la sierra de Tacna El gráfico de la secuencia Chocolate muestra un mayor enriquecimiento en REE ligeras. La pendiente (relación La/ Yb) es mayor:
Pachia (La/Yb)_N:3-17
Palca (La/Yb)_N 6-17
La costa: (La/Yb)_N 0-4.
(datos modificados de Martinez et al, 2005)

4.2.4. RESULTADOS GEOQUIMICOS

Las rocas de la **serie Morro de Sama**, son mayormente andesitas y traquiandesitas, y sus contenidos de sílice varían entre 55% y 65%. Los porcentajes de álcalis tienen un rango bastante alto de dispersión; mientras que las correlaciones con el Fe, Mg y Al presentan igualmente cierta dispersión, aunque en menor grado; el titanio como elemento inmóvil puede ser un importante indicador.

Las muestras del nivel superior de Quebrada de los Burros (*muestras N° 32 y 34*), presentaban meteorización y recristalización; las muestras N° 33 y 35 son tobas litocristalinas, sin embargo fueron consideradas, pero con patrones ciertamente algo diferentes que el resto, elevados porcentajes de Zr, Sm, La, Hf, Er, U, Th, Gd, Cu, e incluso en los elementos menos móviles como Lu, Zr, Tm, Yb; esto marca un comportamiento que tiende a ser más alcalino en estas muestras, también podría explicar que la alta dispersión encontrada en los elementos mayores y especialmente los alcalinos; sin embargo, a pesar de sus diferencias, aún así conservan un patrón primigenio bastante semejante al resto.

En los diagramas de Harker, y diagramas de REE y Spiderdiagrams, hay un empobrecimiento en las tierras pesadas respecto de las ligeras; el nivel superior, tiene valores más altos que el resto para casi todos los elementos y hay deficiencia en europio (esta deficiencia indicaría que en la fuente hubo europio en forma de plagioclasa y que esta cristalizó previamente en rocas con gran contenido de este mineral, por lo que empobreció el magma residual); los LILEs tienen alta dispersión por efectos de la alteración, a pesar de esto el diseño muestra una depresión en Nb, y un pico en Pb, que podría llevar a pensar rápidamente en algún tipo de contaminación cortical, sin embargo, tales tendencias no son necesariamente producto de una contaminación debido a la corteza; resultados obtenidos para los isótopos Sr y Nd, no indican patrones de un componente cortical, lo que indicaría que es un magma derivado del manto (*Martínez, Cervantes; 2005b*).

La muestra 24 sin embargo, tiene valores de tierras pesadas mayores a las ligeras, además de una depresión para las tierras intermedias (Samario, Europio, Gadolinio, Terbio). A pesar de la salvedad hecha con el grupo de rocas hecho anteriormente, se puede decir que hay ligeras diferencias en la alcalinidad en ese nivel respecto de los otros; en el proceso de

diferenciación progresiva que sufrió el magma a través de la secuencia, pudo haberse llegado a un nivel máximo en la cristalización fraccionada (nivel superior), con ligeros cambios en la alcalinidad y probablemente mayor fraccionamiento de feldespatos; sin embargo, no hay motivos para pensar que el carácter geoquímico de este nivel sea diferente al resto o que el contexto tectónico en el que se formó la pila volcánica en algún momento haya variado.

La **serie Punta Colorada - Moreno** es la más básica (49 – 55% de SiO_2), la mayoría de muestras son basaltos (andesitas a traquiandesitas), teniendo patrones geoquímicos bastante uniformes; los diagramas de REE muestran un empobrecimiento en tierras pesadas y enriquecimiento en tierras ligeras, el subparalelismo que tienen también puede ser un indicador al igual que en Morro de Sama de una progresiva diferenciación (cristalización fraccionada), aunque bastante menor; en el spiderdiagram hay picos en K, Pb, y decaimiento en Nb; la andesita (*muestra 7*), tiene gran asociación geoquímica con la muestra 8 (intrusivo tonalítico) de la, ricas en Ti, Zr, respecto del resto de la secuencia; probablemente tengan algún tipo de relación genética, aunque sean mineralógicamente distintas.

Los volcánicos de las **series río Sama y Pabellones - Miraflores** son de composición intermedia (~55% de sílice), andesitas a traquiandesitas, la secuencia es bastante uniforme; respecto de las lavas inferiores de Punta Colorada y Moreno existe un “patrón evolutivo”, respecto de estos, la secuencia es más ácida y las REE ligeras tienen porcentajes mayores; a pesar de representar un cambio drástico en la litoestratigrafía, el diagrama multielemental muestra que al igual que los volcánicos Morro de Sama, estas lavas se desarrollaron dentro del mismo contexto tectono-estructural. Se aprecia en todas las secuencias un proceso de diferenciación para el magma para estas rocas en épocas jurásicas, que puede apreciarse en los elementos como Co, CaO, Fe_2O_3 , MgO, Al_2O_3 e inclusive en el TiO_2 ; los ferrogmanesianos tienen una relación inversa respecto de la sílice, a medida que se incrementaba los minerales silicatados (lo que supone una evolución en el magmatismo), el CaO, Fe_2O_3 , MgO y Al_2O_3 quedaban en el magma residual.

CAPITULO V

CONCLUSIONES GENERALES

EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

La evolución de la corteza en la zona de los Andes actuales, ha sido, por lo menos desde el periodo Triásico–Jurásico, producto de una larga interacción entre el sistema de placas subductantes del sureste Pacífico y la Sudamericana. Hace 150 M.a. aproximadamente era la placa denominada Aluk o Phoenix la que subducía bajo la placa Sudamericana; esta se caracterizaba por un ángulo de subducción bastante alto, y con dirección de convergencia aproximadamente hacia el SE esta última característica de oblicuidad aproximadamente ONO-ESE (siempre $>45^\circ$ respecto de la placa subductada), habría desarrollado un régimen tectónico general extensional a transtensional en la placa Sudamericana, (Romeuf, et al, 1995; Scheuber, et al, 1994, 2000; Pichowiak, 1994; otros).

Este proceso de subducción en el margen sur de Sudamérica generó en la costa un arco magmático que se habría iniciado hace aproximadamente 180 M.a., en el Jurásico inferior-medio (Martínez, 2006; Romeuf et al, 1995; Scheuber, et al, 194, 2000, otros); cuyos productos fueron Andesitas, Andesitas basálticas, basaltos, tobas, brechas y dacitas, de naturaleza intermedia a básica; y esencialmente calcoalcalina. La zona de mayor actividad del arco jurásico fue la actual costa de Perú y Chile; que construyó enormes edificios de material volcánico, que en ciertos sitios llegaron hasta los 5 Km. de grosor, y con un ancho que varió entre 60-100 Km. (Scheuber et al, 1994; 2000). Estos inmensos volúmenes de material derivado del manto, no habrían sido contaminados por la corteza continental preexistente, pero si provocaron un considerable incremento en ella; sin embargo no hubo engrosamiento cortical, la superficie del arco siempre se mantuvo relativamente cerca del nivel del mar; al mismo tiempo que se desarrollaba este tipo de volcanismo se depositaban las primeras secuencias marino someras (conglomerados, areniscas, grauvacas), inicialmente de escaso grosor, que se intercalaban con unas volcanitas, que van cambiando de naturaleza efusiva a explosiva; progresivamente hay una predominancia de sedimentos marinos de mayor profundidad como areniscas, calizas y lutitas, que suponen un llenado de la cuenca que se desarrolla completamente hacia el este, margen oriental del arco, hacia la zona tras arco.

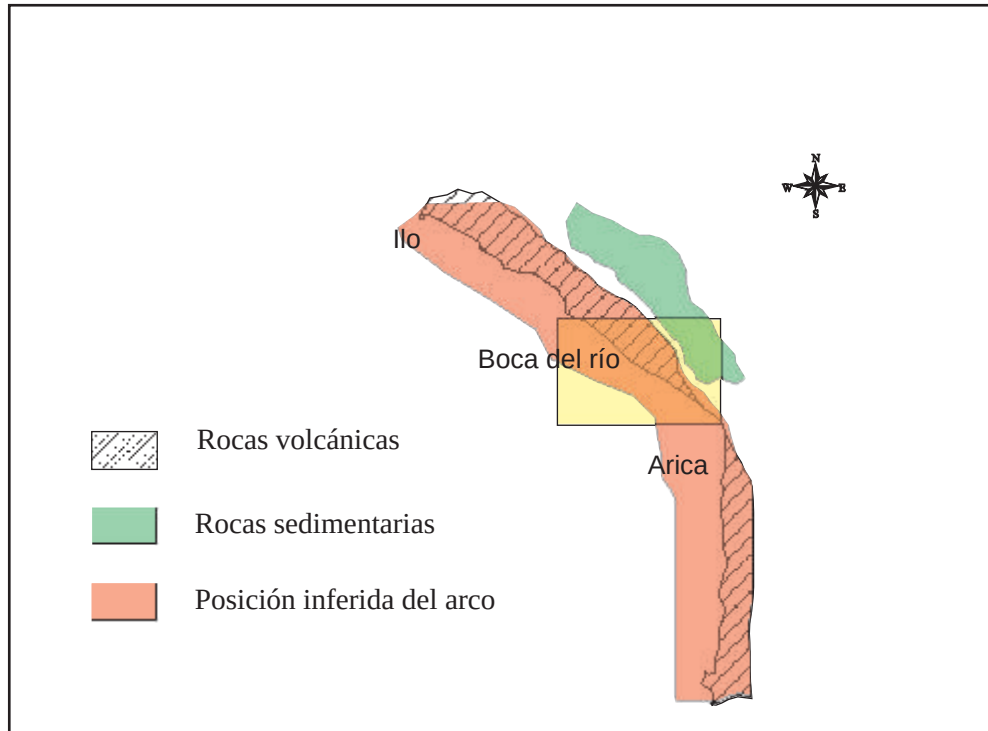


Fig. N°26. Paleogeografía del Jurásico medio, mostrando la posición aproximada del arco volcánico, mostrando la ubicación dentro del esquema de la zona de estudio

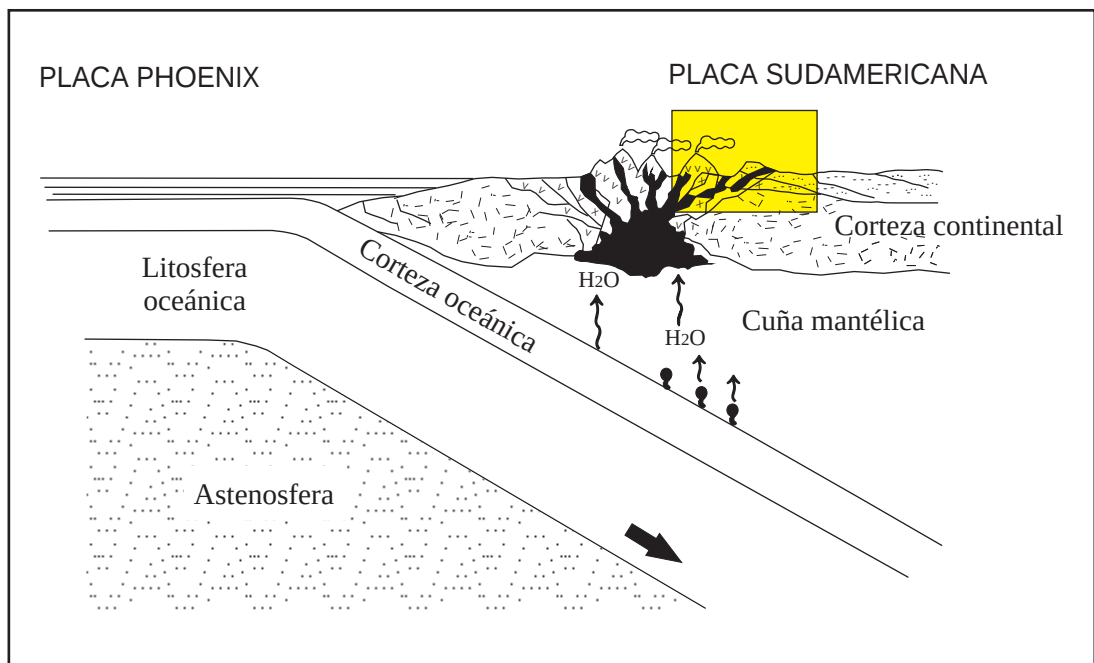


Fig. N°27. Modelo aproximado para el magmatismo durante el Jurásico medio (~150 M.a) dentro de un contexto de subducción, mostrando la probable ubicación dentro del esquema de la zona de estudio

CONCLUSIONES ESTRATIGRÁFICAS Y GEOQUÍMICAS

- El análisis estratigráfico y petrográfico sugiere que todos los niveles que se observan serían producto de un solo evento magmático, manifestado en un prolongado volcanismo intermedio a básico, pudiendo dividírsele en tres.
- La base, con predominancia de niveles volcánicos: brechas volcánicas mayormente monomíticas, lavas basálticas grises a verdosas, lavas andesíticas hacia el tope delgadas intercalaciones de conglomerados;
- El nivel medio, con ruditas, arenitas mal clasificadas, conglomerados, grauvacas; intercalación de lavas (andesitas) y tobas con niveles sedimentarios; gran cantidad de subvolcánicos intrusivos;
- El nivel superior, con areniscas grises a rojizas, lutitas grises a rojizas, limolitas, sedimentos finos y carbonatados, con ocasionales flujos lávicos andesíticos a manera de diques-sill
- Debido a las condiciones de alteración, no existe un registro certero acerca de cuando se inició este volcanismo; los registros fosilíferos más basales (*Posidonia escuttiana* (DOUGLAS), *Globirhynchia aff. sussoleta* (DAVIDSON), y *Parkinsoniidae ind*) y la estratigrafía secuencial evidencian que el volcanismo de la costa de Tacna se habría iniciado poco antes del Bajociano (~175 M.a.), llegando a tener más de 1000 m. de grosor
- El volcanismo en la costa no se detuvo abruptamente, hacia el Caloviano (~150 M.a.), al ubicarnos en el margen oriental del arco, hubo un cambio progresivo hacia facies más profundas, al este
- El magmatismo Jurásico es de naturaleza fundamentalmente calcoalcalina y de composición intermedia a básica, tiene además patrones evolutivos que sugieren una progresiva diferenciación y que en periodos breves y zonas específicas pudo haber habido un ligero cambio a una química con más tendencias hacia la alcalinidad.
- Los espectros en REE y manto primitivo, muestran un empobrecimiento en tierras pesadas y enriquecimiento en tierras ligeras, depresiones en Nb, y un pico en Pb respecto de un magma originario tipo MORB, además de su contacto discordante sobre unidades antiguas (Complejo Basal de la Costa o Grupo Cabanillas), lo que implica que las rocas volcánicas de la costa de Tacna, serían producto de un arco volcánico continental.
- El enriquecimiento en tierras ligeras no se deba probablemente a una contaminación tipo cortical; la relación $La_{(n)} / Yb_{(n)} = 0.34 - 4.16$,

esta más bien relacionada a cortezas relativamente delgadas (se puede especular entre 30-40 Km. según lo propuesto por diversos autores).

- La idea de que el mismo evento haya sido el mismo que originó toda la unidad estudiada, sugiere entonces que se trate de una sola formación, y que este es geoquímicamente diferente al que provocó el magmatismo Chocolate, y anterior a este, como parte de la Formación Guaneros
- Muy probablemente el arco Jurásico Guaneros de la costa sur de Perú habría tenido sus fuentes principales de emisión muy cerca de la línea de costa actual, y lo que se observe hoy en día sobre la línea costera, y materia de este estudio sea el borde Este del arco principal para un tiempo determinado

Algunas razones para diferenciar los eventos Chocolate y Guaneros en el área estudiada se dan a continuación:

El evento Chocolate, es muy probablemente producto de un adelgazamiento litosférico, que en regímenes extensionales haya provocado el inicio de una etapa de rifting en la sierra de Tacna, Moquegua y Ayacucho hace aproximadamente unos 250 M.a., (*Semperé et al, 2002; Pino, et al, 2004*); podría entonces suponerse que se generó un arco volcánico al oeste de ese rift, muy cerca de la actual costa (es posible que también en la zona de estudio); sin embargo, los productos emanados por el magmatismo Chocolate en la sierra de Perú (principalmente en la sierra de Tacna, y con resultados obtenidos por otros autores) no muestran similitudes con el volcanismo de la costa sur. La fauna indica que todo el volcanismo para este sector de la costa es mucho más reciente, probablemente ligeramente anterior al intervalo Bajociano-Batoniano (~175-170 M.a); petrográficamente hay más abundancia de rocas riolíticas, dacíticas y andesíticas, es decir más ácidas respecto de las rocas de la costa (*fig. N° 24*); geoquímicamente su espectro de REE son bastante diferentes (*fig. N° 25*), hay mayor enriquecimiento en tierras ligeras, que se confirma al determinar los cocientes $(La/Yb)_N$ mucho mayor para Chocolate (6-17) que para la costa (0-4) (*fig. N°25*); no existe aparentemente aquí elementos que indiquen que haya habido contaminación de tipo cortical (recientes estudios en isótopos de Sr y Nd, indicarían que Chocolate si tendría esta contaminación de corteza; *en: Martínez, Cervantes; 2005b*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARUA, VICTOR. (1961): Reconocimiento Geológico - zona de Tacna y Moquegua. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú N° 36, pp 35-59
- CASTRO B., LEONIDAS. (1960): Estudio Geológico en el departamento de Tacna. Tesis de doctorado, 113 pp.
- FRANZ, G.; LUCASSEN, R.; TRUMBULL, R.; VIRAMONTE, J.; WILKE, H. (2000): The evolution of a Continental Margin from a Geochemical and Petrological Point of View – The Central Andes (18°S – 26°S). Zeitschrift für Angewandte Geologie. Sonderheft SH1, pp. 317-322.
- FERNÁNDEZ, S.; HERNÁNDEZ, A. (1991): Cálculos y Diagramas Geoquímicos. Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. 2º edición, 340 pp.
- HILLEBRANDT, A.; BARTSCH V.; BEBIOLKA A.; KOSSLER A. (2000): The paleogeographic evolution in a volcanic arc/back setting during the mesozoic in northern Chile. Zeitschrift für Angewandte Geologie. Sonderheft SH1, pp. 87-93
- HUSSON, L.; JACAY J.; SEMPERE T. (2002) Cronología estructural del margen sur del Perú. XI Congreso Peruano de Geología. Resúmenes
- INGEMMET (2000): Actualizaciones y memorias de la Franja N° 1. Reportes internos
- JAEN H.; ORTIZ G. (1963): Geología de los cuadrángulos de La Yarada (37-u) y Tacna (37-v). Boletín N° 6, serie A, INGEMMET
- JAILLARD E.; SOLER P. (1990): Geodynamic evolution of the northern and central Andes during early to middle Mesozoic times: a Tethyan model. Journal of the Geological Society 147, part 6, pp. 1009-1022
- JENKS, WILLIAM (1948): Geología de la hoja de Arequipa. Instituto Geológico del Perú. Boletín N° 9.
- LE BAS M.; STRECKEISEN A. (1991): The IUGS systematics of igneous rocks. Journal of the Geological Society Vol.148, pp. 825-833.
- LEON, ISABEL (1981): Antecedentes sedimentológicos del Jurásico Cretácico inferior en la zona de Yura. Tesis de bachiller, UNSA
- MARTÍNEZ, W; ZULOAGA, A. (2002): Nuevas contribuciones a la caracterización geoquímica del grupo Toquepala; sector Moquegua - sur de Perú. XI Congreso Peruano de Geología, trabajos científicos
- MARTÍNEZ, W.; CERVANTES, J.; ROMERO D.; SEMPERE T. (2005a): The late paleozoic - early mesozoic Chocolate Formation of southern Peru: New data and

- interpretations. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG). Barcelona-España. Pp. 490-492
- MARTÍNEZ, W.; CERVANTES, J. (2005b). El arco Jurásico cretácico. Nuevos datos estratigráficos petrográficos geoquímicos. Sur de Perú. Reporte interno. INGEMMET.
- MENDIVIL, SALVADOR (1973): Aspectos generales de la estratigrafía del sur del Perú. II Congreso Latinoamericano de Geología, tomo II
- NARVAEZ, SIGFRIDO (1964): Geología de los cuadrángulos de Ilo (36-t) y Locumba (36-u). Boletín N° 7, serie A, INGEMMET
- O.N.E.R.N (1976): Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la Costa: Cuencas de los ríos Moquegua, Locumba, Sama y Caplina
- PALACIOS, CARLOS (1984): Considerations about the plate tectonic model volcanism and continental crust in the southern part of the central Andes. Tectonophysics N° 106, pp. 205-214
- PICHOWIAK, SIGFRIED (1994): Early Jurassic to early Cretaceous magmatism in the coastal cordillera and the central depresión of north Chile. Tectonics of the Southern Central Andes. Reutter-Scheber-Wigger editores, pp. 203-217.
- PINO, A.; SEMPERE, T.; JACAY, J.; IANNUZZI, R. (2002): Nuevos aportes geológicos en el estudio de la evolución geodinámica de la cordillera de los Andes en el sur del Perú: área Mal Paso-Palca (Tacna). XI Congreso Peruano de Geología.
- PINO, A.; SEMPERE, T.; JACAY, J.; FORNARI, M. (2004): Estratigrafía, paleografía, paleotectónica del intervalo Paleozoico superior-Cretáceo inferior en el área de Mal Paso-Palca (Tacna). Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú. Publicación especial N° 5. Sociedad Geológica del Perú, pp. 15-44.
- ROMEUF, N.; AGUIRRE, L.; CARLIER, G.; SOLER, P.; BOHOMME, M.; ELMI, S.; SALAS, G. (1993) : Present Knowledge of the Jurassic volcanogenic formations of the southern coastal of Perú. Second IASG. Londres. UK, pp. 437-440.
- ROMEUF, N.; SOLER, P.; JAILLARD, E.; AGUIRRE, L.; FÉRAUD, G.; RUFFET, G. (1995) : Middle Jurassic volcanism in the Northern and Central Andes. Revista Geológica de Chile. Vol 22, N° 2, pp. 245-259.
- ROMEUF, NATALIE (1995) : Volcanisme Jurassique et metamorphisme en equateur et au perou. Tesis de grado, ediciones ORSTOM, colección: Travaux et documents microédités, 506 pp.

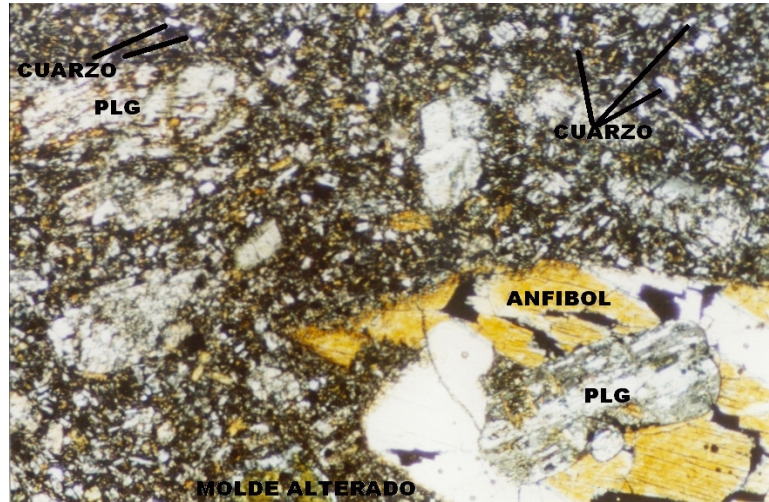
- ROPERCH, P. (1990): Paleomagnetism of Jurassic and Cretaceous plutonic rocks from coastal southern Peru. Importance of rotations in the Arica deflection. Symposium: "Géodynamique Andine". ORSTOM ediciones, pp. 71-73
- SÁNCHEZ, A (1982): Edades Rb-Sr en los segmentos Arequipa-Toquepala del Batolito de la costa del Perú. Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, pp. 487-504
- SÁNCHEZ, A (1983): Edades K-Ar en rocas intrusivas del área de Ilo dpto. de Moquegua. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú N° 71, pp. 183-191
- SCHEUBER, E.; BOGDANIC T.; JENSEN A.; REUTTER K. (1994): Tectonic development of the North Chilean in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. Tectonics of the Southern Central Andes. Reutter-Scheber-Wigger ed., pp. 121-139
- SCHEUBER, E.; CHARRIER R.; GONZALES G.; KLOTZ J.; REUTHER C.; REUTTER K. (2000): Crustal evolution of the southern central Andes (20°S - 26°S) since the Jurassic. Zeitschrift für Angewandte Geologie. Sonderheft SH1, pp. 323-329
- SEMPERE, T.; JACAY, J.; PINO, A.; FORNARI, M.; MAROCCO, R.; FLORES, A. ACOSTA, J.; BEDOYA, C. (2002): Adelgazamiento litosférico Triásico-Jurásico en el extremo sur del Perú. XI Congreso Peruano de Geología, resúmenes
- SEMPERE, T.; JACAY, J.; FORNARI, M.; PINO, A.; FLORES, A.; ACOSTA, J.; BEDOYA, C.; ROPERCH, P.; BARRIGA, J.; (2002): Adelgazamiento litosférico Triásico-Jurásico en el extremo sur del Perú. XI Congreso Peruano de Geología.
- SZEKELY, THOMAS (1967): Jurassic stratigraphy of southern Peru. Colloque du jurassique a Luxemburg 1967. Memoirs du B.R.G.M. N° 67, pp. 727-737
- VICENTE, JEAN CLAUDE (1981): Elementos de la estratigrafía mesozoica sur peruana. Comité sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretáceo de América del Sur, pp. 319-347
- WHITE, W. M (2001): Trace elements in igneous processes. Cornell University, Ithaca, pp. 265-317
- WILSON, MARJORIE (1989): Igneous petrogenesis. Kluwer Academic publisher. Londres. 466 pp.
- www.ignperu.gob.pe.

ANEXOS

Muestra N°12

Código de muestra: Ly/II-11a-03

Procedencia: C°. Punta Colorada



25x

Textura/s: holocristalina microporfírica

Descripción microscópica: Constituido por fenos de plagioclasa maclados, zonados, rotos y alterados a micas (sericita y muscovita) y algo de arcillas. Cuarzo microcristalino en la matriz. piroxenos y hornblendas en cristales maclados y rotos, estos últimos presentan alteración moderada a cloritas. Existen moldes de piroxeno reemplazados por hornblendas, y en unos casos por clorita y serpentina. Presencia de carbonatos en granos diseminados. La matriz es microcristalina, con plagioclasa alterada, cloritas, ciertos minerales opacos, óxidos, cuarzo granular entre otros.

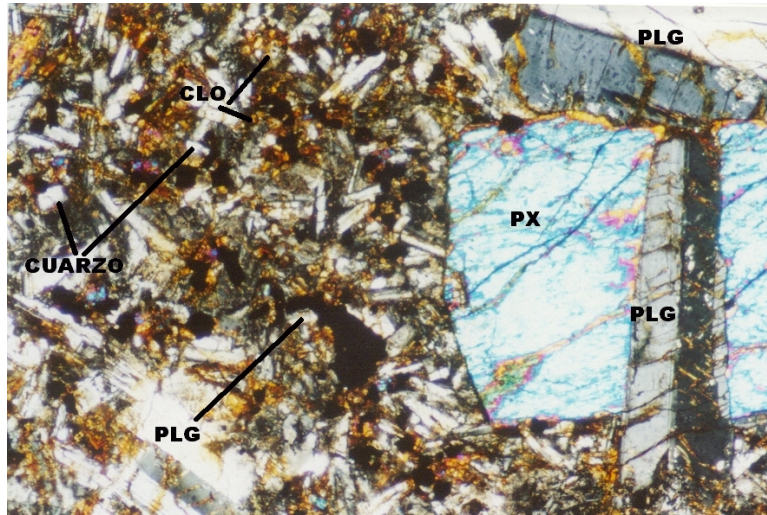
DENOMINACIÓN : ANDESITA
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	0.3 y 3.5	50	85
CUARZO	0.3	5	14
FELD. POTASICO	-	-	1
HORNBLENDAS	3 – 3.5	5	
PIROXENOS	3.5	15	
MIN. ALTERACIÓN	-	20	
OTROS	-	5	

Muestra N°22

Código de muestra: Ly/II- 19 -03

Procedencia: C° F. de los Españoles.



25x

Textura/s: Holocristalina porfirítica

Descripción microscópica: Cristales mayores de plagioclasa zonados, maclados, rotos, con limonita en microfracturas, escasa alteración a sericita. Piroxeno como cristales subhedrales con limonita en microfracturas. Moldes de máficos alterados a cloritas y carbonatos, aparentemente de anfíboles. Abundante plagioclasa microcristalina con granos de cuarzo diseminado sobre esta. clorita intersticial en la matriz, como pasta; minerales opacos en proporción media, como granos diseminados

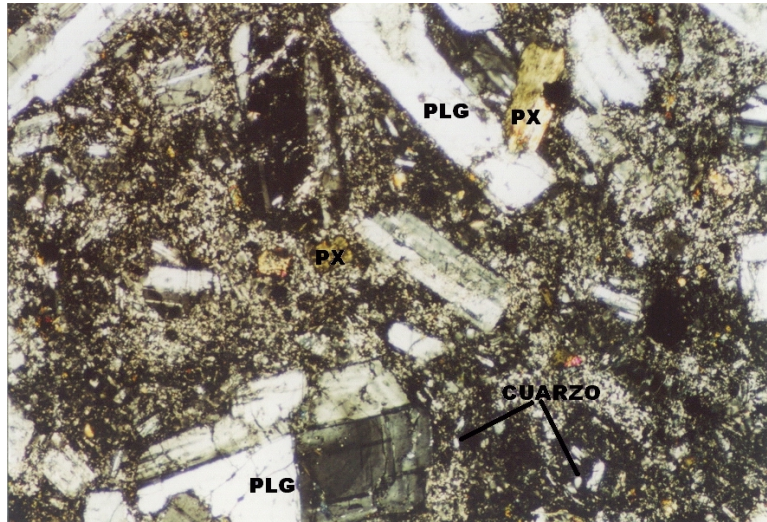
DENOMINACIÓN : ANDESITA
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	1 y 3 - 10	51	83
CUARZO	0.5	10	16
FELD. POTASICO	-	-	1
HORNBLENDAS	-	-	
PIROXENOS	1-2	14	
MIN. ALTERACIÓN	-	19	
OTROS	-	6	

Muestra N°23

Código de muestra: Ly/II- 20 -03

Procedencia: Qda. de los Burros



25x

Textura/s: holocristalina microporfírica

Descripción microscópica: Plagioclases como fenos subhedrales a euhedrales, maclados, zonados y rotos, alterados incipientemente a micas (sericita – muscovita), en partes se observa cierto direccionamiento de los cristales. Piroxenos subhedrales, rotos algo alterados principalmente a Epidota. Cuarzo subhedral como microcristales cúbicos diseminados sobre la matriz criptocristalina de plagioclase (según examen de Tinción). Moldes de minerales máficos alterados a carbonatos, cloritas, y algo de serpentina, con probable presencia de olivino.

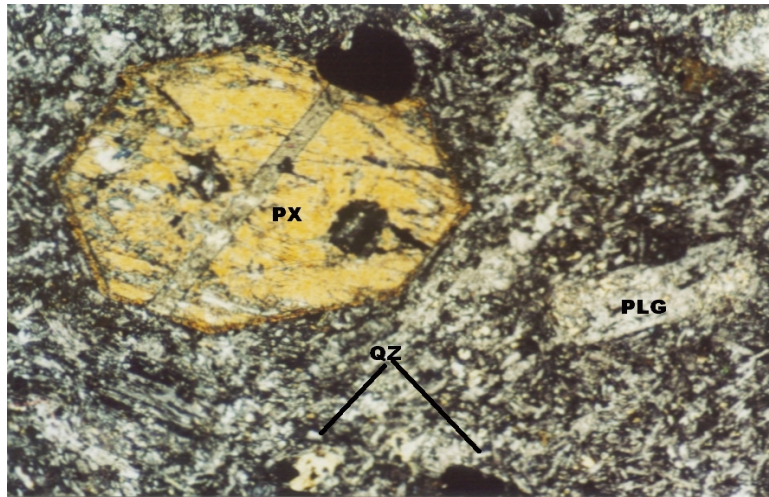
DENOMINACIÓN : ANDESITA
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	1 - 2	60	86
CUARZO	0.3 – 0.5	6	13
FELD. POTASICO	-	-	1
HORNBLENDAS	-	-	
PIROXENOS	2	10	
MIN. ALTERACIÓN	-	15	
OTROS	-	9	

Muestra N°25

Código de muestra: Ly/II- 22 -03

Procedencia: Qda de los Burros.



25x

Textura/s: holocristalina micro a criptocristalina, en partes fluida

Descripción microscópica: Plagioclasa bimodal, los fenos se hallan maclados, zonados y algunos corroídos por la matriz, la alteración es media a alta a micas y arcillas; la plg. microcristalina presenta menor alteración y en partes tiene cierto grado de fluidez. El cuarzo es secundario de alteración, mayormente anhedral y en agregados; solo en algunos casos es primario (cúbico). Predomina el piroxeno subhedral a euhedral, en fenos muchos de ellos maclados (ver infografía); muchos se alteran a cloritas y hornblendas. Algunos moldes de clorita y serpentina probablemente indiquen la presencia de olivino. La matriz esta compuesta de minerales de alteración; de ahí proviene la coloración verdosa de la muestra, por la abundante cloritización y serpentización.

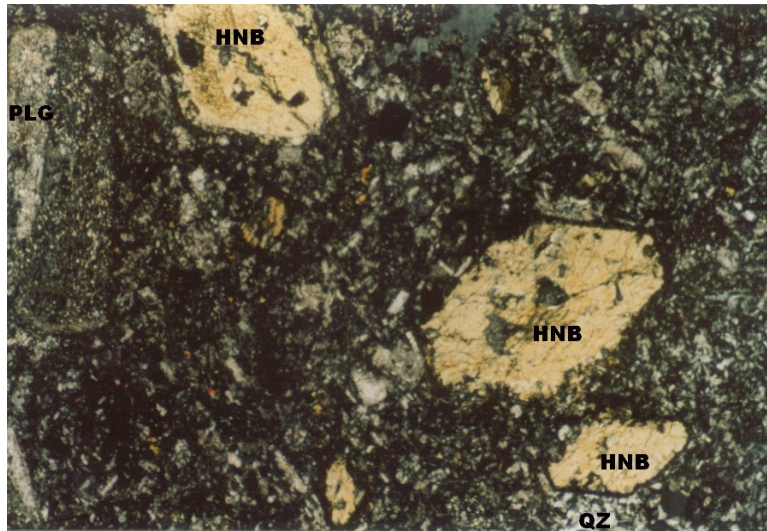
DENOMINACIÓN : ANDESITA BASÁLTICA
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	0.2 y 2 - 3	49	83
CUARZO	0.3	9	16
FELD. POTASICO	-	-	1
HORNBLENDAS	-	-	
PIROXENOS	2	19	
MIN. ALTERACIÓN	-	15	
OTROS	-	8	

Muestra N°47

Código de muestra: Ly/III-10 -03

Procedencia: Qda. de los Burros



25x

Textura/s: holocristalina microporfírica

Descripción microscópica: Fenos de plagioclasa euhedrales y de tamaño uniforme, maclados y zonados, alterados principalmente a arcillas y a micas. Cuarzo primario en microcristales o granos diseminados y cuarzo secundario como agregados y en menor proporción que el primario. Grandes cristales hexagonales de hornblenda, maclados y con aureola de magnetita, los fenos mayores están rotos y con mayor corrosión por la matriz. En la matriz se presentan microcristales de plagioclasa, cuarzo, y algunos anfíboles, con ligera alteración a micas y clorita.

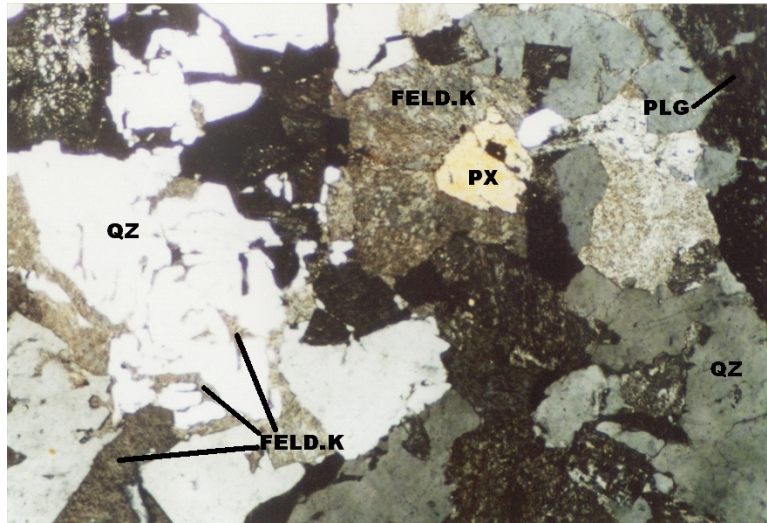
DENOMINACIÓN : ANDESITA
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	1 - 2	63	82
CUARZO	0.3 - 0.5	13	17
FELD. POTASICO	-	-	1
HORNBLENDAS	1 - 2.5	16	
PIROXENOS	-	-	
MIN. ALTERACIÓN	-	7	
OTROS	-	1	

Muestra N°49

Código de muestra: Ly/III-12-03

Procedencia: C° Miraflores.



25x

Textura/s: Inequigranular hipidiomórfica, con acumulaciones.

Descripción microscópica: Cuarzo en granos y acumulaciones anhedrales, subangulosos, algunos con inclusiones de feldespato potásico. El feldespato Alcalino, esta también en acumulaciones anhedrales, subangulosas, con ligera alteración argílica. La plagioclase es subhedral, y se halla mucho más alterada que el resto a micas (sericita). otros minerales en pequeñas cantidades se hallan diseminados, piroxeno, hornblenda, muscovita, biotita. Se observa una acumulación de minerales feldespáticos, con algo de cuarzo.

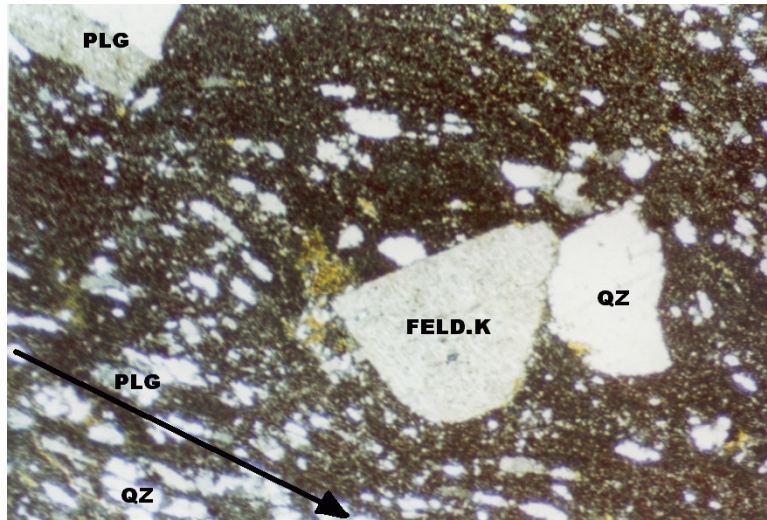
DENOMINACIÓN : SIENOGANITO
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	1 - 2	13	46
CUARZO	2	41	40
FELD. POTASICO	1.5	36	14
HORNBLENDAS	1	4	
PIROXENOS	1	2	
MIN. ALTERACIÓN	-		
OTROS	-	4	

Muestra N°51

Código de muestra: Lo/III-01-03

Procedencia: Qda. de los Burros



25x

Textura/s: hialocristlina porfirica fluidal de matriz microlitica

Descripción microscópica: Plagioclase en cristales euhedrales a subhedrales, alterándose un poco a sericita y arcillas; y en microcristales alineados. Cuarzo microgranular, formándose agregados densos intercreciendo con la plagioclase. Feldespato alcalino formado producto de la devitrificación del vidrio, en cristales anhedral a subhedrales, algo alterados, llegándose a identificar del tipo sanidina. Moldes de minerales máficos en pequeño porcentaje alterados a cloritas y algo de carbonatos.

DENOMINACIÓN : RIOLITA
(posible roca original)

MINERAL	TAMAÑO (mm)	%	% REAJUSTADO
PLAGIOCLASA	0.3 - 0.5 y 2	15	31
CUARZO	0.3 – 0.5	20	41
FELD. POTASICO	1 – 1.5	14	28
HORNBLENDAS	-	-	
PIROXENOS	-	-	
MIN. ALTERACIÓN	-	8	
OTROS	-	43	

Número de muestra	Ubicación	Mineralogía	Denominación (*) (posible roca original)
1	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Px, Hnb, Olv	Andesita
3	La Angola	Plg, Qz, Fk	Plagioclita
4	C° Calvario	Plg, Qz, Px.	Andesita
5	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Fk, Px	Andesita
6	C° Punta Colorada	Plg, Qz	Andesita
7	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Px, Anf	Andesita
8	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Hnb, Bt	Tonalita
9	C° Punta Colorada	Carbonatos, Plg, Qz	Caliza
10	C° Punta Colorada	Plg, Qz,	Andesita
11	C° Punta Colorada	Plg, Qz	Andesita
12	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Px, Hnb	Andesita
13	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Hnb, Px	Andesita
14	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Px, Olv	Andesita Basáltica
15	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Px	Andesita Basáltica
16	C° Punta Colorada	Carbonatos	Caliza oomicritica
17	C° Punta Colorada	Plg, Qz, Px	Andesita
19	La Angola	Roca vítrea	Vitrófito (Pertita)
20	La Angola	Plg, Qz	Andesita Basáltica
21	C° F. de Los Españoles	Plg, Qz, Anf	Andesita
22	C° F. de Los Españoles	Plg, Qz, Px	Andesita
23	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px, Olv	Andesita
24	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px	Andesita
25	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px, Olv	Andesita Basáltica
26	C° La Yarada	Plg, Qz, Px	Andesita
27	C° La Yarada	Plg, Qz, Px	Andesita
28	C° Pabellones	Fk, Qz, Plg, Px	Cuarzo traquita
29	C° Miraflores	Plg, Qz	Andesita
30	C° Chompo	Plg, Qz, Fk	Andesita
31	C° La Tranquila	Plg, Qz, Fk, Px, Bt, Hnb	Cuarzo Monzodiorita

Número de muestra	Ubicación	Mineralogía	Denominación (*) (posible roca original)
32	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px	Andesita
33	Qda. de los Burros	Plg, Qz	Toba Litocristalina
34	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Fk	Plagioclita
35	Qda. de los Burros	Plg, Qz	Toba Litocristalina
36	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px	Grauvaca feldespática
37	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px	Andesita
38	Llostay	Plg, Qz, Px, Fk	Cuarzo diorita
39	C° Chompo	Qz, Plg, Calcita	Arenisca calcárea (calcarenita)
40	C° Pabellones	Plg, Qz	Andesita
41	C° Calvario	Plg, Qz, Fk	Andesita
42	C° Calvario	Plg, Qz	Andesita
43	C° Calvario	Plg, Qz	Andesita
44	Vila Vila	Plg, Qz	Andesita
45	Vila Vila	Plg, Qz	Brecha tobácea
46	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px	Andesita
47	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Anf	Andesita
48	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Anf, Px	Andesita
49	C° Miraflores	Plg, Qz, Fk, Px, Bt, Hnb	Sienogranito
50	Qda. de los Burros	Plg, Qz	Brecha cristalolítica
51	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Sand	Riodacita
52	Qda. de los Burros	Plg, Qz, Px	Andesita Basáltica
(*)53	C° Morro de Sama	Plg, Qz	Andesita
(*)54	C° Morro de Sama	Plg, Qz, Bt, Tm	Andesita
(*)55	C° Morro de Sama	Plg, Qz, Hnb, Bt	Andesita
(*)56	Caleta El Morro	Plg, Qz, Px, Hnb	Diorita
(*)57	C° Morro de Sama	Plg, Bt	Basalto
(*)58	Qda. de los Burros	Plg, Qz	Andesita
(*)59	C° Morro de Sama	Plg, Px, Qz	Andesita basáltica

(*) muestras complementarias, de campañas anteriores

Tabla A.I.. Relación de las muestras para estudio petrográfico
(*) la denominación es según su contenido modal

Nº de Muestra	Unidad	Litología	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	MnO %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	PxC %	H ₂ O 105°C	Σ	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm
31	Intrusivo	Diorita	56.1	17.1	1.08	0.21	8.59	6.13	3.67	4.17	0.96	1.57	0.16	99.74								
32	Guaneros	Dacita	65	16.4	0.84	0.16	4.92	3.44	1.27	4.7	2.82	0.14	0.14	99.83	594	58.2	4.9	1.3	12	6.97	4.26	1.87
33	Guaneros	Toba													12.7	43.2	4.1	0.4	12	6.28	3.55	1.11
34	Guaneros	Andesita	57.5	16.7	1.52	0.15	6.74	2.78	4.1	3.36	6.02	0.2	0.34	99.41	1330	20.3	21.3	31.9	210	5.08	3.26	1.1
35	Guaneros	Toba	55.3	16.6	1.44	0.08	8.96	2.09	3.93	4.29	3.61	2.48	0.33	99.11	1380	79.6	11.8	1.7	275	7.7	4.63	1.53
37	Guaneros	Andesita	51.3	17.9	1.05	0.42	8.52	9.57	5.25	2.56	2.54	0.64	0.12	99.87	354	21.4	20.8	3.2	6	4.32	2.44	2.15
23	Guaneros	Andesita	56.7	17.4	1.08	0.24	9	5.52	3.38	3.22	1.2	1.23	0.39	99.36	218	25.5	17.8	1.6	40	4.79	2.91	1.39
24	Guaneros	Andesita	58.7	16.4	1.04	0.15	8.22	1.74	4.33	3.91	3.48	1.6	0.24	99.81	934	10.3	10.5	0.8	13	3.66	2.71	0.56
25	Guaneros	Andesita	57.8	16.7	1.06	0.32	8.47	3.98	3.06	4.72	2.21	1.03	0.41	99.76	1220	12.7	19.5	7.3	9	2.64	1.67	0.47
54	Guaneros	Andesita													599	27.1	13.4	1.5	26	4.75	2.85	1.46
55	Guaneros	Andesita													258	21.7	23.5	3	135	4.37	2.5	1
57	Guaneros	Basalto													1620	4	13.8	10.1	20	2.49	2.34	0.37
58	Guaneros	Andesita													240	21.7	11.8	0.8	12	4.38	2.7	1.04
59	Guaneros	Andesita													74.1	13.3	13.6	4.1	37	3.63	2.21	0.98
53	Guaneros	Andesita	53.60	17.80	0.69	0.25	7.85	8.27	4.20	3.66	2.28	0.77	0.25	99.62	973	19.8	8.2	1.2	51	3.23	1.98	1.24
46	Guaneros	Andesita	58	18	0.69	0.15	7.8	5.07	2.77	4.35	1.68	0.32	0.32	99.15								
47	Guaneros	Andesita	59.9	16.5	0.62	0.13	6.33	3.57	3.31	4.91	2.61	0.38	0.38	98.64								
51	Guaneros	Traquita	66.2	14.7	0.56	0.07	7.08	0.54	1.66	3.45	4.3	0.21	0.21	98.98								

PxC : Pérdida por calcinación

Tabla N° A.II. Análisis químicos de las muestras de la serie Morro de Sama (Qda. de Los Burros)

.....Continuación

	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sm ppm	Sr ppm	Tb ppm	Th ppm	Tm ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm
31																							
32	16	7.09	7	1.3	28.4	0.64	9	34.7	26		7.69	70.8	8.2	351	1.13	10.1	0.6	2.55	25	36.2	4.3	91	238
33	14	7.17	7	1.19	13	0.51	7	33.9	16		6.75	1	7.8	91.7	1.06	19	0.49	4.51	169	32.9	3.6	21	244
34	18	5.21	8	1.01	7.7	0.49	8	20.4	18		3.61	434	5.8	249	0.79	20.1	0.45	4.93	213	28.1	3.3	62	271
35	15	8.54	7	1.53	39.9	0.62	7	44	19		10	99.5	8.9	107	1.26	18.7	0.66	4.6	173	44.3	4.3	23	239
37	16	4.5	2	0.83	8.9	0.33	2	17.7	30		3.35	155	4.8	399	0.71	2.7	0.31	0.78	261	21.5	2.3	138	72.2
23	17	4.62	3	0.94	12.2	0.45	4	16.8	20		3.58	72.9	4.1	349	0.72	2.2	0.42	0.63	213	26.5	3	198	98.7
24	15	2.19	4	0.83	5.1	0.43	4	6.5	18		1.4	81	1.6	205	0.44	2.7	0.41	0.82	145	24.1	2.9	49	121
25	19	2.23	3	0.56	5.8	0.33	2	7.7	9	10	1.72	250	2.1	93.8	0.4	1.8	0.24	0.79	252	15	1.8	96	68.8
54	15	4.32	3	0.9	13.5	0.42	4	17.5	9		3.78	67.8	4.2	315	0.71	2.3	0.41	0.62	99	25.2	3	119	96.6
55	15	3.58	3	0.91	8.3	0.38	3	14	23	17	3.18	27	3.7	156	0.7	3.5	0.39	1.13	236	23	2.6	421	86.1
57	20	1.36	6	0.67	1.4	0.48	6	2.8	16	5	0.61	329	1.1	116	0.34	12.3	0.38	2.55	248	19.5	2.8	69	197
58	17	3.8	3	0.95	9.9	0.5	4	13.2	13	11	3.04	22.9	3.6	98.1	0.7	3	0.41	0.89	154	26	2.8	32	88.5
59	16	3.39	3	0.75	5.5	0.34	3	10.5	17	19	2.13	69	3.3	134	0.59	4.8	0.32	1.68	194	20	2.2	82	95
53	16	3.05	2	0.66	8.9	0.31	2	11.9	33	20	2.68	68.1	3.1	262	0.54	2.1	0.28	0.68	195	17.1	1.9	92	50.9
46																							
47																							
51																							

Nº de Muestra	Unidad	Litología	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	MnO %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	PxC %	H ₂ O 105°C	Σ	Ba ppm	Ce ppm	Co ppm	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm
1	Guaneros	Basalto	48.5	18.3	0.91	0.27	9.9	6.71	6.25	3.83	1.52	2.18	0.28	98.65	208	15.5	33.3	37.7	20	3.48	1.97	1.04
4	Guaneros	Andesita	49.1	18	1.21	0.4	9.54	2.16	7.2	4.23	2.51	4.41	1.18	99.94	1130	26.7	26.9	1.7	18	4.23	2.42	1.37
5	Guaneros	Andesita	51.2	18.3	0.93	0.15	7.65	8.62	2.98	2.93	2.2	2.53	0.52	98.01	322	17.3	24.9	25	8	3.73	2.3	1.18
6	Guaneros	Andesita													297	19.5	27.4	5	21	3.5	2.13	0.99
7	Guaneros	Andesita	51.1	16.9	1.85	0.14	9.76	7.76	5.97	3.53	1.25	1.36	0.24	99.86	332	13.6	22.2	1	5	4.27	2.77	0.81
8	Intrusivo	Tonalita	50.8	15.2	1.66	0.24	12.3	8.79	5.59	2.62	1.29	1.23	0.23	99.95	268	24.5	25.2	1.6	60	4.14	2.59	1.27
10	Guaneros	Andesita	53.8	18.6	1.12	0.43	7.06	2.76	4.58	4.38	4.14	2.78	0.31	99.96	2040	27.9	16.2	1.7	15	4.16	2.34	1.42
11	Subvolcanico	Andesita	52.1	16.9	1.49	0.36	8.19	4.71	2.87	4.56	3.11	5.23	0.25	99.77	715	47	15.5	2.4	104	6.53	3.89	1.68
12	Guaneros	Andesita	53.2	20.1	1	0.28	7.58	5.81	3	3.92	2.63	2.07	0.3	99.89	492	16.4	17.6	4.4	7	3.68	2.23	1.29
13	Guaneros	Andesita	51	17.6	0.8	0.28	8.54	6.74	5.5	3.45	2.31	2.79	0.25	99.26	960	13.6	26	6.4	20	2.98	1.72	1.05
14	Guaneros	Basalto	46.2	17.7	0.92	0.2	8.36	10.7	5.35	3.37	1.39	5.38	0.2	99.77	367	13.8	27.8	13.2	66	3.21	1.84	1.02
15	Guaneros	Andesita													359	23.3	29.7	3.4	26	3.32	1.93	1.09
17	Guaneros	Andesita													272	33.1	22.1	2.2	5	4.49	2.69	1.53
20	Guaneros	Andesita	51.5	18.4	1.21	0.38	9.43	1.84	4.8	5.12	2.11	4.17	0.93	99.89	1680	23.1	16.5	3.9	43	4.54	2.81	1.61
21	Subvolcanico	Traquita	64.9	15.7	0.61	0.28	5.23	1.01	1.09	5.03	4.32	0.9	0.42	99.49	1060	44.2	7.4	6.1	5	4.26	2.64	1.2
22	Guaneros	Andesita													342	52.1	22.8	4.1	144	7.34	4.42	1.77
26	Guaneros	Andesita	53.5	15.9	1.12	0.14	8.63	6.87	6.19	4.49	1.01	0.92	0.55	99.32	195	27.6	27.4	10.4	15	4.42	2.65	1.75
27	Guaneros	Andesita	53.7	16.5	1.37	0.24	8.08	5.2	4.93	3.64	2.64	1.6	0.44	98.34	379	32.2	23.2	1.6	70	4.93	2.89	1.24
28	Subvolcanico	Qz.Traquita	68.5	13.7	0.37	0.17	1.45	2.57	0.8	0.23	6.82	3.11	0.31	98.03	919	31.9	1.1	2.8	5	2.83	1.98	0.57
29	Guaneros	Andesita	51.8	16.1	1.09	0.33	8.7	6.93	3.47	3.11	2.25	4.74	0.43	98.95	464	24.3	23.5	3.3	46	4.28	2.73	1.04
30	Guaneros	Andesita													345	31.9	15.7	1.4	38	4.42	2.81	1.2
41	Guaneros	Andesita	48	19.7	0.98	0.51	9.93	2.8	4.83	4.43	2.91	0.85	0.85	95.79								
42	Guaneros	Andesita	50.8	18.9	1.02	0.63	9.23	1.27	4.99	3.97	4.72	0.39	0.39	96.31								

PxC : Pérdida por calcinación

Tabla N° A.III. Análisis químicos de las muestras de las series río Sama, Pta. Colorada - Moreno y Pabellones - Miraflores

.....Continuación

	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Ni	Pr	Rb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Y	Yb	Zn	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	15	3.07	2	0.66	7.1	0.27	2	11.1	33	2.2	87.4	3.1	360	0.53	1.6	0.29	0.44	312	17.1	2	154	45.6
4	17	4.09	3	0.8	12.6	0.33	5	16.5	27	3.61	132	4	344	0.69	2.5	0.33	0.64	240	21	2.4	165	91.5
5	16	3.7	2	0.71	7.6	0.31	2	12.5	29	2.51	89.8	3.4	364	0.58	1.5	0.3	0.51	286	19.4	2.1	183	59.1
6	16	3.41	2	0.68	8.5	0.34	2	13.7	67	2.78	84.3	3.5	120	0.51	1.7	0.29	0.45	235	17.6	2.1	116	54.1
7	17	3.48	5	0.87	4.8	0.44	8	10.8	30	2.12	70	3.1	388	0.63	2.6	0.4	0.84	227	22.7	2.7	52	160
8	17	4.12	4	0.82	11.6	0.37	3	16.3	29	3.36	74.6	4	308	0.66	3.4	0.36	0.96	311	22.1	2.4	111	129
10	17	4.04	3	0.77	13.6	0.36	3	17.1	21	3.68	185	4.2	411	0.66	3.6	0.33	0.99	276	20.6	2.4	899	78.6
11	17	6.86	6	1.21	22.6	0.53	6	28.9	18	6.29	155	7.1	312	1.06	9.6	0.53	2.59	216	34.1	3.7	178	192
12	17	3.63	2	0.71	7.1	0.3	2	12.2	15	2.45	86.2	3.2	424	0.59	1.4	0.29	0.43	165	19	2.2	148	59.3
13	14	2.73	2	0.58	6	0.26	1	9.8	26	1.95	81.2	2.6	357	0.43	1.1	0.24	0.36	176	15.6	1.8	176	61.1
14	15	3.04	2	0.63	6	0.27	1	10.2	45	2.08	54.5	2.9	348	0.49	1.2	0.26	0.35	255	16.7	1.9	113	42.5
15	15	3.41	2	0.67	11	0.27	2	14.6	30	3.17	65.6	3.7	225	0.53	3.5	0.25	0.95	265	17.3	1.9	117	66.1
17	17	5.02	3	0.88	15.3	0.37	4	21.9	21	4.53	38.6	5.3	322	0.73	2.9	0.36	0.8	239	22.8	2.5	135	90.7
20	17	4.37	2	0.87	11	0.37	2	16.5	16	3.38	111	4.6	278	0.74	1.9	0.39	0.63	244	23.5	2.7	299	71.7
21	15	4.18	4	0.8	20.3	0.41	5	21.7	28	5.02	160	4.6	109	0.68	6.9	0.38	1.66	39	22.6	2.7	174	135
22	16	7.77	7	1.38	24.3	0.59	6	32.8	44	6.98	93.4	7.9	220	1.21	11.4	0.61	3.04	229	37.6	4.3	105	203
26	15	4.39	3	0.89	12.3	0.37	3	18.2	26	3.78	38.5	4.6	262	0.7	5.3	0.37	1.44	254	24.2	2.5	35	104
27	16	4.75	4	0.97	15.7	0.4	7	19	35	4.24	74.1	4.7	212	0.76	5.2	0.41	1.43	204	26.3	2.8	70	139
28	10	2.43	4	0.6	18.5	0.37	6	13.2	34	3.51	255	2.8	16.8	0.42	16.8	0.33	4.24	12	17.2	2.4	8	116
29	15	4	3	0.86	11.3	0.37	5	14.9	37	3.35	105	3.9	141	0.64	4.9	0.36	1.35	188	22.8	2.7	186	105
30	13	4.58	4	0.85	14.8	0.39	5	19.5	28	4.24	76.1	4.6	273	0.7	5.7	0.38	1.56	185	25	2.7	119	118
41																						
42																						

C1 chondrite (Nakamura, 1974)

Values	0.33	0.87	0.13	0.63	0.20	0.08	0.28	0.06	0.34	0.08	0.23	0.04	0.22	0.03	La/Yb	La/Sm
sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
1	21.58	17.92	16.92	17.62	15.27	13.51	11.12	9.64	10.15	8.57	8.76	8.29	9.09	7.94	2.37	1.41
4	38.30	30.87	27.77	26.19	19.70	17.79	14.82	12.55	12.33	10.39	10.76	9.43	10.91	9.71	3.51	1.94
5	23.10	20.00	19.31	19.84	16.75	15.32	13.41	10.55	10.87	9.22	10.22	8.57	9.55	9.12	2.42	1.38
6	25.84	22.54	21.38	21.75	17.24	12.86	12.36	9.27	10.20	8.83	9.47	8.29	9.55	10.00	2.71	1.50
7	14.59	15.72	16.31	17.14	15.27	10.52	12.61	11.45	12.45	11.30	12.31	11.43	12.27	12.94	1.19	0.96
8	35.26	28.32	25.85	25.87	19.70	16.49	14.93	12.00	12.07	10.65	11.51	10.29	10.91	10.88	3.23	1.79
9	25.53	13.06	13.23	12.70	9.85	6.75	7.10	5.45	6.09	5.32	5.78	5.14	5.45	5.88	4.68	2.59
10	41.34	32.25	28.31	27.14	20.69	18.44	14.64	12.00	12.13	10.00	10.40	9.43	10.91	10.59	3.79	2.00
11	68.69	54.34	48.38	45.87	34.98	21.82	24.86	19.27	19.04	15.71	17.29	15.14	16.82	15.59	4.08	1.96
12	21.58	18.96	18.85	19.37	15.76	16.75	13.15	10.73	10.73	9.22	9.91	8.29	10.00	8.82	2.16	1.37
13	18.24	15.72	15.00	15.56	12.81	13.64	9.89	7.82	8.69	7.53	7.64	6.86	8.18	7.65	2.23	1.42
14	18.24	15.95	16.00	16.19	14.29	13.25	11.01	8.91	9.36	8.18	8.18	7.43	8.64	7.94	2.11	1.28
15	33.43	26.94	24.38	23.17	18.23	14.16	12.36	9.64	9.68	8.70	8.58	7.14	8.64	7.94	3.87	1.83
17	46.50	38.27	34.85	34.76	26.11	19.87	18.19	13.27	13.09	11.43	11.96	10.29	11.36	10.88	4.09	1.78
20	33.43	26.71	26.00	26.19	22.66	20.91	15.83	13.45	13.24	11.30	12.49	11.14	12.27	10.88	2.72	1.48
21	61.70	51.10	38.62	34.44	22.66	15.58	15.14	12.36	12.42	10.39	11.73	10.86	12.27	12.06	5.03	2.72
22	73.86	60.23	53.69	52.06	38.92	22.99	28.15	22.00	21.40	17.92	19.64	17.43	19.55	17.35	3.78	1.90
23	37.08	29.48	27.54	26.67	20.20	18.05	16.74	13.09	13.97	12.21	12.93	12.00	13.64	13.24	2.72	1.84
24	15.50	11.91	10.77	10.32	7.88	7.27	7.93	8.00	10.67	10.78	12.04	11.71	13.18	12.65	1.18	1.97
25	41.03	31.33	29.08	27.78	20.69	18.96	15.65	12.91	13.85	11.69	12.67	11.71	13.64	12.35	3.01	1.98
26	37.39	31.91	29.08	28.89	22.66	22.73	15.91	12.73	12.89	11.56	11.78	10.57	11.36	10.88	3.29	1.65
27	47.72	37.23	32.62	30.16	23.15	16.10	17.21	13.82	14.37	12.60	12.84	11.71	12.73	11.76	3.75	2.06
28	56.23	36.88	27.00	20.95	13.79	7.40	8.80	7.64	8.25	7.79	8.80	9.43	10.91	10.88	5.15	4.08
29	34.35	28.09	25.77	23.65	19.21	13.51	14.49	11.64	12.48	11.17	12.13	10.29	12.27	10.88	2.80	1.79
30	44.98	36.88	32.62	30.95	22.66	15.58	16.59	12.73	12.89	11.04	12.49	10.86	12.27	11.47	3.67	1.99
32	86.32	67.28	59.15	55.08	40.39	24.29	25.69	20.55	20.32	16.88	18.93	17.14	19.55	18.82	4.42	2.14
33	39.51	49.94	51.92	53.81	38.42	14.42	25.98	19.27	18.31	15.45	15.78	14.00	16.36	15.00	2.41	1.03
34	23.40	23.47	27.77	32.38	28.57	14.29	18.88	14.36	14.81	13.12	14.49	12.86	15.00	14.41	1.56	0.82
35	121.28	92.02	76.92	69.84	43.84	19.87	30.94	22.91	22.45	19.87	20.58	18.86	19.55	18.24	6.20	2.77
37	27.05	24.74	25.77	28.10	23.65	27.92	16.30	12.91	12.59	10.78	10.84	8.86	10.45	9.71	2.59	1.14
53	27.05	22.89	20.62	18.89	15.27	16.10	11.05	9.82	9.42	8.57	8.80	8.00	8.64	9.12	3.13	1.77
54	17.63	14.68	13.23	12.22	10.34	6.10	8.08	7.27	7.70	7.27	7.42	6.86	8.18	9.71	2.15	1.70
55	25.23	25.09	24.46	22.22	18.23	12.99	12.97	12.73	12.74	11.82	11.11	11.14	11.82	11.18	2.13	1.38
56	33.74	30.87	30.15	28.73	22.17	17.14	15.94	13.45	12.13	10.52	10.58	9.14	10.00	11.18	3.37	1.52
57	4.26	4.62	4.69	4.44	5.42	4.81	4.93	6.18	7.26	8.70	10.40	10.86	12.73	14.12	0.33	0.79
58	30.09	25.09	23.38	20.95	17.73	13.51	13.77	12.73	12.77	12.34	12.00	11.71	12.73	14.71	2.36	1.70
59	16.72	15.38	16.38	16.67	16.26	12.73	12.28	10.73	10.58	9.74	9.82	9.14	10.00	10.00	1.67	1.03

Tabla N° A.IV. Valores de normalización, según la condrita de Nakamura. (White, 2001)

CI chondrite (Sun & McDonough, 1995)

Values	0.24	0.61	0.09	0.46	0.15	0.06	0.20	0.04	0.25	0.05	0.16	0.02	0.16	0.02	La/Yb	Eu / √ SmxGd
sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
1	29.96	25.29	23.71	24.29	20.95	18.47	15.43	14.68	14.15	12.09	12.31	13.18	12.42	10.98	2.41	1.03
4	53.16	43.56	38.90	36.11	27.03	24.33	20.55	19.11	17.20	14.65	15.13	15.00	14.91	13.41	3.57	1.03
5	32.07	28.22	27.05	27.35	22.97	20.96	18.59	16.07	15.16	13.00	14.38	13.64	13.04	12.60	2.46	1.01
6	35.86	31.81	29.96	29.98	23.65	17.58	17.14	14.13	14.23	12.45	13.31	13.18	13.04	13.82	2.75	0.87
7	20.25	22.19	22.84	23.63	20.95	14.39	17.49	17.45	17.36	15.93	17.31	18.18	16.77	17.89	1.21	0.75
8	48.95	39.97	36.21	35.67	27.03	22.56	20.70	18.28	16.83	15.02	16.19	16.36	14.91	15.04	3.28	0.95
9	35.44	18.43	18.53	17.51	13.51	9.24	9.85	8.31	8.50	7.51	8.13	8.18	7.45	8.13	4.76	0.80
10	57.38	45.51	39.66	37.42	28.38	25.22	20.30	18.28	16.91	14.10	14.63	15.00	14.91	14.63	3.85	1.05
11	95.36	76.67	67.78	63.24	47.97	29.84	34.47	29.36	26.54	22.16	24.31	24.09	22.98	21.54	4.15	0.73
12	29.96	26.75	26.40	26.70	21.62	22.91	18.24	16.34	14.96	13.00	13.94	13.18	13.66	12.20	2.19	1.15
13	25.32	22.19	21.01	21.44	17.57	18.65	13.72	11.91	12.11	10.62	10.75	10.91	11.18	10.57	2.26	1.20
14	25.32	22.51	22.41	22.32	19.59	18.12	15.28	13.57	13.05	11.54	11.50	11.82	11.80	10.98	2.15	1.05
15	46.41	38.01	34.16	31.95	25.00	19.36	17.14	14.68	13.50	12.27	12.06	11.36	11.80	10.98	3.93	0.94
17	64.56	54.00	48.81	47.92	35.81	27.18	25.23	20.22	18.25	16.12	16.81	16.36	15.53	15.04	4.16	0.90
20	46.41	37.68	36.42	36.11	31.08	28.60	21.96	20.50	18.46	15.93	17.56	17.73	16.77	15.04	2.77	1.09
21	85.65	72.10	54.09	47.48	31.08	21.31	21.01	18.84	17.32	14.65	16.50	17.27	16.77	16.67	5.11	0.83
22	102.53	84.99	75.22	71.77	53.38	31.44	39.05	33.52	29.84	25.27	27.63	27.73	26.71	23.98	3.84	0.69
23	51.48	41.60	38.58	36.76	27.70	24.69	23.22	19.94	19.47	17.22	18.19	19.09	18.63	18.29	2.76	0.97
24	21.52	16.80	15.09	14.22	10.81	9.95	11.01	12.19	14.88	15.20	16.94	18.64	18.01	17.48	1.19	0.91
25	56.96	44.21	40.73	38.29	28.38	25.93	21.71	19.67	19.31	16.48	17.81	18.64	18.63	17.07	3.06	1.04
26	51.90	45.02	40.73	39.82	31.08	31.08	22.06	19.39	17.97	16.30	16.56	16.82	15.53	15.04	3.34	1.19
27	66.24	52.53	45.69	41.58	31.76	22.02	23.87	21.05	20.04	17.77	18.06	18.64	17.39	16.26	3.81	0.80
28	78.06	52.04	37.82	28.88	18.92	10.12	12.21	11.63	11.50	10.99	12.38	15.00	14.91	15.04	5.24	0.67
29	47.68	39.64	36.10	32.60	26.35	18.47	20.10	17.73	17.40	15.75	17.06	16.36	16.77	15.04	2.84	0.80
30	62.45	52.04	45.69	42.67	31.08	21.31	23.02	19.39	17.97	15.57	17.56	17.27	16.77	15.85	3.72	0.80
32	119.83	94.94	82.87	75.93	55.41	33.21	35.63	31.30	28.33	23.81	26.63	27.27	26.71	26.02	4.49	0.75
33	54.85	70.47	72.74	74.18	52.70	19.72	36.03	29.36	25.53	21.79	22.19	22.27	22.36	20.73	2.45	0.45
34	32.49	33.12	38.90	44.64	39.19	19.54	26.18	21.88	20.65	18.50	20.38	20.45	20.50	19.92	1.59	0.61
35	168.35	129.85	107.76	96.28	60.14	27.18	42.91	34.90	31.30	28.02	28.94	30.00	26.71	25.20	6.30	0.53
37	37.55	34.91	36.10	38.73	32.43	38.19	22.61	19.67	17.56	15.20	15.25	14.09	14.29	13.41	2.63	1.41
53	37.55	32.30	28.88	26.04	20.95	22.02	15.33	14.96	13.13	12.09	12.38	12.73	11.80	12.60	3.18	1.23
54	24.47	20.72	18.53	16.85	14.19	8.35	11.21	11.08	10.73	10.26	10.44	10.91	11.18	13.41	2.19	0.66
55	35.02	35.40	34.27	30.63	25.00	17.76	17.99	19.39	17.76	16.67	15.63	17.73	16.15	15.45	2.17	0.84
56	46.84	43.56	42.24	39.61	30.41	23.45	22.11	20.50	16.91	14.84	14.88	14.55	13.66	15.45	3.43	0.90
57	5.91	6.53	6.57	6.13	7.43	6.57	6.83	9.42	10.12	12.27	14.63	17.27	17.39	19.51	0.34	0.92
58	41.77	35.40	32.76	28.88	24.32	18.47	19.10	19.39	17.80	17.40	16.88	18.64	17.39	20.33	2.40	0.86
59	23.21	21.70	22.95	22.98	22.30	17.41	17.04	16.34	14.76	13.74	13.81	14.55	13.66	13.82	1.70	0.89

Tabla N° A.V. Valores de normalización, según la condrita de Sun y McDonough. (White, 2001)

Primitive mantle (White, 2001)

Values	0.021	0.6	6.189	0.0813	0.0203	0.651	0.037	240	0.624	1.637	0.238	19.9	1.225	0.381	10.5	0.283	0.145	1153	0.526	0.093	0.651	4.05	0.146	0.428	0.058	0.439	0.065
sample	Cs	Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	K	La	Ce	Pr	Sr	Nd	Sm	Zr	Hf	Eu	Ti	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
23	76.2	121.5	35.2	27.1	31.0	6.1	13.5	41.5	19.6	15.6	15.0	17.5	13.7	10.8	9.4	10.6	9.6	5.6	8.8	7.7	7.4	6.5	6.4	6.8	7.2	6.8	6.9
24	38.1	135.0	150.9	33.2	40.4	6.1	13.5	120.4	8.2	6.3	5.9	10.3	5.3	4.2	11.5	14.1	3.9	5.4	4.2	4.7	5.6	6.0	5.7	6.3	7.1	6.6	6.6
25	71.4	113.0	96.8	28.3	30.5	6.1	13.5	76.4	21.6	16.6	15.9	15.8	14.3	11.0	9.2	10.6	10.1	5.5	8.2	7.6	7.3	6.2	6.2	6.7	7.1	6.8	6.5
32	61.9	118.0	96.0	124.2	125.6	13.8	16.2	97.5	45.5	35.6	32.3	17.6	28.3	21.5	22.7	24.7	12.9	4.4	13.5	12.2	10.7	8.9	8.9	10.0	10.3	9.8	9.8
33	19.0	1.7	2.1	233.7	222.2	10.8	13.5		20.8	26.4	28.4	4.6	27.7	20.5	23.2	24.7	7.7		13.6	11.4	9.6	8.1	8.2	8.3	8.4	8.2	7.8
34	1519.0	723.3	214.9	247.2	242.9	12.3	16.2	208.2	12.3	12.4	15.2	12.5	16.7	15.2	25.8	28.3	7.6	7.9	9.9	8.5	7.8	6.9	6.9	7.6	7.8	7.5	7.5
35	81.0	165.8	223.0	230.0	226.6	10.8	13.5	124.9	63.9	48.6	42.0	5.4	35.9	23.4	22.8	24.7	10.6	7.5	16.2	13.5	11.8	10.9	10.5	10.8	11.4	9.8	9.5
37	152.4	258.3	57.2	33.2	38.4	3.1	13.5	87.9	14.3	13.1	14.1	20.1	14.4	12.6	6.9	7.1	14.8	5.5	8.6	7.6	6.6	5.3	5.7	5.7	5.3	5.2	5.1
53	57.1	113.5	157.2	25.8	33.5	3.1	13.5	78.9	14.3	12.1	11.3	13.2	9.7	8.1	4.8	7.1	8.6	3.6	5.8	5.8	5.0	4.2	4.5	4.6	4.8	4.3	4.8
54	347.6	416.7	197.1	22.1	38.9	3.1	13.5		9.3	7.8	7.2	4.7	6.3	5.5	6.6	10.6	3.2		4.2	4.3	4.1	3.7	3.8	3.9	4.1	4.1	5.1
55	142.9	45.0	41.7	43.1	55.7	4.6	13.5		13.3	13.3	13.4	7.8	11.4	9.7	8.2	10.6	6.9		6.8	7.5	6.7	5.7	6.2	5.8	6.7	5.9	5.8
57	481.0	548.3	261.8	151.3	125.6	9.2	16.2		2.2	2.4	2.6	5.8	2.3	2.9	18.8	21.2	2.6		2.6	3.7	3.8	4.8	4.6	5.5	6.6	6.4	7.4
58	38.1	38.2	38.8	36.9	43.8	6.1	13.5		15.9	13.3	12.8	4.9	10.8	9.4	8.4	10.6	7.2		7.2	7.5	6.7	6.4	6.5	6.3	7.1	6.4	7.7
59	195.2	115.0	12.0	59.0	82.8	4.6	13.5		8.8	8.1	8.9	6.7	8.6	8.7	9.0	10.6	6.8		6.4	6.3	5.6	4.9	5.1	5.2	5.5	5.0	5.2

sample	Cs	Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	K	La	Ce	Pr	Sr	Nd	Sm	Zr	Hf	Eu	Ti	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	1795.2	145.7	33.6	19.7	21.7	3.1	13.5	52.6	11.4	9.5	9.2	18.1	9.1	8.1	4.3	7.1	7.2	4.7	5.8	5.7	5.3	4.2	4.5	4.6	5.0	4.6	4.2
4	81.0	220.0	182.6	30.8	31.5	7.7	13.5	86.8	20.2	16.3	15.2	17.3	13.5	10.5	8.7	10.6	9.4	6.3	7.8	7.4	6.5	5.2	5.5	5.7	5.7	5.5	5.1
5	1190.5	149.7	52.0	18.5	25.1	3.1	13.5	86.8	12.2	10.6	10.5	18.3	10.2	8.9	5.6	7.1	8.1	6.3	7.0	6.2	5.7	4.8	4.9	5.4	5.2	4.8	4.8
6	238.1	140.5	48.0	20.9	22.2	3.1	13.5	76.1	13.6	11.9	11.7	6.0	11.2	9.2	5.2	7.1	6.8	4.8	6.5	5.5	5.4	4.3	4.7	5.0	5.0	4.8	5.2
7	47.6	116.7	53.6	32.0	41.4	12.3	16.2	43.2	7.7	8.3	8.9	19.5	8.8	8.1	15.2	17.7	5.6	9.6	6.6	6.8	6.6	5.6	6.0	6.5	6.9	6.2	6.8
9	14.3	23.8	31.7	8.6	24.1	1.5	13.5		13.5	6.9	7.2	7.5	6.5	5.2	2.2	3.5	3.6		3.7	3.2	3.2	3.2	2.8	3.0	3.1	2.7	3.1
10	81.0	308.3	329.6	44.3	48.8	4.6	13.5	143.2	21.8	17.0	15.5	20.7	14.0	11.0	7.5	10.6	9.8	5.8	7.7	7.1	6.4	5.1	5.3	5.5	5.7	5.5	5.5
11	114.3	258.3	115.5	118.1	127.6	9.2	13.5	107.6	36.2	28.7	26.4	15.7	23.6	18.6	18.3	21.2	11.6	7.7	13.0	11.4	10.0	8.4	8.3	9.1	9.1	8.4	8.2
12	209.5	143.7	79.5	17.2	21.2	3.1	13.5	91.0	11.4	10.0	10.3	21.3	10.0	8.4	5.6	7.1	8.9	5.2	6.9	6.3	5.7	4.7	4.9	5.2	5.0	5.0	4.6
13	304.8	135.3	155.1	13.5	17.7	1.5	13.5	79.9	9.6	8.3	8.2	17.9	8.0	6.8	5.8	7.1	7.2	4.2	5.2	4.6	4.6	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.0
14	628.6	90.8	59.3	14.8	17.2	1.5	13.5	48.1	9.6	8.4	8.7	17.5	8.3	7.6	4.0	7.1	7.0	4.8	5.8	5.3	4.9	4.1	4.3	4.3	4.5	4.3	4.2
15	161.9	109.3	58.0	43.1	46.8	3.1	13.5		17.6	14.2	13.3	11.3	11.9	9.7	6.3	7.1	7.5		6.5	5.7	5.1	4.3	4.6	4.5	4.3	4.3	4.2
17	104.8	64.3	43.9	35.7	39.4	6.1	13.5		24.5	20.2	19.0	16.2	17.9	13.9	8.6	10.6	10.6		9.5	7.8	6.9	5.6	6.0	6.3	6.2	5.7	5.7
20	185.7	185.0	271.4	23.4	31.0	3.1	13.5	73.0	17.6	14.1	14.2	14.0	13.5	12.1	6.8	7.1	11.1	6.3	8.3	8.0	7.0	5.8	6.0	6.6	6.7	6.2	5.7
21	290.5	266.7	171.3	84.9	81.8	7.7	13.5	149.4	32.5	27.0	21.1	5.5	17.7	12.1	12.9	14.1	8.3	3.2	7.9	7.3	6.5	5.6	5.5	6.2	6.6	6.2	6.3
22	195.2	155.7	55.3	140.2	149.8	9.2	13.5	0.0	38.9	31.8	29.3	11.1	26.8	20.7	19.3	24.7	12.2		14.8	13.0	11.3	9.3	9.5	10.3	10.5	9.8	9.1
26	495.2	64.2	31.5	65.2	70.9	4.6	13.5	34.9	19.7	16.9	15.9	13.2	14.9	12.1	9.9	10.6	12.1	5.8	8.3	7.5	6.8	6.0	6.1	6.2	6.4	5.7	5.7
27	76.2	123.5	61.2	64.0	70.4	10.8	16.2	91.3	25.2	19.7	17.8	10.7	15.5	12.3	13.2	14.1	8.6	7.1	9.0	8.2	7.6	6.5	6.6	6.8	7.1	6.4	6.2
29	157.1	175.0	75.0	60.3	66.5	7.7	13.5	77.8	18.1	14.8	14.1	7.1	12.2	10.2	10.0	10.6	7.2	5.7	7.6	6.9	6.6	5.6	5.9	6.4	6.2	6.2	5.7
30	66.7	126.8	55.7	70.1	76.8	7.7	13.5		23.7	19.5	17.8	13.7	15.9	12.1	11.2	14.1	8.3		8.7	7.5	6.8	6.2	5.8	6.6	6.6	6.2	6.0

Tabla N° A.VI. Valores de normalización para el "Manto primitivo". (White, 2001)