

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS ROCAS QUE CONFORMAN LAS FORMACIONES EL CANTIL, CHIMANA Y QUERECUAL (EDAD CRETACICO) AL SUROESTE DE ISLA LA BORRACHA, AL NORTE DE PUERTO LA CRUZ, VENEZUELA.

**TRABAJO DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES: PÉREZ
MANUEL Y NÚÑEZ
RANIER PARA OPTAR AL
TÍTULO DE GEOLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, FEBRERO DE 2011

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado intitulado: “**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS ROCAS QUE CONFORMAN LAS FORMACIONES EL CANTIL, CHIMANA Y QUERECUAL (EDAD CRETACICO) AL SUROESTE DE ISLA LA BORRACHA, AL NORTE DE PUERTO LA CRUZ, VENEZUELA**”, presentado por los bachilleres **Pérez Manuel y Núñez Ranier**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:

Firma

Profesor Lino Castillo

(Asesor)

(Jurado)

(Jurado)

Profesora Rosario Rivadulla
Jefe del Departamento de Geología

Ciudad Bolívar, _____ de _____ de 2011

DEDICATORIA

A mis amados padres José Tomas y Marbelyn, por su amor, apoyo, consejos y atención que me brindaron incondicionalmente para lograr esta meta. A mis hermosas hermanas María José y Josmarlyn, por aguantarme y regalarme su amistad, gracias a ellas soy mejor persona. A mi abuelo Manuel por los consejos que siempre me ha dado, él y mi padre son un ejemplo a seguir por sus ganas de superación y logros. De igual manera dedico este logro por su amor de familia y amistad a mi abuela Orfelina, a mis tíos Daniel y Yaritza, y a mis primas Daniela y Marialejandra.

Manuel Tomas Pérez.

Este trabajo de grado se la dedico principalmente a mi familia. A mis padres y a mi abuela q me dieron todo el apoyo incondicional y necesario a lo largo de toda mi carrera, gracias a ellos estoy logrando una meta muy importante en mi vida, se la dedico a Dios por brindarme vida y salud para darle este gran orgullo a mi familia.

Ranier Nuñez.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por darme la vida, inteligencia, fortaleza y salud para alcanzar tan preciado mérito.

A la Universidad de Oriente, mi casa de estudio, y a sus profesores que impartieron y brindaron sus conocimientos para ser profesional.

A mi familia a la cual le dedico totalmente este logro y agradezco por su amor, apoyo, consejos que siempre me han brindado incondicionalmente. Especialmente a mis padres, mis abuelos y a mis hermanas.

A nuestro tutor académico Profesor Lino Castillo por tomarme en cuenta, por su apoyo, colaboración, paciencia, consejos y amistad que me brindó durante mis estudios y para la realización de este trabajo de grado.

A mi hermana Josmarlyn, porque con ella compartí toda esta bella etapa, al igual con mi hermano y compañero Ranier Nuñez, y a todos mis amigos que son mi otra familia, al grupo de Radio Geológica de Venezuela, por ser parte de algo inolvidable e importante para mí durante mis estudios y a otras personas especiales que pusieron un granito de arena para que yo alcanzara esta meta. Agradezco a todas las personas que me ayudaron en P.D.V.S.A Morichal, por su apoyo, conocimientos y amistad incondicional que ayudaron en mi primera experiencia laboral.

Manuel Tomas Pérez.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y vida y llevarme por el buen camino, a mis padres por apoyarme en todo momento.

A la Universidad de Oriente por ser mi casa de estudio y por formarme académica y profesionalmente, a mis compañeros de estudios y en especial a mi compañero de tesis Manuel Tomas Pérez por apoyarme a lo largo de toda mi carrera, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento. Gracias a todas esas personas que en algún momento de mi carrera me brindaron su ayuda.

Ranier Nuñez.

RESUMEN

El área de estudio se encuentra ubicada al Suroeste de Isla La Borracha (Sector La Cueva) al Norte de Puerto La Cruz, estado Anzoátegui. Las formaciones El Cantil, Chimana y Querecual fueron analizadas químicamente con la finalidad de establecer un patrón de correlación que para la identificación y comparación de estas formaciones en otras áreas. Para ello se describieron macroscópicamente las rocas; se elaboraron perfiles sedimentológicos; y se caracterizaron químicamente las muestras recolectadas en campo mediante la técnica de (ICP) a través de la obtención de valores en porcentaje de 9 óxidos: Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , K_2O , MgO , TiO_2 , Na_2O y P_2O_5 . La interpretación de los datos dio como resultado que la Formación Chimana es la formación que presentó más variaciones químicas relacionadas a los cambios de facies sedimentarias que presenta, además ésta formación se definió como la más silíceas por su alto contenido de SiO_2 en la mayoría de sus muestras, la Formación Querecual es la más arcillosa y la Formación El Cantil la más calcárea.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiv
LISTA DE ANEXOS.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 Situación objeto de Estudio.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Alcance de la investigación	5
1.5 Límites de la investigación.....	5
CAPÍTULO II. GENERALIDADES.....	6
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	6
2.2 Características físicas - naturales del área de estudio.....	7
2.2.1 Geomorfología.....	7
2.2.2 Vegetación.....	8
2.2.3 Clima.....	8
2.3 Geología regional.....	12
2.3.1 Serranía del Interior.....	12
2.3.2 Cuenca Oriental.....	16
2.3.2.1 Geología histórica.....	17
2.3.2.2 Modelo tectónico actual.....	17
2.3.2.3 Proceso evolutivo sedimentario de la Cuenca Oriental.....	18
2.4 Geología local.....	22
2.4.1 Formaciones presentes en el área de estudio.....	22

2.4.1.1	El cantil. Grupo Sucre. Cretácico; Aptiense a Cenomaniense.....	22
2.4.1.2	Chimana. Grupo Sucre. Cretacico (Albiense).....	27
2.4.1.3	Querecual. Grupo Guayuta. Cretcico (Albiense Tardío-Santoniense)...	34
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....		43
3.1	Procesos sedimentarios.....	43
3.1.1	Destrucción de rocas preexistentes por meteorización y erosión.....	43
3.1.2	Transporte de partículas.....	44
3.1.3	Sedimentación o depósito.....	44
3.2	Geoquímica.....	45
3.2.1	Geoquímica de rocas sedimentarias.....	45
3.2.2	Composición química de las rocas sedimentarias.....	46
3.2.3	Quimio facies.....	48
3.2.4	Elementos móviles.....	48
3.2.5	Elementos inmóviles.....	48
3.2.6	Elementos mayoritarios de rocas sedimentarias.....	50
3.2.6.1	Elementos mayoritarios y su significado geológico.....	50
3.2.7	Relaciones interelementales.....	51
3.2.8	Elementos minoritarios y traza.....	53
3.2.8.1	Elementos traza y su significado geológico.....	54
3.2.8.2	Relaciones interementales de elementos traza.....	54
3.3	Quimioestratigrafía.....	56
3.4	Bases teóricas de los métodos analíticos.....	57
3.4.1	Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES).....	58
3.5	Bases teóricas de los métodos estadísticos.....	59
3.5.1	Métodos estadísticos univariantes.....	60
3.5.2	Estadística descriptiva.....	60
3.5.3	Medidas de tendencia central.....	61
3.5.3.1	Media o promedio.....	61
3.5.3.2	Mediana.....	62
3.5.4	Medidas de variabilidad.....	63
3.5.4.1	Varianza.....	63
3.5.4.2	Desviación estándar.....	63
3.5.4.3	Valores extremos y rango.....	63
3.5.4.4	Percentiles.....	63
3.5.5	Estadística gráfica.....	64

3.5.5.1	Histogramas de frecuencia.....	64
3.5.5.2	Polígonos de frecuencia.....	64
3.5.5.3	Curvas de frecuencia.....	65
3.6	Métodos estadísticos bivariantes.....	67
3.6.1	Diagramas de dispersión (correlación entre pares de variables).....	67
3.7	Métodos estadísticos multivariantes.....	69
3.7.1	Diagramas Ternarios.....	69
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....		72
4.1	Nivel de investigación.....	72
4.2	Diseño de investigación.....	72
4.3	Flujograma de la metodología.....	74
4.3.1	Creación de una base de datos.....	75
4.3.1.1	Selección del área de estudio.....	75
4.3.1.2	Recopilación bibliográfica.....	75
4.3.1.3	Planificación de logística para la salida de campo.....	75
4.4	Trabajo de campo.....	76
4.4.1	Levantamiento geológico del afloramiento.....	76
4.4.2	Recolección e identificación de las muestras.....	76
4.5	Análisis de las muestras.....	76
4.5.1	Análisis químicos de las muestras mediante la técnica de Induced Couple Plasma (ICP).....	77
4.5.1.1	Solución de ensayo en blanco de calibración.....	78
4.5.1.2	Equipos utilizados.....	78
4.5.1.3	Descomposición de la porción de ensayo.....	80
4.5.1.4	Expresión de los resultados: el contenido de cada análisis expresado en % se calcula por.....	81
4.5.2	Tratamiento estadístico de los datos.....	81
4.5.2.1	Estadística univariante.....	82
4.5.2.2	Estadística bivariante.....	82
4.5.2.3	Estadística multivariante.....	83
4.5.2.4	Geoquímica sedimentaria.....	83
CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		85
5.1	Características sedimentológicas.....	85
5.1.1	Formación Querecual.....	85
5.1.2	Formación Chimana.....	89

5.1.3	Formación El Cantil.....	92
5.2	Geoquímica sedimentaria.....	94
5.2.1	Estadística univariante.....	94
5.2.1.1	Histogramas de frecuencia.....	97
5.2.2	Estadística bivariante.....	100
5.2.2.1	Óxido de sílice versus óxido de calcio.....	100
5.2.2.2	Óxido de sílice versus óxido de aluminio.....	102
5.2.2.3	Óxido de aluminio versus óxido de potasio.....	104
5.2.2.4	Óxido de potasio versus óxido de hierro.....	105
5.2.2.5	Óxido de aluminio versus óxido de hierro.....	107
5.2.2.6	Óxido de sílice versus óxido de magnesio.....	109
5.2.3	Estadística multivariante.....	109
5.2.3.1	Diagramas ternario SiO ₂ , MgO y Al ₂ O ₃	111
5.2.3.2	Diagrama ternario SiO ₂ , MgO y Fe ₂ O ₃	112
5.2.3.3	Diagrama ternario SiO ₂ , Al ₂ O ₃ y Fe ₂ O ₃	112
5.2.3.4	Diagrama ternario Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ y K ₂ O.....	113
5.2.3.5	Diagrama ternario K ₂ O, Fe ₂ O y CaO.....	114
5.2.4	Diagrama de Herrón.....	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		117
Conclusiones.....		117
Recomendaciones.....		118
REFERENCIAS.....		119
ANEXOS.....		129

LISTA DE FIGURAS

	Pagina
2.1	Ubicación geográfica del área de estudio. (Google Earth, 2010)..... 7
2.2	Temperaturas anuales de los años 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui)..... 9
2.3	Humedad anual 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui)..... 10
2.4	Insolación anual 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui)..... 10
2.5	Radiación Solar anual 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui)..... 11
2.6	Mapa histórico-estructural de la Serranía del Interior (Fernández et al. 2006)..... 13
2.7	Provincias tectónicas de la Serranía del Interior y su localización, área de estudio. (Stephan, J. 1990)..... 14
2.8	Cuenca Oriental de Venezuela (Modificado del L.E.V. 1970)..... 19
2.9	El Cantil (R. A. Liddle, 1928, p. 124)..... 23
2.10	Chimana (Hedberg y Pyre, 1944)..... 27
2.11	Querecual (H. D. Hedberg, 1937-a, p. 1990.)..... 35
3.1	Diagrama de movilidad de los elementos en función del radio iónico (r) y de la carga iónica (Z) (Modificado de Sandoval, 2000)..... 49
3.2	Esquema general de un histograma con su polígono de frecuencia. (Elaborado por el programa estadístico NCSS 2000)..... 65
3.3	Formas características de las curvas de frecuencia (Noguera y Yépez, 2002)..... 66
3.4	Esquema general de un diagrama de dispersión (Rodríguez et al., 2000)..... 68
3.5	Diagramas de dispersión mostrando diferentes correlaciones variables. (Arreaza, C. 2000)..... 69
3.6	Diagrama ternario. (Canavos, G. 1988)..... 70
4.1	Flujograma de la metodología..... 74
4.2	Espectrómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado, INGEOMIN 2010..... 77
4.3	Cristalería habitual de laboratorio, INGEOMIN 2010..... 79

4.4	Hoja de Microsoft Excel 2007 para la elaboración de diagramas de dispersión.....	82
4.5	Hoja del software Tridraw 4.5.....	83
4.6	Diagrama de Herrón para la clasificación sedimentos terrígenos (Herrón, M 1986).....	84
5.1	Imagen panorámica de la Formación Querecual (Parte basal).....	85
5.2	Imagen de la Formación Querecual, lutitas concreciónales intercaladas con calizas (Parte basal).....	86
5.3	Imagen al detalle de la Formación Querecual, Lutitas intercaladas con calizas fosilíferas (Parte basal).....	86
5.4	Imagen de la Formación Querecual lutitas concreciónales intercaladas con calizas (Parte media).....	87
5.5	Imagen de la Formación Querecual, lutitas concreciónales intercaladas con calizas, (parte media).....	88
5.6	Imagen panorámica de la Formación Querecual, (parte superior).....	88
5.7	Imagen de la Formación Querecual, lutitas concreciónales de gran espesor, (parte superior).....	89
5.8	Imagen panorámica de la Formación Chimana.....	89
5.9	Imagen de la Formación Chimana, lutitas laminadas y friables, (parte basal).....	90
5.10	Imagen al detalle de la Formación Chimana,arenisca glauconítica (parte media).....	91
5.11	Imagen de la Formación Chimana, arenisca con marcas de oxidación, (parte superior).....	91
5.12	Imagen al detalle de la Formación Chimana, calizas fosilíferas (parte superior).....	92
5.13	Imagen panorámica de la Formación El Cantil.....	93
5.14	Imagen de la Formación El Cantil, caliza muy fosilífera.....	93
5.15	Histogramas de frecuencia del SiO ₂ y el CaO, realizados con el programa SPSS 7.5.....	98
5.16	Histogramas de frecuencia del Al ₂ O ₃ y el Fe ₂ O ₃ , realizados con el programa SPSS 7.5.	98
5.17	Histogramas de frecuencia del K ₂ O y el MgO, realizados con el programa SPSS 7.5.	99
5.18	Histogramas de frecuencia del Na ₂ O, P ₂ O ₅ y TiO ₂ , realizados con el programa SPSS 7.5.	99
5.19	Gráfico SiO ₂ vs CaO, donde se muestra la línea de tendencia y el R ² ..	101
5.20	Gráfico SiO ₂ vs CaO por Formación.....	101
5.21	Gráfico SiO ₂ vs Al ₂ O ₃ , donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R ²	103
5.22	Gráfico SiO ₂ vs Al ₂ O ₃ por Formación.....	103

5.23	Gráfico Al_2O_3 vs K_2O , donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R^2	104
5.24	Gráfico Al_2O_3 vs K_2O por Formación.....	105
5.25	Gráfico K_2O vs Fe_2O_3 , donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R^2	106
5.26	Gráfico K_2O vs Fe_2O_3 por Formación.....	107
5.27	Al_2O_3 vs Fe_2O_3 , donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R^2	108
5.28	Al_2O_3 vs Fe_2O_3 por Formación.....	108
5.29	SiO_2 vs MgO , donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R^2	110
5.30	Gráfico SiO_2 vs MgO por Formación.....	110
5.31	Diagrama ternario SiO_2 , MgO y Al_2O_3	111
5.32	Diagrama ternario SiO_2 , MgO y Fe_2O_3	112
5.33	Diagrama ternario SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3	113
5.34	Diagrama ternario Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O	114
5.35	Diagrama ternario K_2O , Fe_2O y CaO	115
5.36	Diagrama de Herrón.....	116

LISTA DE TABLAS

	Pagina
2.1	Coordenadas UTM de la zona de estudio 6
3.1	Análisis químicos de rocas sedimentarias seleccionadas, valores en porcentaje (Modificado de Raymond 1997)..... 46
3.2	Significado geológico de los óxidos mayoritarios..... 52
3.3	Significado geológico de algunos elementos minoritarios..... 55
3.4	Agrupaciones de componentes químicos de las rocas según sus afinidades químicas (Modificado de Noguera y Yépez, 2002)..... 57
3.6	Principales métodos estadísticos empleados en estudios geoquímicos.... 60
3.5	Medidas utilizadas en estadística descriptiva para conjunto de datos utilizados en este trabajo. (Modificada de Noguera y Yépez, 2002..... 62
5.1	Resultados de los análisis de Induced Couple Plasma (ICP) de la Formación Querecual..... 95
5.2	Resultados de los análisis de Induced Couple Plasma (ICP) de la Formación Chimana..... 96
5.3	Resultados de los análisis de Induced Couple Plasma (ICP) de la Formación El Cantil..... 97
5.4	Resultado de los análisis descriptivos para cada uno de los elementos de las muestras tomadas, realizado con el programa SPSS 7.5..... 97

LISTA DE ANEXOS

	Página
HOJA SEDIMENTOLÓGICA DE LAS FORMACIONES EL CANTIL, CHIMANA Y QUERECUAL QUE AFLORAN EN ISLA LA BORRACHA (SECTOR LA CUEVA).....	129

INTRODUCCIÓN

Para el estudio de las rocas sedimentarias se utilizan diversas técnicas para obtener una interpretación geológica más precisa. Como sabemos las rocas sedimentarias presentan diferentes composiciones por su tipo de origen, se pueden emplear varias herramientas para su análisis como lo es los análisis químicos efectuados a las muestras tomadas a lo largo de los afloramientos estudiados, y así caracterizar químicamente las muestras tomadas en campo, lo que nos ayudara a comprender y describir específicamente la información geológica del área que abarca este Trabajo de Grado ya que no existen estudios químicos anteriores del lugar. El área de estudio se encuentra al Suroeste de Isla La Borracha al Norte de Puerto La Cruz, Venezuela, donde se encuentran aflorando las formaciones El Cantil, Chimana y Querecual.

En el área del Peñón, estado Sucre, Venezuela, han sido cartografiadas en el mapa generado por la Creole Petroleum Corporation, la Formación Barranquín y el Grupo Guayuta en el área de Cerro Blanco, sin embargo, se notan secuencias de rocas muy similares a las presentes en la secuencia que aflora en Isla Borracha características de la Formación Chimana. La carencia de un patrón de comparación para determinar la presencia o no de esta formación en el área ha sido el factor fundamental que motiva al desarrollo de este trabajo de investigación el cual daría muy buenos aportes al mapa generado en el año 64, debido a esto, el propósito de este estudio es caracterizar químicamente estas formaciones con el fin de crear un patrón de correlación. El estudio se llevara a cabo empezando con una etapa de oficina que comprende la creación de una base de datos, la selección de área de estudio y la revisión bibliográfica, luego en la etapa de campo de realizara el levantamiento geológico de los afloramientos y la recolección de la muestras para su posterior análisis químico mediante la técnica de Induced Couple Plasma y tratamiento estadístico de datos en la etapa de análisis, por último se realizara la etapa resultados.

El trabajo se encuentra conformado por los siguientes capítulos: I Situación a investigar, II Generalidades, III Marco teórico, IV Metodología de trabajo, V Análisis e interpretación de los resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Situación Objeto de Estudio

En los años 60 la empresa Creole Petroleum Corporation realizó una expedición de geología de superficie hacia la Serranía del Interior teniendo como fin cartografiar las diferentes formaciones presentes en el área. Estos mapas fueron finalizados en el año 1964 y hasta la fecha aun siguen vigentes, sin embargo, nuevos cortes de carretera (Autopista Puerto La Cruz-Cumaná) y la explotación de rocas para la construcción (Canteras) han dejado expuestas secuencias de rocas que permiten una mejor descripción de las rocas presentes en la zona. Hacia el área del peñón se han reportado algunas areniscas glauconíticas muy parecidas a las presentes en la Formación Chimana las cuales han sido mapeadas como Grupo Guayuta. El propósito de este estudio es la generación de un patrón de comparación basado en las características químicas que poseen las rocas en una secuencia bien definida en cuanto a características litológicas, paleontológicas y estructurales como lo son las unidades presentes en Isla La Borracha. Estas formaciones (El Cantil; Chimana y Querecual) han sido muy bien estudiadas en esta isla lo cual permitirá elaborar patrones químicos utilizados hoy en día como herramienta de correlación donde la geoquímica ayudará a dar las explicaciones necesarias a posibles variaciones en cada uno de los elementos químicos a ser estudiados.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar químicamente las rocas que conforman las formaciones El Cantil, Chimana y Querecual que se encuentran aflorando al Suroeste de Isla La Borracha al Norte de Puerto La Cruz, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Definir las diferentes litofacies presentes en el área, mediante la descripción macroscópica de las rocas.
2. Elaborar el perfil sedimentológico de la sección levantada a fin de compararlo con la información química de las rocas.
3. Caracterizar químicamente las muestras de rocas mediante la técnica de Induced Couple Plasma (ICP).
4. Aplicar métodos estadísticos para la agrupación de datos y posterior definición química de unidades.
5. Analizar las características químicas de cada formación para su utilización como patrón de correlación.

1.3 Justificación de la investigación

En el área el peñón han sido cartografiadas en el mapa generado por la Creole Petroleum Corporation la Formación Barranquin y el Grupo Guayuta en el área de

Cerro Blanco, sin embargo, se nota una secuencia de areniscas glauconíticas y lutitas de color violeta muy similares a las presentes en la secuencia que aflora en Isla Borracha características de la Formación Chimana. La carencia de una muestra patrón de comparación para determinar la presencia o no de esta formación en el área ha sido el factor fundamental que motiva al desarrollo de este trabajo de investigación el cual daría muy buenos aportes al mapa generado en el año 64.

1.4 Alcance de la investigación

Esta investigación tiene como alcance caracterizar químicamente 36 muestras de roca que permitirán crear un patrón de comparación químico que podrá ser utilizado para correlacionar estas formaciones en otras áreas donde la litoestratigrafía no sea un factor concluyente (Cerro Blanco-Sector El Peñón, Cumaná, estado Sucre).

1.5 Límites de la investigación

La limitación más importante es la falta de recursos para la logística prevista en el estudio en campo, así como también, la toma de muestras, traslado de las mismas y sus respectivos análisis.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la región Nororiental del país, en el Parque Nacional Mochima, entre los estados Anzoátegui y Sucre, específicamente en el sector Suroeste de la Isla La Borracha, frente a la bahía Pozuelos. (Tabla y figura 2.1).

Tabla 2.1 Coordenadas UTM de la zona de estudio.

PUNTOS	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
Afloramiento 1	307867	1138169
Afloramiento 2	307988	1138033
Afloramiento 3	307929	1138003
Afloramiento 4	307913	1137961
Afloramiento 5	307870	1137975
Afloramiento 6	307586	1138271

El acceso al área de estudio es a través de vía marítima, partiendo desde la ciudad de Puerto la Cruz a la cual se llega por vía carretera, se toma una embarcación en la Marina ubicada en el Paseo Colon hasta llegar a la Isla La Borracha donde posteriormente se hizo el reconocimiento de la zona y la toma de muestras.

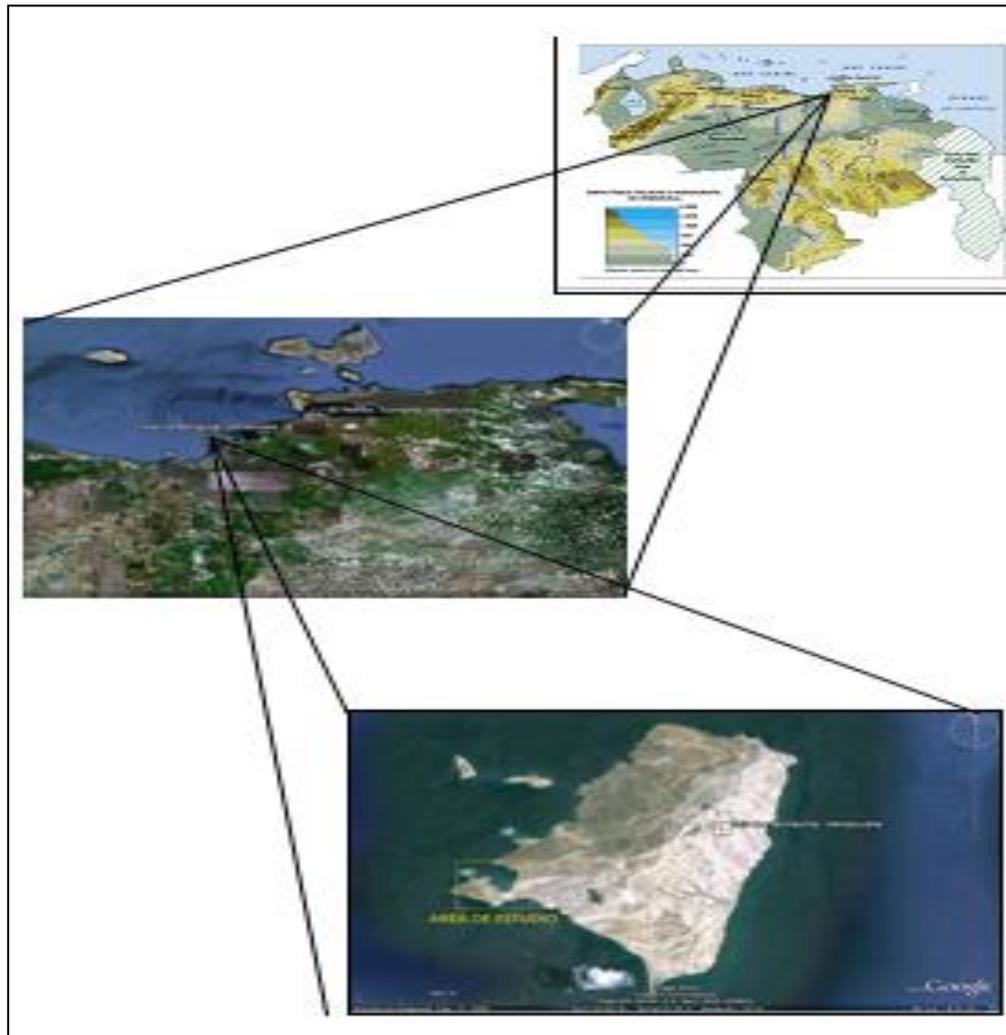


Figura 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio. (Google Earth, 2010).

2.2 Características físico-naturales del área de estudio

2.2.1 Geomorfología

La geomorfología observada en esta Región Insular corresponde a playas, bahías y ensenadas de gran belleza escénica e importantes fondos marinos, con presencia de comunidades de coral de gran riqueza y diversidad biológica.

Adentrándose a la zona el relieve que se observa es escarpado, con valles estrechos, donde las faldas de las montañas prácticamente llegan hasta la costa.

2.2.2 Vegetación

La vegetación característica de esta zona es del tipo Herbazales litorales halófilos y psomófilos, arbustales xerófilos litorales, bosques ombrófilos submontanos semidecíduos estacionales y formaciones de manglares. En el área marina se destacan los manglares costeros, el manglar rojo *Rhizophora mangle*, el negro *Avicennia nitida* y el botoncillo *Conocarpus erectus* y las praderas de fanerógamas en el espacio submarino, como la *Thalassia testudinum* y *Ruppia maritima*, importante refugio de peces, aves y alimento para las tortugas marinas. Las islas y montañas que se encuentran cercanas a las costas se destacan con una vegetación de especies como la hierba de vidrio *Sesuvium portulacastrum*, *Batis maritima* y cactáceas. En el bosque decídúo están presentes el araguaney *Tabebuia chrysantha* mientras que en los bosques nublados costeros se encuentran especies arbóreas como el samán *Pithecelobium saman*, junto con numerosas lianas y epífitas. Ascendiendo las montañas se encuentran especies como la vera de palo *Bulnesia arborea*, el guayacán *Guicum officinale*, el cují yaque *Prosopis juliflora*, el dividive *Caesalpinia coriaria* y el araguaney *Tabebuia chrysantha*, (Gabaldón, M. 1992).

2.2.3 Clima

El clima de esta zona es árido a lluvioso cálido con temperaturas entre los 24° C y 28° C, con precipitaciones anuales entre los 150 a 2.100 mm. Según el departamento de climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, Estado Anzoátegui, se señala que para la zona de Mochima, existe una temperatura media anual de (27 +/- 2) °C; la máxima temperatura se registra en los meses de Abril y Mayo, la humedad relativa es bastante alta, con una media anual de

76%; mayor durante los meses de Junio a Noviembre, cuando la media sobre pasa el 78%; los mínimos se presentan durante los meses de Febrero y Marzo con 72%; la humedad relativa máxima ha sido de 100% para los meses de Junio – Agosto, la humedad mínima media se registra en Febrero y Marzo con 46%. La insolación diaria media anual es de 7,9 horas con máximas de 9,2 a 8,6 horas diarias en enero- Abril y mínima de 6,4 horas diarias en junio. La evaporación media anual es de 164,7 mm aproximadamente con máxima en Marzo - Abril (165 y 174 mm.) y las mínimas de Diciembre - Enero (121 y 117mm.). (Figuras 2.2, 2.3 y 2.4).

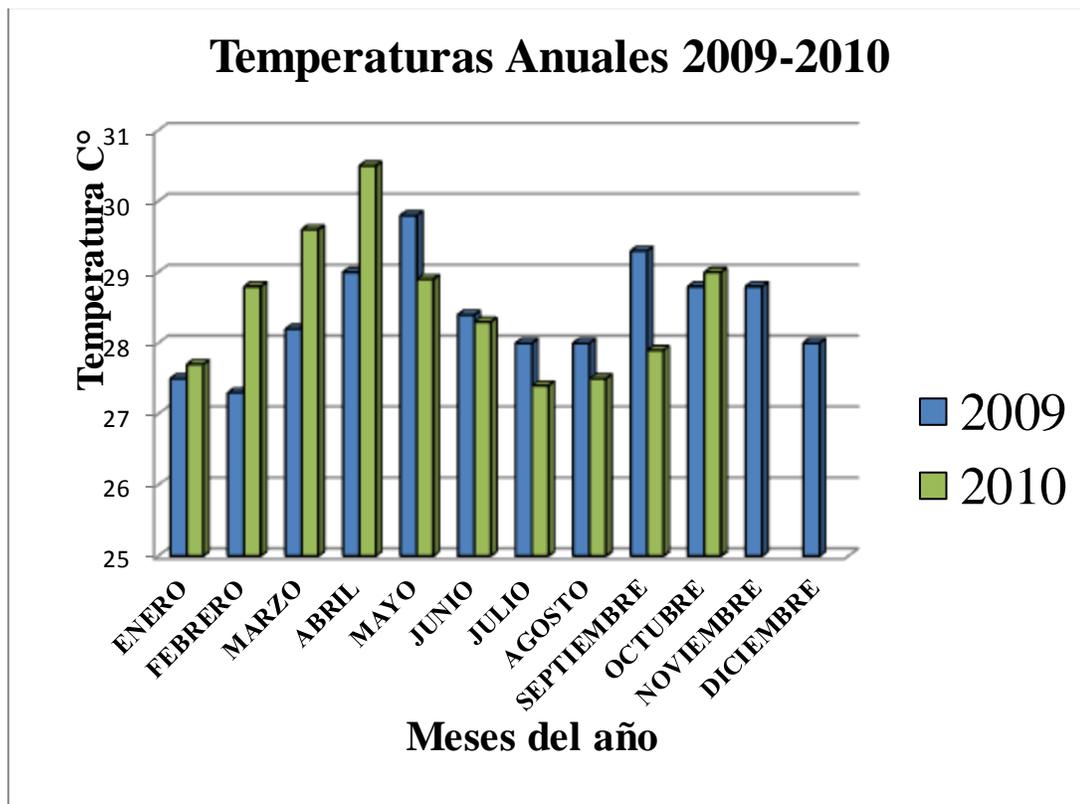


Figura 2.2 Temperaturas anuales de los años 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui).

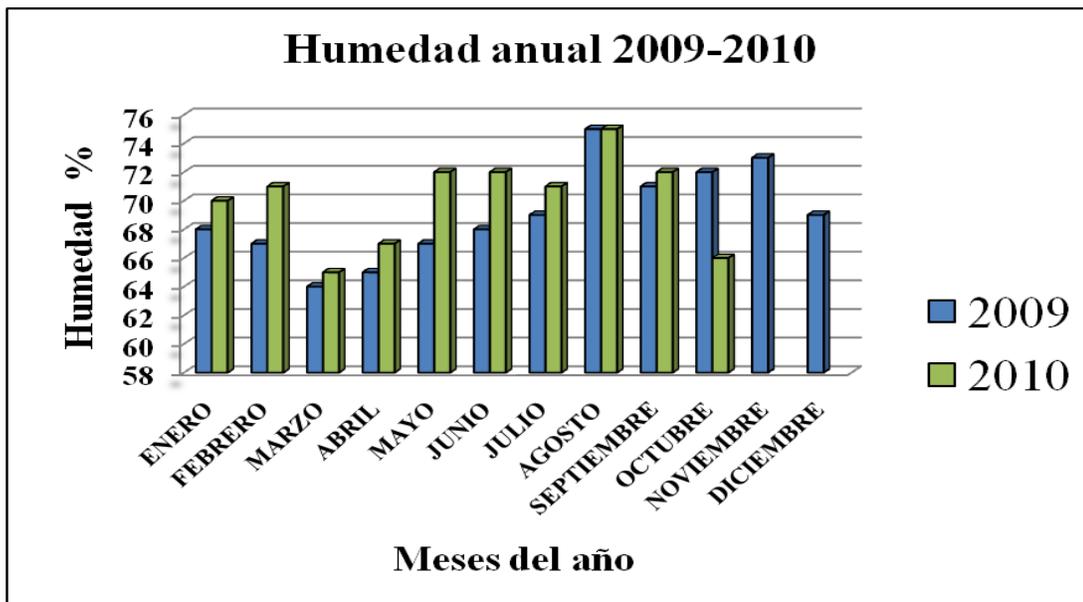


Figura 2.3 Humedad anual 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui).

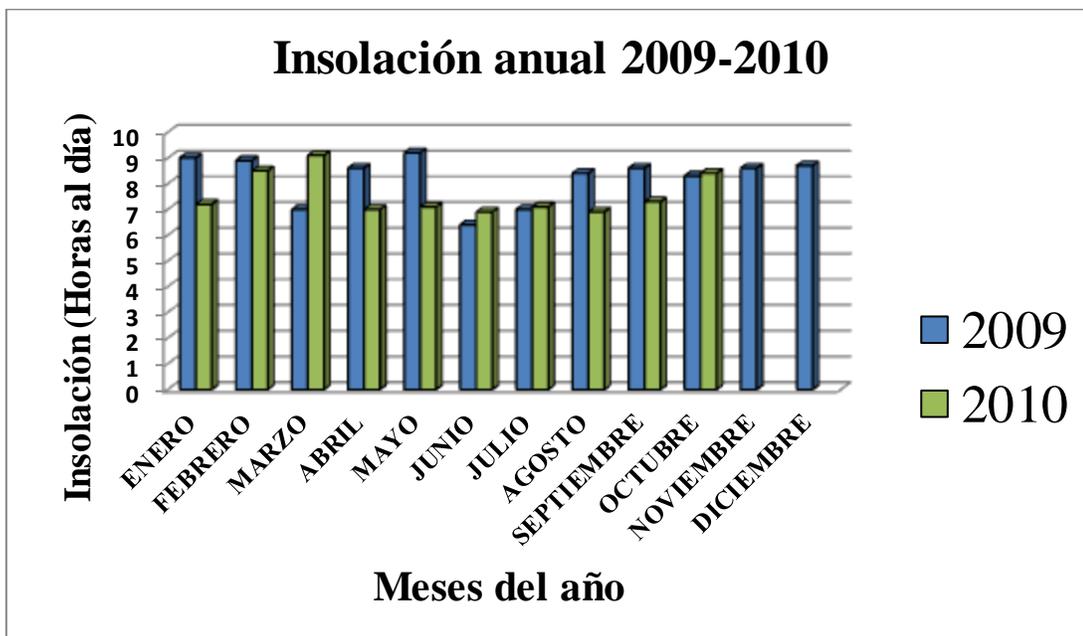


Figura 2.4 Insolación anual 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui).

En cuanto a la radiación que es emitida por el sol, o radiación solar, constituye la principal fuente de energía utilizada en todos los procesos que ocurren en la superficie de la tierra y la atmósfera, el aparato utilizado ampliamente en Venezuela para registrar la radiación solar directa y difusa en cal/cm²/día es el Actinógrafo de Robitzsch . A excepción del mes de Noviembre, todos los valores fueron mayores en el año 2009 que en el año 2010. La radiación solar media anual fue de 390 cal/cm²/día, con máximas de 424 cal/cm²/día y 422 cal/cm²/día, en los meses Abril y Mayo respectivamente y mínima de 293 cal/cm²/día en el mes de Diciembre. (Figura 2.5).

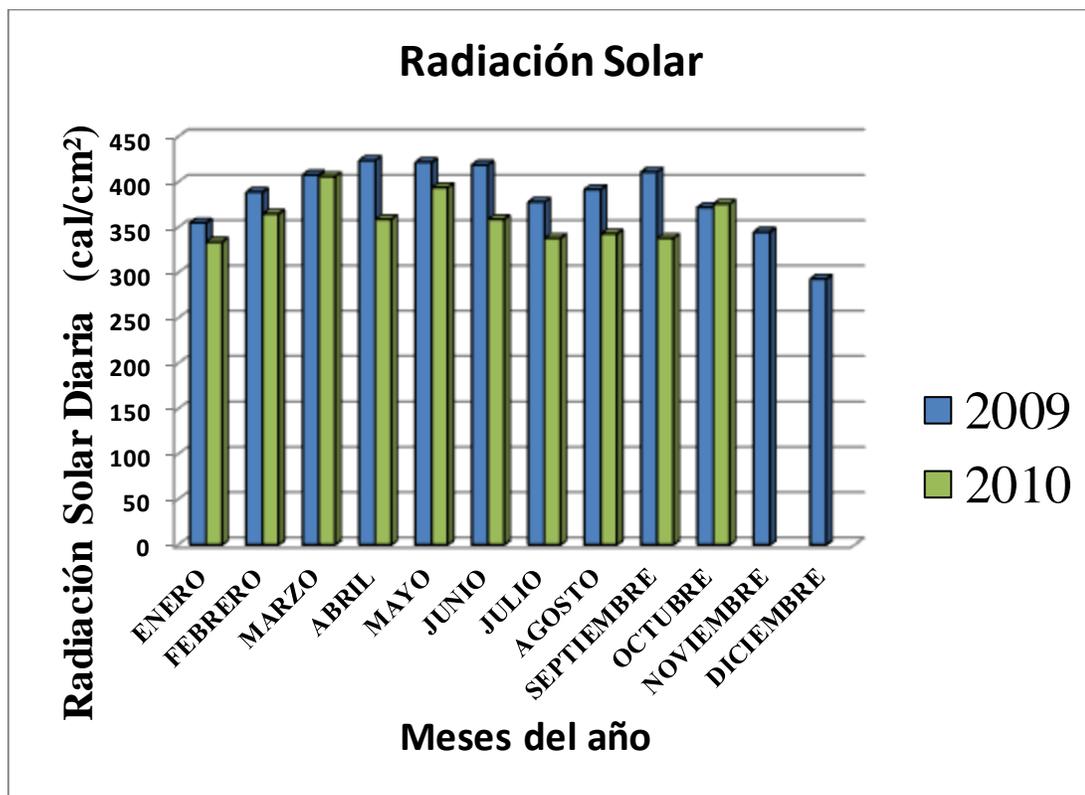


Figura 2.5 Radiación Solar anual 2009-2010 (Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui).

2.3 Geología Regional

2.3.1 Serranía del Interior

La Serranía del Interior comienza en la depresión de Unare al este de Barcelona (estado Anzoátegui), con rumbo N 70° E, llega a la depresión pantanosa del río San Juan y termina en los cerros de Guanoco y Guariquén (estado Sucre), donde cae al propio delta del río San Juan. La Serranía del Interior se encuentra limitada al Sur por la Cuenca Oriental de Venezuela que forma una depresión topográfica y estructural que tiene una longitud de 800 km en sentido Este – Oeste, un ancho de 200 km promedio en sentido N-S, encontrándose en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro. Las características distintivas y los ambientes de sedimentación de la Cuenca fluctúan de Este a Oeste, los ambientes más continentales se ubican hacia la parte más oriental y sur de la Cuenca mientras que los más marinos están en la región Noroccidental.

La Serranía del Interior Oriental está constituida por rocas del Cretácico a Recientes. Se caracteriza por cambios litológicos y aumentos progresivos de sus espesores hacia el N – NE.

Desde el punto de vista geomorfológico la Serranía del Interior forma un anticlinorio con declive geológico generalizado hacia la depresión occidental que termina en el Pico Turimiquire (2.595 m de altitud). En este macizo montañoso encuentran su origen los ríos Manzanares, Neverí, Amana y Guarapiche, (Figura 2.6).

La parte occidental de la Serranía la conforma la conjunción de los declives anticlinales escalonados que la integran, por ello, cada anticlinal presenta el declive de un horizonte guía más joven que se desplaza hacia el Este, por ello las formaciones terciarias menos consolidadas avanzan hacia el Noroeste.

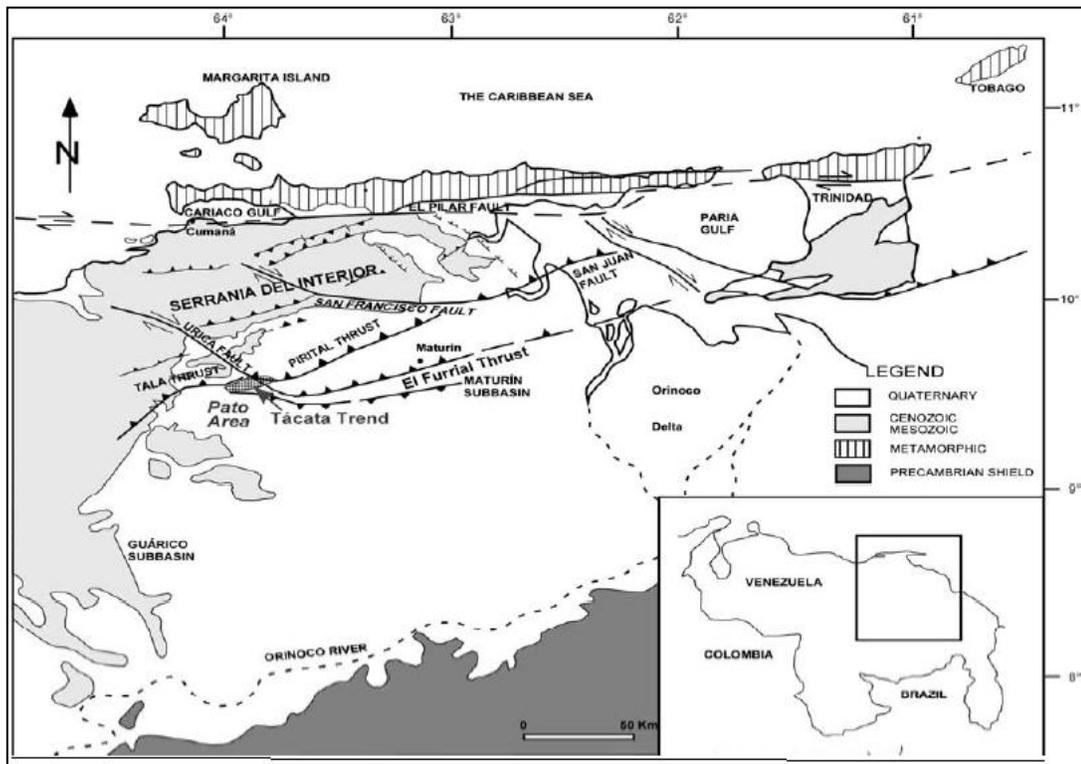


Figura 2.6 Mapa histórico-estructural de la Serranía del Interior (Fernández, J. et al. 2006).

La parte oriental está afectada por un sistema de fallas transversales de dirección NNO, denominadas Sistemas de Fallas de Azagua (Rosales, H. 1960). En esta parte la divisoria de aguas más importante la conforma la Hoya del río Caripe, el curso medio del río San Juan constituido por los cerros de San Bonifacio.

La Serranía del Interior es una cadena transpresiva (Stephan, J. 1982 en González de Juana et al, 1980) ubicada en la región septentrional de la Cuenca Oriental de Venezuela. Está constituida por tren de pliegues y corrimientos de rumbo N 60-80° E que afectan los sedimentos de edad Cretácico Inferior hasta el Mioceno Medio. Estos sedimentos junto con su substrato Pre- Cretácico cabalgan hacia el S - SE a lo largo del corrimiento de Pirital, con rumbo promedio N 60° E. Hacia el Oeste, pliegues y corrimientos se conectan en el corredor de fallas de Urica, el cual

constituye una megarampa lateral dextral para la Serranía del Interior y antefosa deformada (Aguasuelos Ingeniería, 1991).

Tres provincias tectónicas han sido identificadas por Aguasuelos Ingeniería (1991): el Compartimiento Bergantín – Guanta, al Norte; el Compartimiento Norte de Pirital y el Compartimiento de Santa Rosa, al oeste. Los dos primeros forman el bloque alóctono de la Serranía del Interior y están separados por el corrimiento de Mundo Nuevo. El Compartimiento de Santa Rosa está separado de ambos por el sistema de fallas de Urica. (Figura 2.7).

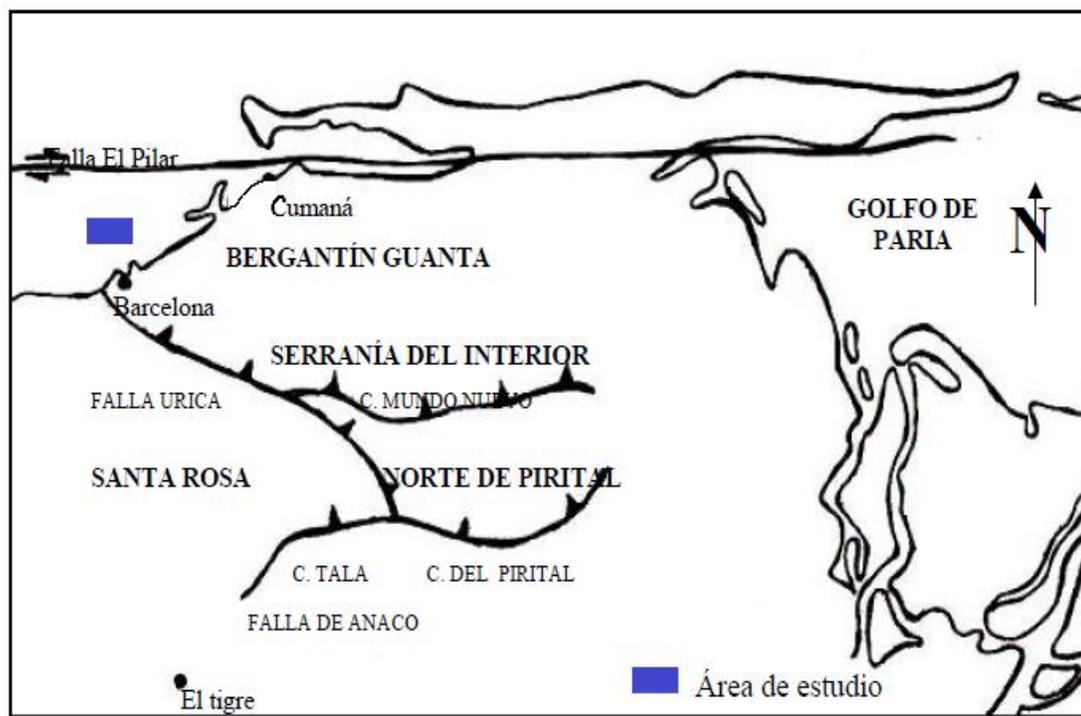


Figura 2.7 Provincias tectónicas de la Serranía del Interior y su localización, área de estudio. (Stephan, J. 1990).

La Serranía del Interior Oriental está formada por sedimentos de margen pasivo de edad Cretácica a Terciaria, cuyo acortamiento fue debido a una compresión en el Mioceno Medio.

Una parte del acortamiento se realizó de forma frágil originando cabalgamientos, corrimientos, fallas rumbo – deslizantes y pequeñas estructuras (grietas de tensión, estilolitas tectónicas y diaclasas). La otra parte del acortamiento originó pliegues isópacos que evidencian el comportamiento plástico de la roca. (Aguasuelos, 1991).

La tectónica de la Serranía del Interior Oriental es de tipo transpresivo asociado a la falla dextral de El Pilar, orientada en sentido E–O, cuya formación está relacionada al deslizamiento relativo de la Placa Caribe hacia el Este, en relación con las placas Norteamérica y Suramericana. A manera general, los volcamientos y corrimientos son más abundantes en el flanco Sur de la cordillera, especialmente en zona Piemontina, aunque (González de Juana, 1972), mostró en una zona próxima a la costa, entre Cumaná y Santa Fé, corrimiento con polaridad norte, estos volcamientos y corrimientos son considerados como el resultado de un esfuerzo antagónico al impulso, acortamiento y corrimiento hacia el Sur de la cordillera generados por el levantamiento en cuña del flanco Norte de la Serranía. Posteriormente esta hipótesis tectónica fue reafirmada por levantamientos sistemáticos de la región, realizadas por las Dirección de Geología del Ministerio de Energía y Minas. Estos plegamientos y corrimientos del norte están relacionados al hundimiento, posiblemente derrumbe, de la Fosa de Cariaco (Macsoy, O et al. 1995). El fallamiento Noroeste es uno de los más característicos de la Serranía del Interior de Venezuela y su margen continental, identificado también hacia el Este en la Isla de Trinidad. La transgresión marina se produce durante el Cretácico Inferior en Venezuela Oriental procede desde un solo frente ubicado al Norte de la Serranía del Interior. El mar avanza contra el borde del Cratón de Guayana, desarrollando ambientes neríticos – costeros y litorales, la sedimentación está controladas por avances y retiradas del mar a consecuencia de movimientos verticales del Cratón.

2.3.2 Cuenca Oriental

La Cuenca Oriental de Venezuela es una depresión topográfica y estructural ubicada en la región Centro-Este del país, con una longitud de 800 km de extensión aproximadamente en dirección Oeste-Este y 200 km de ancho de Norte a Sur, a través de los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas, Sucre y Delta Amacuro, llegando a extenderse hasta la Plataforma Deltana y Sur de Trinidad. Está limitada al Norte por el Cinturón Móvil de la Serranía del Interior Central y Oriental; al Sur por el río Orinoco, desde la desembocadura del río Arauca hacia el este hasta Boca Grande, siguiendo de modo aproximado el borde septentrional del Cratón de Guayana; al Este de la cuenca continúa por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al Sur de la Cordillera Septentrional de la Isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico al Este de la costa del Delta del Orinoco, y al Oeste, limita con el levantamiento de El Baúl y su conexión con el Cratón de Guayana, que sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao.

Topográficamente se caracteriza por extensas llanuras y un área de mesas que comprende los Estados Anzoátegui y Monagas. Su superficie abarca 164.000 km² y 20.000 pies de sedimentos paleozoicos, cretácicos y terciarios entre cadenas montañosas situadas al Norte del Escudo de Guayana como límite Sur.

La cuenca actual es asimétrica, con el flanco Sur inclinado ligeramente hacia el Norte, y un flanco Norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectados a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el Norte. Toda la cuenca se inclina hacia el Este, de manera que su parte más profunda se encuentra al Noreste, hacia Trinidad, donde se estima que pudieron acumularse unos 40.000 pies de sedimentos. Basándose en sus características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas se subdivide en tres

subcuencas, a saber: Subcuenca de Guárico, Subcuenca de Maturín y Subcuenca de Paria.

2.3.2.1 Geología histórica: la evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela es relativamente simple, por haber estado desde el Paleozoico apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana. Suaves movimientos de levantamientos y hundimientos de este borde ocasionaron transgresiones y regresiones extensas, que fueron de gran importancia para el desarrollo final de la cuenca. Aunque la Cuenca Oriental de Venezuela no mostró una forma similar a la actual sino después del Eoceno Tardío, ni alcanzó su forma definitiva hasta el Mioceno Temprano (aproximadamente 20 Ma.).

2.3.2.2 Modelo tectónico actual: en la actualidad el modelo tectónico de la cuenca evidencia una complejidad tectónica, destacándose fallamientos como el de Urica y Anaco, la Falla Furrial-Carito, el Domo de Tonoro y el Corrimiento de Pirital (Bloque Alóctono) que se caracteriza por su gran desplazamiento y extensión, se divide en tres bloques estructurales:

- Bloque Alóctono: que aflora en la Serranía del Interior y cuyo límite Sur es el Corrimiento de Pirital, observándose pliegues concéntricos de gran escala además de marcar el acñamiento del cinturón plegado, alcanzando la superficie. Este corrimiento posee un desplazamiento horizontal estimado de 20 a 30 km y un desplazamiento de 4 a 5 km (Di Croce, J. 1995).

- Bloque Parautóctono: está constituido por el alineamiento Tejero-Furrial, corresponde a una zona de transición representada por un conjunto de escamas o imbricaciones frontales y corrimientos que se horizontalizan en profundidad y a los cuales están asociados las grandes acumulaciones de petróleo en el norte de Monagas

y donde las estructuras principales son fallas de corrimiento que no llegan a la superficie y cuya terminación está asociada con volcanes de lodo que deforman los sedimentos en el Mioceno Tardío.

Bloque Autóctono: se encuentra en el flanco Sur de la cuenca o provincia extensiva, donde predominan las fallas normales de rumbo oeste-este. Dentro de este modelo, el Campo Santa Bárbara-Piritál pertenece junto a los campos Furrial y Carito a un tren o lineamiento de anticlinales, a lo largo de la cuña de la cuenca alóctona que posee el cabalgamiento más profundo, llamado la Falla Jusepín-Quiriquire.

2.3.2.3 Proceso evolutivo sedimentario de la Cuenca Oriental: el proceso evolutivo sedimentario de la Cuenca Oriental de Venezuela se sitúa desde el Devono-Carbonífero (González de Juana et al., 1980), hace unos 350 millones de años. Durante este período se reconocen tres períodos sedimentarios separados: el primero corresponde al Paleozoico Medio- Tardío y Tardío, el segundo comienza en el Cretácico Medio y se hace regresivo durante el Terciario Temprano, y el tercero, se desarrolló durante el Terciario Tardío y fue definitivo para la configuración de la cuenca petrolífera en su estado actual. Ellos tienen lugar entre períodos principales de orogénesis y después de largos de erosión, cuando las aguas transgredieron sobre tierras previamente pleniplanadas. A continuación se describe brevemente, la historia geológica del proceso sedimentario de la Cuenca durante el Cámbrico-Ordovícico, aproximadamente 500 Ma, ocurre la sedimentación de las formaciones Carrizal y Hato Viejo, asociadas a una sedimentación clástica más interna, de un margen pasivo. Ambas formaciones se consideran transicionales. Posiblemente la sedimentación ocurre en planicies costeras mal conocidas y aparatos deltaicos conexos. (Figura 2.8).

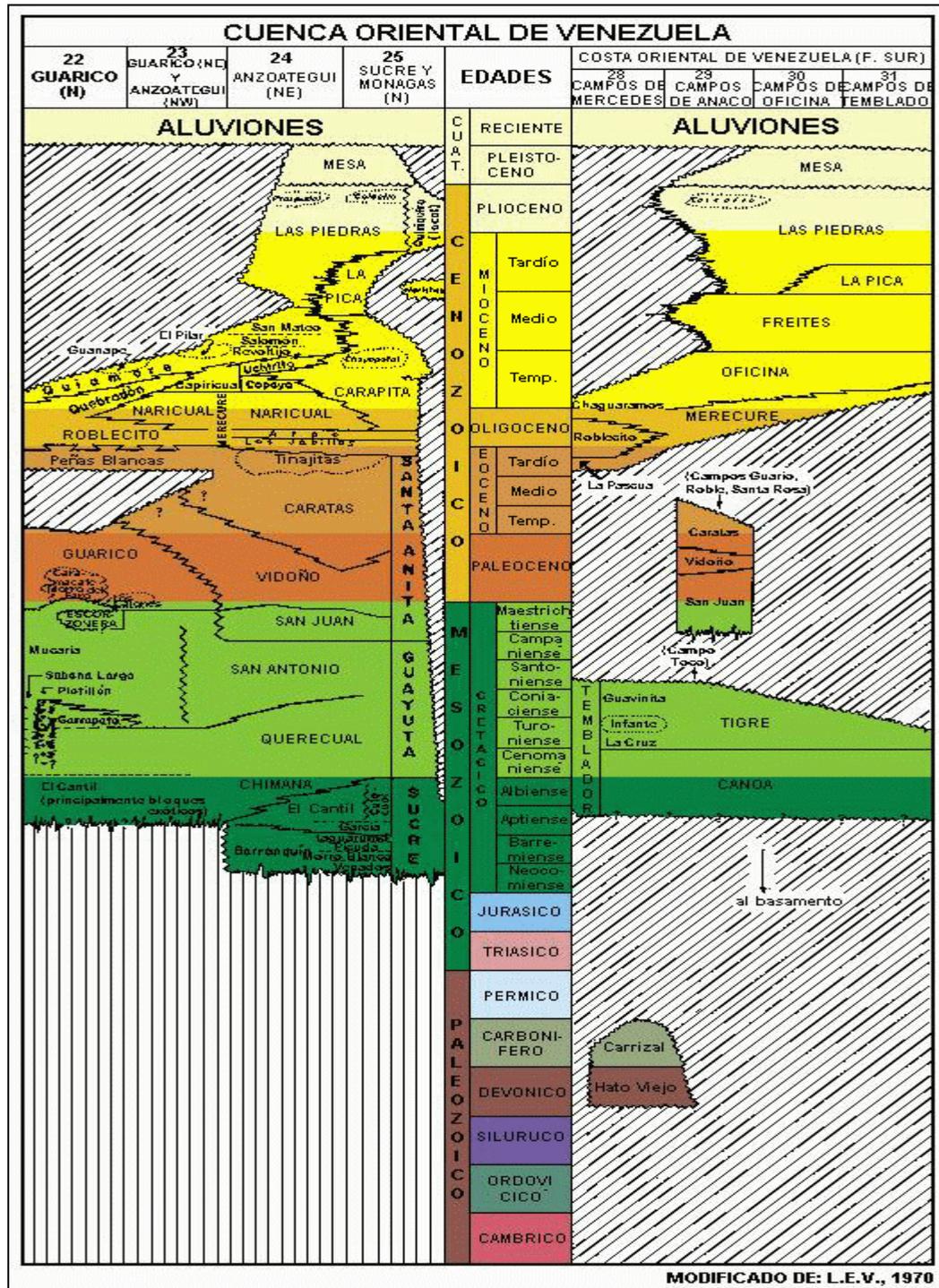


Figura 2.8 Cuenca Oriental de Venezuela (Modificado del L.E.V. 1970).

En el Triásico-Jurásico (220-160 Ma) se producen actividades volcánicas en el Macizo de El Baúl. Fue un período de erosión sobre la mayor parte de la Cuenca. Durante el Barremiense-Aptiense-Albiense, se inicia la transgresión cretácica sedimentándose la Formación Barranquín compuesta de calizas y areniscas en el flanco Norte de la serranía actual, con disminución de sedimentos marinos hacia el flanco Norte y hacia el flanco Sur de la misma. Es seguido por la sedimentación en el flanco Norte de las formaciones Borracha y Chimana compuestas de calizas espesas y lutitas, y en el flanco Sur por la Formación El Cantil compuestas de areniscas, lutitas e intercalaciones de calizas. Hacia el Sur ocurre también una extensión de las aguas donde la sedimentación es predominantemente continental, depositándose la Formación La Canoa. Las calizas y arenas de estos períodos constituyen legítimos prospectos para petróleo.

En el Cenomaniense-Coniacense (100-85 Ma), ocurre la máxima cobertura marina y desarrollado de ambientes euxínicos en el norte, representando por la Formación Querecual, esta formación es la Roca Madre del petróleo. Hacia el Sur se extienden ambientes marinos-costeros, gradualmente más terrígenos hacia el extremo Sur, en las proximidades del Noroeste se encuentra la Formación Tigre, la cual presenta calizas fosilíferas (Miembro Infante). La Formación Tigre ha producido cantidades menores de petróleo en el Área de Las Mercedes. Durante el Santoniense-Maestrichtiense (85-65 Ma), ocurre una sedimentación de lutitas marinas, algunas arenas finas e intervalos de fanitas silíceas al Norte (Formación San Antonio). En la regresión Sureste comienza la regresión marcada por las areniscas de la Formación San Juan, básicamente Maestrichtiense, probablemente extendida al Paleoceno.

Durante el Paleoceno-Eoceno Medio (65-45 Ma), el levantamiento de las masas metamórficas delimitó hacia el Sur una extensa cuenca donde se depositaron sedimentos del ciclo Terciario Temprano. Durante este período comienza el levantamiento de las masas metamórficas hacia el Sur, con el consiguiente empuje

sobre la secuencia sedimentaria en el borde cratónico, integrada por la columna cretácica (Grupo Sucre y Guayuta) y la sedimentación del Terciario Temprano. Gran parte de la sedimentación alóctona del surco de Guárico fue ocasionada por este movimiento. En el Eoceno Tardío-Oligoceno (45-25 Ma), se sedimenta en Guárico la Formación La Pascua de carácter transgresivo y que corresponde a aguas someras procedentes de la Cuenca de Barinas, seguida de la Formación Roblecito, que se compone de un cuerpo lutítico de aguas marinas someras y tranquilas. La transgresión progresa hacia el Este y en la región de Barcelona, el hiatus y la transgresión mencionada se encuentran sobre la Formación Caratas y por debajo de la Formación Los Jabillos del Oligoceno Medio. Hacia el Sur se extiende al Oeste la sedimentación arenosa-parállica de La Pascua y al Este de las formaciones Los Jabillos, Areo y Naricual, reunidas en el Grupo Merecure, por debajo de la cual desaparece por acuñamiento del lente de Roblecito. Hacia el Este se produce la sedimentación profunda, de mar abierto, de la Formación Carapita.

Al final de este período (22 Ma aproximadamente), continua el levantamiento de la Serranía del Interior y se desarrolla el “Foredeep” al Sur, donde se depositan los sedimentos de aguas profundas de la Fm. Carapita. Durante el Mioceno (20 Ma), en la parte Norte de Guárico la sedimentación se hace predominantemente continental. Desde el flanco Norte de la cuenca hacia el Sur se observa gradación entre las formaciones Capiricual-Quiamare al Norte y la Formación Oficina hacia el Sur. Hacia el Este la profundización de ambientes continúa determinando la sedimentación de Carapita. En el flanco Sur se sedimenta la Formación Freites de ambiente marino somero, en el borde Norte los mares transgreden ligeramente sobre la superficie erosionada de Carapita, depositándose la sedimentación marina marginal de Formación La Pica. Cerca de la línea septentrional se sedimenta una secuencia arenosa.

Durante el Mioceno tardío-Plioceno, se sedimentó la Formación. Las Piedras sobre extensos ambientes fluvio-deltaicos. Hacia el Oeste del Estado Anzoátegui y en el Sur, en el subsuelo de los campos de las áreas de Oficina y Temblador, esta sedimentación cubre los sedimentos marinos someros de la Formación. Freites. Hacia Noreste se encuentra por encima de la Formación. La Pica, sobrepasando la línea de playa de ésta formación y avanzando hacia el piedemonte de las montañas actuales, en forma discordante sobre la sedimentación del ciclo Terciario Tardío y temprano y localmente sobre el Cretácico erosionado. Equivalente lateral de esta Formación. Las Piedras es la sedimentación marginal conglomerática de la Formación. Quiriquire, productora de petróleo en el campo homónimo. El episodio final de esta evolución está representado por la Formación. Mesa de ambiente continental.

2.4 Geología local

2.4.1 Formaciones presentes en el área de estudio

2.4.1.1 El cantil. Grupo Sucre. Cretácico; Aptiense a Cenomaniense: Liddle, R. (1928) introdujo el nombre de Formación El Cantil para designar calizas y lutitas suprayacentes a la Formación Barranquín e infrayacentes a la Formación (hoy Grupo) Guayuta. En la localidad tipo la formación está incompleta y fallada y Hedberg, H (1937-a, b) la designó con el nombre informal de Capas de Bergantin. Hedberg, H y Pyre, F. (1944) redescubrieron la unidad a base de secciones más completas en la región de Puerto La Cruz y restringieron el nombre El Cantil a la secuencia en la cual predominan las calizas arrecifales y macizas. La sección suprayacente de lutitas, calizas y areniscas alternantes fue separada con el nombre de Formación Chimana. Hedberg, H. (1950) suministró detalles adicionales e introdujo el nombre de Grupo Sucre, que abarca las formaciones Barranquín, El Cantil y Chimana.

Rod, E. y Maync, D. (1954) señalaron la pobreza de la sección tipo de Liddle, R. como criterio para introducir el nuevo nombre de Formación Borracha, sinónimo de la Formación El Cantil en el sentido empleado por Hedberg, H y Pyre, F. Rosales, H (1959) observó que la Organización

Permanente del Léxico Estratigráfico consideraba al término Formación El Cantil como válido, pese a la necesidad de describir detalladamente una sección de referencia completa cerca de la localidad tipo. Para el propósito seleccionó los afloramientos de Pico García y Cerro La Paloma, pero sugirió la retención de ambos nombres, El Cantil y Borracha, debido a las marcadas diferencias en las proporciones de clástico-carbonato en sus dos localidades tipo. Salvador, M (1964-b) propuso retener el término tal como había sido redefinido por Hedberg, H y Pyre, F (1944) y rechazó el nombre Borracha por su sinonimia innecesaria. Con este criterio aparece en el Cuadro de Correlación del Primer Congreso Venezolano del Petróleo (Sociedad Venezolana de Ingenieros de Petróleo., 1963). (Figura 2.9).

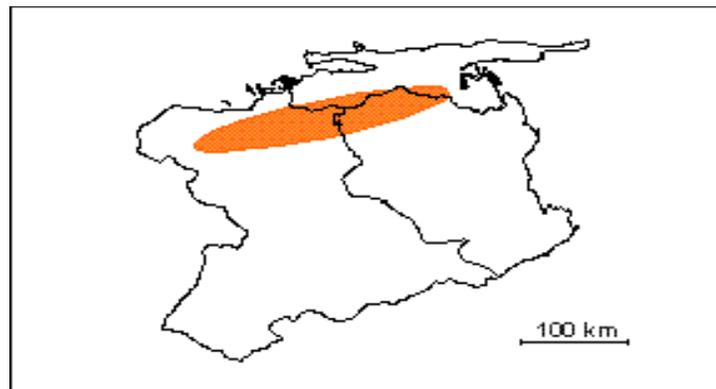


Figura 2.9 El Cantil (R. A. Liddle, R. 1928, p. 124.).

Localidad tipo: acantilado conocido con el nombre de El Cantil, en el río Punceres, 3 kilómetros al Oeste del Municipio Punceres, Monagas septentrional. Las secciones normativas de referencia descritas por Rosales, H. (1959) afloran en el Pico

García y en el cerro La Paloma, 15 a 20 kilómetros al Oeste de la localidad tipo de Liddle.

Descripción litológica: la formación es muy variable lateralmente. Las calizas fosilíferas macizas, frecuentemente con aspecto arrecifal, son típicas y localmente constituyen el mayor volumen de la formación. De resto, están separadas entre sí por cantidades apreciables de arenisca, lutita y caliza finamente estratificadas. Esta variabilidad se aprecia en las secciones columnares de la Formación Borracha presentadas por Rod, E y Maync, D. (1954), quienes designaron una capa persistente de margas y lutitas fosilíferas cerca de la base con el nombre de Miembro García.

Furrer, G y Castro, M (1997) describen en el sector Caripe, río Caripe, quebrada El Dató, estado Monagas:

Miembro Mapurite; la litología está representada por arcillitas, limilitas y limolitas arenosas de color negro, con bivalvos, nódulos de pirita, nódulos arcillosos de color negro ó fragmentos leñosos; areniscas de grano fino a grueso y microconglomerados en canales, de color blanco, gris ó negro; calizas arenosas de color gris a negro, con bioturbaciones silicificadas oscuras.

Miembro Guácharo; el contenido litológico está representado por calizas macizas, micritas y biomicritas de color negro a gris; wackestone de color gris y coquinas de bivalvos. Se observan intercalaciones margosas de color negro a gris de espesor variable con areniscas de color blanco a beige.

En el sector río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito, Las Parcelas, se encuentran los miembros Mapurite y Guacharo reducidos:

Miembro mapurite; Miembro detrítico constituido por capas delgadas de areniscas de grano fino a medio y otras capas más espesas de areniscas de grano grueso a microconglomerático. Existen algunas capas de lutitas negras micáceas.

Miembro Guácharo; está constituido por capas de calizas macizas bioclásticas de color gris oscuro, calizas bioclásticas nodulosas dentro de una matriz de marlita gris, calizas margosas y unas capas de calizas micríticas.

Espesor: en la sección de referencia la unidad tiene 866 metros de espesor; en otros sitios éste es generalmente menor, aunque nunca inferior a los 300 metros.

Furrer, G y Castro, M (Op. cit.) reportan en el sector Caripe, río Caripe, quebrada El Dató, estado Monagas el espesor total varía entre 85 metros en Teresén y 435 metros en río Caripe, anticlinal de Irital.

En el sector río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito, Las Parcelas, el Miembro Mapurite tiene un espesor de 30 a 40 metros y el Miembro Guácharo 40 metros aproximadamente.

Extensión geográfica: Serranía del Interior, Venezuela Nororiental.

Contactos: el contacto basal con la Formación Barranquín es concordante y transicional; cerca de las secciones tipo y en general en el flanco Sur de la Serranía, se coloca arbitrariamente al nivel en el cual la secuencia sedimentaria exhibe carácter predominantemente marino. En los ambientes cercanos a la costa Norte, en Anzoátegui y Sucre, el contacto se coloca arbitrariamente por debajo de las calizas espesas características de la Formación Borracha. En el flanco Sur de la Serranía el tope de la Formación.

Fósiles: los foraminíferos descritos incluyen *Pseudocyclamina hedbergi*, *Choffatella decipiens*, *Orhitolina concava texana* y *Dictyoconus walnutensis*. Los amonites del Miembro García comprenden especies de *Megatyloceras* y *Dufrenoyia*.

En el sector Caripe, quebrada el Dantó se encontraron bivalvos, bioturbaciones, equinodermos, gasterópodos y nannoplancton calcáreo representado por *Cruciellipsis chiasia*, *Eprolithus floralis*, *Nannoconus* sp., *Parhabdolithus embergeri*, *Parhabdolithus asper*, *Watznaueria barnesae*, *Watznaueria biporta*, *Watznaueria communis*. En la sección del sinclinal Velázquez, cerro Los Encantados se le asigna una edad Aptiense Superior a Albiense Inferior, la fauna está constituida por bivalvos, gasterópodos, rudistas, fragmentos de madera silicificada y una cabeza de fémur de reptil.

Edad: Cretácico; Aptiense a Cenomaniense.

Furrer, G y Castro, M. (op. cit.) determinan: En el flanco Sur del anticlinal de Punceres una edad Aptiense Tardío a Albiense Temprano; en la sección del sinclinal Velázquez, cerro Los Encantados le asignan una edad Aptiense Tardío a Albiense Temprano; en el sector Caripe, río Caripe, quebrada El Dató, estado Monagas, la edad es Aptiense Tardío a Albiense Temprano; en la carretera Santa Rosa-río Patacual, en el estado Sucre, Cretácico Temprano, Aptiense Temprano.

Formación Chimana; representa una facies más somera y en parte arrecifal del mismo intervalo cronológico. En el occidente de Venezuela, corresponde en edad y en gran parte, en carácter sedimentario, con las formaciones del Grupo Cogollo. Un equivalente local es la Formación Cojedes en el estado Cojedes. Correlación: la parte superior de la Formación El Cantil es equivalente lateral directa de la

2.4.1.2 Chimana. Grupo Sucre. Cretácico (Albiense): la referencia original es de Hedberg, H y Pyre, F. (1944). Posteriormente, Rod, E y Maync, D. (1954) extendieron su definición al introducir los miembros Corral Viejo, Guácharo y Placeta, los cuales fueron invalidados por autores posteriores (Rosales, 1959, 1960; Salvador, 1964) y por la CVET (1970), restringiendo su definición a la litología heterogénea entre las formaciones Querecual y El Cantil, por considerar que las unidades de Rod, E y Maync, D. (op. cit.), fueron definidas en base a criterios cronoestratigráficos y no litológicos. Guillaume et al, H. (1972) restringen su utilización a las capas equivalentes al Miembro Corral Viejo de Rod, E y Maync, D. (op. cit.). Yoris, R (1984, 1985-a, 1988) propone la redefinición de la Formación Chimana, en base a sus cambios verticales y laterales de facies, y la divide en 5 miembros: Caripe, Corral Viejo, Caripito, Chimana Grande y Putucual, litológicamente separables de las formaciones Querecual y El Cantil. (Figura 2.10).

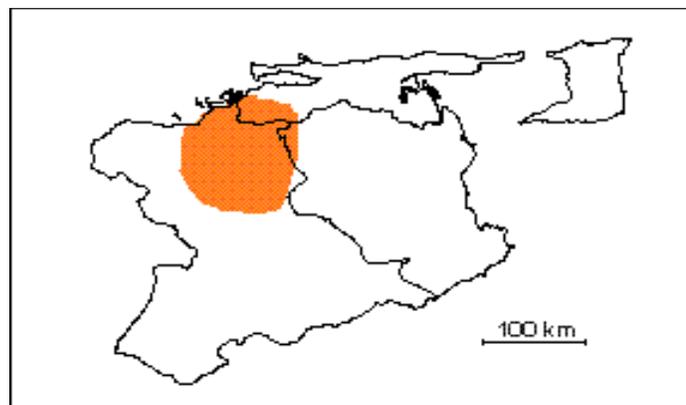


Figura 2.10 Chimana (Hedberg, H y Pyre, F. 1944).

Localidad tipo: extremo oriental de la Isla de Chimana Grande (Puinare), al Norte de Puerto La Cruz, en Anzoátegui septentrional. Secciones de referencia han sido propuestas por Yoris, R. (1988), para los miembros que conforman Sur y Este de la Serranía del Interior (estados Monagas y Sucre) flanco Noroeste del anticlinal

de cerro Grande, al Sur de Caripe (miembros Caripe y Corral Viejo); carretera San Agustín-La Cueva, Caripe (Miembro Caripe); Valle Solo, ribera Norte del río Caripito, al Oeste de la población de Caripito (Miembro Caripito); río Putucual, al Norte del valle del río San Juan (miembros Chimana Grande y Putucual).

Descripción litológica: Hedberg, H y Pyre, F. (1944) introdujeron y definieron el término Formación Chimana, para sustituir el de Capas de Bergantín, asignado por Maury, C. (1925) y Hedberg, H. (1937-a), a las areniscas y calizas mal expuestas en el río Querecual, por debajo de la Formación Querecual. La definición original de Hedberg, H y Pyre, F. (op. cit.) se empleó para el desarrollo predominantemente lutítico, ubicado entre las formaciones El Cantil y Querecual en su área tipo, y posteriormente, se extendió a la litología heterogénea comprendida entre ambas unidades en Venezuela Nororiental (CVET, 1970) asimilando así, dentro del término Formación Chimana, a las formaciones Boquerón, Majagual y Valle Grande, de Rod, E y Maync, D. (op. cit.).

González de Juana et al. (1980) definen a la Formación Chimana como "una invasión marina que cubrió zonas del oriente de Venezuela", y señalan que su contenido de areniscas aumenta rápidamente hacia el Sur de su área tipo. Macsotay, O, et al. (1986), separan a la Formación Chimana de la Formación Boquerón en su sección tipo, aparentemente por diferencias entre los mecanismos de sedimentación entre ambas unidades. Yoris, R. (1984, 1985-a) considera a la Formación Chimana, como una serie de cambios verticales y laterales de facies que, al ser definidos apropiadamente, constituyen unidades litoestratigráficas diferenciables entre sí, así como también separables litológicamente de las formaciones Querecual y El Cantil; los miembros propuestos por este autor son Caripe, Corral Viejo (término rescatado), Caripito, Chimana Grande y Putucual; Yoris, R. (1988) considera a la formación, Boquerón de Rod, E y Maync, D. (op. cit.) un sinónimo innecesario de la Formación

Chimana, pero que debe ser analizado aún en más detalle, a fin de poder ser asignado a las facies de los miembros Corral Viejo-Putucual.

Estos miembros se caracteriza por la abundancia de lutitas y margas intercaladas entre las calizas de tipo variable y las areniscas generalmente calcáreas, lo cual lo diferencia claramente de las calizas masivas sin fracción terrígena (Miembro Guácharo) o las secuencias de areniscas cuarzosas no calcáreas, calizas color gris y calizas dolomíticas color marrón Miembro Punceres, de la Formación El Cantil infrayacente. Se ha reconocido en las regiones de Caripe, Aragua de Maturín y Oeste de Caripito, estado Monagas (Ibídem) Miembro Corral Viejo: definido originalmente por Rod, E y Maync, D. (op. cit.), para designar el desarrollo glauconítico-margoso de la Formación Chimana; fue desechado posteriormente (Rosales, H. 1959, 1960; Salvador, M. 1964; Soc. Venez. Ing. Petrol., 1963; cuadro de correlación; CVET, op. cit.) por tratarse de una unidad definida, en parte, a base de criterios cronoestratigráficos. Yoris, R. (1985a, 1988), propone su rescate, y lo redefine litológicamente, pues constituye una unidad delgada, pero de expresión regional extensa; su litología característica en el flanco Noroeste del anticlinal de cerro Grande al Suroeste de Caripe, la conforman lutitas gris a negro, calcáreas e intercalaciones de calizas gris a negro, delgadas (13 capas en total); en el área tipo de Rod, E y Maync, D. (op. cit.), las calizas margosas presentan ammonites. Lateralmente se presentan desarrollos de areniscas marrones no calcáreas, micáceas y frecuentemente glauconíticas; las areniscas calcáreas glauconíticas son minoritarias. Las calizas negras suelen ser dolomíticas y glauconíticas en el área de Caripe, ricas en materia orgánica.

El Miembro Corral viejo ha sido reconocido en la región de Caripe, y se postula su extensión a regiones al Norte de la Serranía del Interior e islas frente a Puerto La Cruz (Yoris, R. 1988). Hay, J y Aymard, R (op. cit.) consideran la litología encontrada en el subsuelo entre Anaco y el área de Santa Bárbara, perteneciente al

Miembro Corral Viejo de Rod, E y Maync, D. (op. cit.). Miembro Caripito: término introducido por Yoris, R. (1985a, 1988), para designar el desarrollo espeso de areniscas calcáreas y calizas arenosas, glauconíticas-dolomíticas, que suprayace al Miembro Caripe en la región al Oeste de Caripito, estado Monagas. Las areniscas son típicamente subarcósicas a feldespáticas. La litología minoritaria la constituyen calizas negras glauconíticas, a veces dolomíticas, lutitas gris a negro y conglomerados de gránulos muy feldespáticos. Se diferencia del Miembro Caripe infrayacente en su mayor proporción de areniscas, e infrayace concordantemente y con una corta transición, a las típicas calizas negras y calizas arcillosas de la Formación Querecual.

Miembro Chimana Grande: término introducido por Yoris, R. (1985-a, 1988) para designar la mitad inferior de la Formación Chimana en la región del río Putucual, al Norte del valle del río San Juan, estado Sucre. La litología de este miembro, es esencialmente la definición con la que Hedberg, H y Pyre, F. (op. cit.) se refiriesen a la Formación Chimana, en la isla de Chimana Grande, frente a Puerto La Cruz; está constituida por una secuencia hemipelágica de lutitas oscuras y calizas oscuras, de aspecto arenoso, con abundante microfauna. La glauconita también se encuentra presente. Este miembro también representa las facies hemipelágicas del talud, lateralmente equivalentes a los miembros más arenosos de la Formación Chimana (Caripe y Caripito) y posiblemente a la parte superior extrema de la Formación El Cantil. Infrayace en forma concordante y con transición de ambientes, al Miembro Putucual. Por lo reciente de su definición, aún no se conoce su extensión a las regiones del Norte de la serranía, pero es muy probable que se encuentre presente en la secuencia predominantemente lutítica de la Formación Chimana.

La característica litológica más resaltante entre esta unidad y el Miembro Chimana Grande infrayacente, es la mayor potencia de muchos intervalos carbonáticos del Miembro Putucual, que incluso presentan aspecto bioclástico, pero que son de origen eminentemente mixto. La diferencia litológica entre ambos miembros es, pues, la proporción, espesores individuales y tipos de calizas presentes,

lo que constituye un reflejo directo de los ambientes predominantemente hemipelágicos (Miembro Chimana Grande) y los de sedimentación rápida profunda con material calcarenítico aloctono de la plataforma (Miembro Putucual). El contacto entre ambos miembros se coloca a partir de la aparición de los primeros intervalos con probable afinidad turbidítica, en los que se presentan laminaciones de material pelágico, intercaladas con horizontes bioclásticos, muy conspicuos. Las calizas ricas en fragmentos de algas, corales, moluscos y equinoides, alternan con calizas de aspecto pelágico, ricas en material planctónico, esta alternancia, es observable incluso a nivel de sección fina. La proporción de lutitas parece ser inferior a la de calizas, y la litología minoritaria está representada por ocasionales capas de chert negro (Yoris, R. 1988).

- Espesor: en su sección tipo, Hedberg, H y Pyre, F. (op. cit.) señalan unos 120 m, pero añaden que la formación puede alcanzar entre 60, y 300 m por variación lateral de facies tipo El Cantil. Rosales, H (1959) reporta 114 m entre el río Manzanares y el Sur de Cumanacoa, 35 m entre la quebrada La Arena y el Este de Bergantín y más de 230 m en el área de Cumanacoa indica que el espesor máximo de la formación se estima en unos 800 m. Guillaume, H et al. (op. cit.; columnas de correlación) indican un espesor máximo en la serranía para la Formación Chimana, en el cerro El Algarrobo, al Noroeste de Aragua de Maturín, de 225 m; en la isla de Chimana Grande (Puinare), señalan no menos de 260 m, complicado por fallamiento. En el subsuelo de Anzoátegui, Hay, J y Aymard, R. (op. cit.) indican un espesor promedio de 213 m. González de Juana et al. (op. cit.), mencionan 270 m en el río Neverí, estado Anzoátegui. Macsotay, O et al. (op. cit.) señalan espesores entre 50 y 225 m, en el Dominio del Archipiélago Guaiquerí, frente a Puerto La Cruz (separando a la Formación Chimana de la Formación Boquerón de Rod. E y Maync, op. cit.). Yoris, R. (1985-a, 1988) reporta 274 m en el flanco Noroeste del anticlinal de cerro Grande (Miembro Caripe = 183 m; Miembro Corral Viejo = 91 m); al Sur de río

Caripito, en la cuenca del río Azagua (Miembro Caripe = 70 m; Miembro Caripito = 325 m); 535 m en el río Putucual, al Norte del valle del río San Juan (Miembro Chimana Grande = 200 m Miembro Putucual = 335 m).

Furrer, G. y Castro, M. (1997) reportan los siguientes espesores: En la sección del sinclinal de Velázquez, cerro Los Encantados, el espesor total sobrepasa los 110 m; en el sector Caripe, río Caripe, quebrada El Dantó, estado Monagas, el espesor total varía entre 70 y 90 metros; en el río Carinicuaó presenta 55 metros aproximadamente.

Extensión geográfica: la Formación Chimana ha sido reconocida en toda la Serranía del Interior y las islas frente a Puerto La Cruz. En el subsuelo, ha sido reportada hasta una línea casi Este-Oeste, entre Anaco y el Área Mayor de Santa Bárbara (Hay, J y Aymard, R. op. cit.).

Contactos: el contacto basal es concordante y transicional con la Formación El Cantil, Yoris, R. (1985-a, 1988), estableció que este contacto es claramente identificable, si se siguen las definiciones de los miembros de las formaciones El Cantil y Chimana; es posible que la parte superior de la Formación El Cantil (Miembro Punceres), sea equivalente lateral, en parte, al Miembro Caripe de la Formación Chimana.

El contacto superior es concordante y de transición corta (Yoris, R. 1985-a, 1988), aunque diversos autores han sugerido un hiato e incluso erosión subaérea antes de la sedimentación de la Formación Querecual, en algunos lugares de la serranía (Rod, E y Maync, D. op. cit.; Guillaume, H. et al., op. cit.).

Fósiles: Rod, E y Maync, D. (op. cit.) publicaron las siguientes taxas pertenecientes a la parte superior de su Formación Chimana *Ammobaculites*, *Cibicides* sp. *Cristellaria ex gr gaultina* Berthelin, *Globigerina cretacea* d' Orbigay,

Gyroidina sp., Haplophragmoides sp., Neobulimina minima Tappan, Palmula sp., Saracenaria sp. y fragmentos indeterminados de belemnites, ostrácodos, peces. etc.; entre los ammonites reportados por estos autores para la unidad, están los géneros Dufrenoyia, Megatyloceras, Hypacanthohoplites, Oxytropidoceras, Beudanticeras, Lyelliceras y Puzosia. Guillaume, H. et al. (op. cit.) indican que los ammonites de la Formación Chimana, son característicos de las zonas de Douvilleiceras mammillatum y Hoplites dentatus; los foraminíferos pertenecen a las zonas de Neobulimina subcretácica y Praeglobotruncana planispira. Macsotay, O. et al. (1986) reportan en la isla de La Borracha belemnites (Goniotheutis sp. y Cylindrotheutis sp.), ammonites indeterminados y los moluscos cosmopolitas: Plicatula gurgitis (Pictet y Roux), Acila bivirgata y Haustator vibrayi. En Yoris, F. (1985-a) se dan listas de fósiles pertenecientes a los distintos miembros de la unidad, identificados por Furrer durante los trabajos de tesis del Departamento de Geología de la UCV, al Sur y Este de la Serranía del Interior, y entre los que se mencionan Hedbergella sp., Textularia sp., Quinqueloculina sp., Dictyoconus sp., Haplophragmoides sp., fragmentos de moluscos, equinoides y ostracodos (Miembro Caripe); Lenticulina sp., Ticinella sp., Cibicides sp., Trochammina sp., etc. (Miembro Corral Viejo); Heterohelix sp., Shackoina sp., Clavihedbergella sp., Lenticulina sp., etc. (Miembro Chimana Grande); fragmentos indeterminados de moluscos, equinoides y briozoarios, foraminíferos indeterminados (Miembro Caripito); Lenticulina sp., Hedbergella sp., Heterohelix sp., Psammosiphonella sp., Globotruncana sp., Aricularia sp., fragmentos de corales, algas, moluscos y equinoides, espinas de esponjas, radiolarios (Miembro Putucual).

Edad: el rango máximo de edad, al asimilar las formaciones Majagual Boquerón y Valle Grande de Rod, E y Maync, D. (op. cit.), quedó en Aptiense tardío-Cenomaniense temprano, para el CVET (op. cit.), Guillaume, H. et al. (op. cit.) al separar su Formación Valle Grande, restringen la edad de la primera al Albiense, en base a las zonas de ammonites: Douvilleiceras mammillatum y Hoplites dentatus, y a

las zonas de foraminíferos: *Neobulimina subcretacea* y *Praeglobotruncana planispira*; el rango de edad de estos autores abarca el Albiense Temprano al Tardío. Macsotay, O. et al. (op. cit.) señalan que la edad de moluscos cosmopolitas presentes en la unidad, refuerzan la zonación de ammonites y foraminíferos de autores anteriores Guillaume, H. et al., (op. cit.), Renz, O. (1982). Yoris, R. (1985, 1988), se inclina también por una edad restringida al Albiense para la Formación Chimana, y reporta la presencia de *Ticinella* sp. en el tercio inferior de la Formación Querecual de la región de Caripe, lo cual refuerza, incluso, la extensión de la edad de la Formación Querecual, al Albiense Tardío Superior.

Correlación: la parte basal de la Formación Chimana (miembros Caripe y Chimana Grande) se correlaciona en parte, en edad y litología con la parte superior de la Formación El Cantil (Miembro Punceres). La parte superior (miembros Corral Viejo y Putucual), es equivalente en parte, a la porción inferior de la Formación Querecual, con interdigitación de ambientes. Hacia Venezuela occidental, la Formación Chimana es correlativa en edad, con la parte superior del Grupo Cogollo.

2.4.1.3 Querecual. Grupo Guayuta. Cretácico (Albiense Tardío-Santoniense): el primero en dar nombre a la secuencia fue Liddle, R. (1928), quien la incluyó dentro de su Formación Guayuta. Posteriormente, Hedberg, H. (1937-a, b, c) al elevar el término Guayuta, a rango de grupo, empleó el término de Formación Querecual, para designar la mitad inferior del mismo intervalo o criterio éste seguido por autores posteriores. La Formación Querecual fue aceptada formalmente desde la edición del primer Léxico Estratigráfico, (1956), y su definición litológica, se ha mantenido casi invariable desde entonces (Figura 2.11).

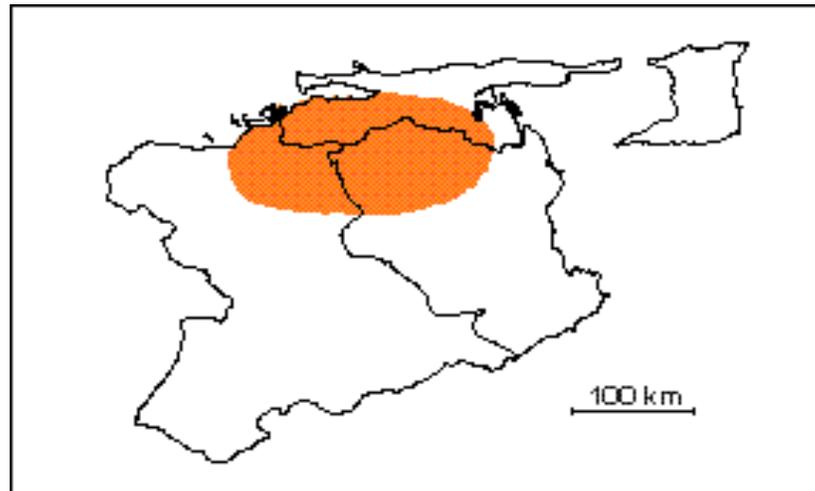


Figura 2.11 Querecual (Hedberg, H. 1937-a, p. 1990.).

Localidad tipo: Río Querecual, en Anzoátegui Nororiental, entre los puntos a 250 m de distancia aguas arriba, y 600 m aguas abajo, desde Paso Hediondo, estado Anzoátegui (Hoja 7345, Ed. 1-DCN, Dirección de Cartografía Nacional).

Descripción litológica: consiste de calizas arcillosas con estratificación delgada, laminadas, carbonáceo-bituminosas y lutitas calcáreas. El color de las calizas y lutitas es típicamente negro, aunque también han sido reportados colores claros para la unidad, en el subsuelo de la cuenca oriental (Hay, J y Aymard, R. 1977), la laminación alcanza valores entre 10 y 20 láminas por pulgada, (Hedberg, H. 1950), atribuidas a la alternancia de foraminíferos planctónicos con material carbonoso. Son abundantes las formas discoidales, esféricas y elipsoidales y han sido descritas como concreciones, alcanzando diámetros entre unas cuantas pulgadas, hasta varios pies (ibidem), así como también se ha observado, que la laminación puede envolverlas o desvanecerse dentro de ellas (González de Juana et al., 1980). Yoris, R. (1988), reporta 20 a 30 laminaciones por centímetro, en una localidad de la Formación Querecual entre La Soledad y Miraflores, estado Monagas. El contenido de pirita de la unidad, también es característico de las fuentes sulfurosas que

frecuentemente se presentan en sus afloramientos (González de Juana et al., op. cit.). Las estructuras definidas por muchos autores como concrecionarias, han sido reportadas como de almohadilla y bola por estiramiento de capas, por Macsotay, O. et al. (1985). La presencia de capas fanáticas o calizas silíceas negras, es una característica de la parte superior de la formación (MEM, op. cit.; CVET, 1970; González de Juana et al., op. cit.; Macsotay, O. et al., op. cit.).

Hay, J. y Aymard, R. (op. cit.), reportan la presencia de "muy pocas areniscas grises, blancas, calcáreas y glauconíticas". Campos et al. (1985), mencionan 20% de areniscas, para el total de la unidad en el pozo La Vieja-1, aumentando hacia el sur (53% en el pozo Tala-1).

Furrer, G. y Castro, M. (1997) señalan que la Formación Querecual fue encontrada en río Malvascual, en un afloramiento de unos 120 metros con alternancias de calizas margosas, negras, laminadas, fétidas y marlitas negras, laminadas, fétidas. También se observa en el flanco Norte del anticlinal La Pica, aparece encima de las calizas de plataforma de la Formación Majagual o Borracha, cantera El Garrapatero. El espesor máximo observado es de aproximadamente 50 metros en la quebrada Cedeño de Los Negros. Consiste en unas capas de calizas negras, hemipelágicas, muy finamente laminadas con marlitas negras laminadas. Se encuentran nódulos de sulfuro de hierro y pseudoconcreciones lenticulares.

En el sinclinal de Las Naranjas, la Formación Querecual es muy reducida, aproximadamente 30 metros de espesor, está constituida por calizas negras, laminadas, muy fétidas, con una meteorización típica de alternancia de rayas negras y claras. En río Carinicua, estado Sucre, la litología está representada por una alternancia de calizas arcillosas, laminadas, fétidas de color negro a marrón beige, encontrándose dos tipos de concreciones, unas de micrita de color negro, sin estructura interna; otras pseudoconcreciones, laminadas, a veces fétidas de color

negro, algunas de ellas contienen Ammonites de edad Albiense Tardío. También se encuentran nódulos ferruginosos y dos niveles chérticos.

En el sector Cangrejal-río Coicual, estado Sucre, se encuentra por encima de la Formación Cutacual, con una zona transicional de espesor variable. Se observa una alternancia monótona e irregular de lutitas y calizas negras finamente laminadas. Todas las facies presentan un fuerte olor a hidrocarburos. Las calizas y calizas margosas negras tienen una meteorización muy característica, con alternancia de rayas negras y beige. Las capas tienen un espesor promedio de 0.5 metros, pero pueden ser más delgadas, como al Oeste de Buena Esperanza. En la parte occidental, desde la falla de Guaruta hasta aproximadamente el meridiano de Agua Fría Arriba, no se encuentran pseudoconcreciones o nódulos en la Formación Querecual. A partir de Buena Esperanza y hacia el Este, cerca del contacto con la Formación Río Chávez, aparecen niveles delgados de 5 a 10 centímetros de espesor de chert negro. Más al Sureste, entre los ríos Sabucual al noreste y Santa Juana, al Sureste, se desarrollan pseudoconcreciones de morfología elipsoidal, que mantienen su fina laminación estratiforme original.

En el sector Cangreja, cerro El Pato, El Algarrobo, estado Sucre, se presenta muy reducida, con afinidad con el sector del anticlinal de La Pica, más al Oeste. Son calizas negras, laminadas, muy fétidas; calizas margosas laminadas fétidas. El espesor máximo que se deduce es de unos 10 a 15 metros.

Espesor: en su sección tipo, se mencionan 700 m (González de Juana et al., op. cit.), 750 m (CVET 1970) y 50 m fallados, hacia su base (Macsoy, O. et al., op. cit.). Rosales, H. (1960), señaló que la formación es uniforme en cuanto a su espesor. Yoris, R. (1988), reporta los siguientes espesores, obtenidos en trabajos de tesis del Departamento de Geología de la U.C.V.: 420 m (mínimo) al oeste de Caripito; 430 m en el río Guayuta, al Oeste de Punceres, 300 m en la secuencia incompleta en la

región de Pico García, 800 m al norte de Boca de Río Chiquito, al Suroeste de Caripe, 740 m en la quebrada El Añil, en el flanco Norte del anticlinal de río Grande, región de San Francisco, 600 m al este del río Guarapiche (todas las localidades anteriores pertenecen al estado Monagas, en la franja San Antonio de Maturín-Caripito). En el subsuelo de la cuenca oriental se han reportado 590 m en el área de Guanoco (Chiock, N 1985); en las áreas mayores de Anaco y Santa Bárbara, presenta un promedio de 550 m con disminución hacia el Oeste, alcanzando en el campo La Vieja, 305 m (Hay, J y Aymard, R. op. cit.) 353 m (Campos, V. et al., op. cit.).

En el sector Caripe, río Caripe, quebrada El Dantó, estado Monagas, presenta un espesor de 380 metros. La Formación Querecual fue encontrada en río Malvascual, en un afloramiento de unos 120 metros. En río Carinicua, estado Sucre el espesor total medido es de 160 metros (Furrer G y Castro, M. op. cit.).

Extensión geográfica: sus afloramientos abarcan toda la Serranía del Interior en Venezuela Nororiental, así como hasta el Archipiélago Guaiquerí, frente a Puerto La Cruz. En el subsuelo se la ha reconocido en la región de Guanoco (Chiock, M 1985) y al Norte de la población de Anaco (Hay, J y Aymard, R. 1977). También se la ha extendido a la región piemontina de la Cordillera de la Costa (González de Juana et al., op. cit.).

Contactos: en su sección tipo, el contacto inferior se encuentra fallado (Macsoy, O. et al., op. cit.), ha sido descrito como "de marcado contraste litológico con las unidades del Grupo Sucre infrayacente" (González de Juana et al, op. cit.), y fundamentalmente, concordante con las formaciones Chimana o El Cantil (Hedberg, H. 1950).

Hedberg, H. (1950) y Rod, E y Maync, D. (1954), sugieren en base a paleontología, un hiatus local entre las formaciones Querecual y Chimana; Guillaume et al. (1972), proponen una discordancia basal para la Formación Querecual, que abarcó períodos de no sedimentación en algunas localidades, y de erosión en otras. Al Sur y Este de la Serranía del Interior, la unidad descansa casi invariablemente sobre la Formación Chimana, de manera concordante y con una transición corta, donde la glauconita parece ser un marcador importante (Yoris, R. 1985, 1988); el mismo autor descarta la presencia de una discordancia pre-Querecual, en base al tipo de relaciones litológicas y sucesión de ambientes de sedimentación entre las formaciones Chimana y Querecual en esta región de Venezuela Nororiental. En la Isla Puinare, frente a Puerto La Cruz, Macsotay, O. et al. (op. cit.) colocan a la Formación Querecual en forma concordante y abrupta a la Formación Boquerón, de Rod, E y Maync, D (op. cit.). En el subsuelo de la cuenca oriental, el contacto inferior con la Formación Chimana se ha colocado por encima "del primer cuerpo masivo de arenisca, bajo el grueso intervalo de calizas y lutitas" (Hay, J y Aymard, R. op. cit.).

Su contacto superior es concordante y transicional con la Formación San Antonio, especialmente cuando esta última es predominantemente fanítica. En su sección tipo, este contacto se coloca por debajo de la primera capa de arenisca continua de la Formación San Antonio suprayacente; la característica principal de diferenciación entre ambas formaciones, es el aumento en la proporción de areniscas y capas de fanita negra, característicos de la Formación San Antonio (Hedberg, H. 1950); no obstante, en numerosos sitios de la Serranía del Interior, no es posible establecer una clara distinción entre ambas unidades (Rosales, H op. cit.),

Fósiles: Hedberg, H y Pyre, F (1944), reportan *Inoceramus labiatus* Schlotheim (cerca de la base de la formación), *Inoceramus* sp., I. cf. I. peruanus Bruggen, ammonites desmocerátidos y acantocerátidos, *Turrilites* sp, y *Prionot* sp. La unidad es especialmente rica en microfauna, con abundancia de los géneros Hedbergella,

Bulimina, Heterohelix y Globotruncana. En Yoris, R. (1985, 1988), se reporta la frecuente presencia de *Ticinella* sp., en la parte inferior de la Formación Querecual, al Sur de la Serranía del Interior y en Yoris, R. (1988), se dan listas de fósiles identificados por Furrer en trabajos de tesis del Departamento de Geología de la UCV y en las que aparecen además de las taxas ya mencionadas: *Rotalipora*, *Bolivina*, *Neobulimina*, *Clavhedbergella*, *Rugoglobigerina*, abundantes radiolarios y ocasionales espinas de esponjas. Chiock, M. (op. cit.), indica como característico de la Formación Ouerecual, en el subsuelo de Monagas, el foraminífero *Globigerina* cretacea d'Orbigny; en un sentido más amplio, también ha sido caracterizada la unidad por medio de la "Zona de Globigerinidae" (vease Hay, J y Aymard, R. op. cit.; Campos, V. et al., op. cit.).

Furrer, G y Castro, M. (op. cit.) identificaron la siguiente fauna: en río Carinicua, estado Sucre, el contenido fosilífero consiste en Ammonites; foraminíferos planctónicos *Hedbergella planispira*, *Hedbergella delrioensis*, *Hedbergella simplex*; ausencia de foraminíferos bentónicos y nannoplacton calcáreo representado por *Cruciellipsis chiesta*, *Eiffellithus turriseiffeli*, *Eprolithus floralis*, *Gartnerago obliquum*, *Micula staurophora*, *Nannoconus* sp., *Parhabdolithus embergeri*, *Prediscosphaera cretacea*, *Watznaueria barnesae*, *Watznaueria biporta*, *Zygodiscus diplogramus*. El paleoambiente es de plataforma externa a batial superior.

Edad: la Zona de *Rotalipora ticinensis* (Albiense Tardío extremo-Cenomaniense Temprano), fue mencionada por Guillaume et al. (op. cit.). La presencia de *Ticinella* sp en la parte inferior de la unidad, parece extender su edad al Albiense Tardío extremo, especialmente por su posición suprayacente a la Formación Chimana, restringida al Albiense (Yoris, 1985). Los macrofósiles presentes parecen extender la edad de la Formación Querecual, hasta el Turoniense-Coniaciense, con probable extensión al Santoniense (González de Juana et al., op. cit.). Otros autores se inclinan por una edad no más antigua que el Turoniense, basándose en las taxas

publicadas por Liddle, R. (1946) y Hedberg, H, Pyre, F. (1944), (Macsoy et al., op. cit.). El rango máximo de edad es entonces, Albiense Tardío extremo Santoniense.

Furrer, G y Castro, M. (op. cit.) determinaron en la quebrada El Dantó, estado Monagas, una edad Albiense Tardío a Cenomaniense-Coniaciense Temprano; en río Carinicua, estado Sucre es de edad Albiense Tardío a base del Coniaciense. En el sector Cangrejal-río Coicual, estado Sucre, el contenido fosilífero indica una edad Albiense Tardío a Coniaciense Temprano.

Correlación: la Formación Querecual se continúa lateralmente con la parte superior del Grupo Temblador: la Formación Tigre, en base al aumento progresivo del contenido de areniscas hacia el Sur (Campos, V et al., op. cit.). Hacia el Oeste, se la ha correlacionado litológicamente y por edad, con la Formación Mapuey, estado Cojedes y con la Formación La Luna de Venezuela occidental (CVET, op. cit.). Hacia el Este, se la considera equivalente lateral de la Formación Naparima Hill, de Trinidad (Ibidem).

Geoquímica: la Formación Querecual en su origen se caracteriza por un aumento de las concentraciones promedio de estroncio, zinc y carbono orgánico total; una disminución de las concentraciones promedios de magnesio y hierro. Hacia su final se caracteriza por una disminución de las concentraciones promedios de estroncio, zinc y también en los porcentajes de carbono orgánico total; un aumento de las concentraciones promedios de manganeso y hierro.

En el río Querecual, los elementos trazas indican: estroncio, este elemento permite dividir el afloramiento en tres partes, de la base hasta 200 metros con una presencia de 2000 ppm., de 200 a 400 metros con un decrecimiento notable y de 400 metros al tope con 500 ppm. aproximadamente; el manganeso presenta niveles inferiores a 100 ppm.; el hierro, se presenta en niveles inferiores a 500 ppm.; el zinc,

se presenta con una gran amplitud de variación de base a tope entre 500 ppm y 2000 ppm.

El carbono orgánico total (COT) permite dividir el afloramiento en cuatro partes: de la base hasta 100 metros los porcentajes decrecen desde 4 hasta un 2%; de 100 a 200 metros existe un ligero aumento de 2 a 5% con un pico a 160 metros de 9%; de 200 a 410 metros, existe una disminución de porcentaje de 5 a 1% y de 410 metros hasta el tope, se observa una estabilización acompañada de una ligera tendencia positiva, de 1 a 2.5% (Furrer, G y Castro, M. op. cit.).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Procesos sedimentarios

Los sedimentos son registros fieles de los cambios susceptibles y sutiles en la procedencia y en el medio ambiente de depositación de los mismos. El proceso sedimentario es la parte del ciclo geológico externo que conduce a la formación de los sedimentos. Incluye una serie de procesos de menor orden, que describimos brevemente a continuación:

3.1.1 Destrucción de rocas preexistentes por meteorización y erosión

La meteorización consiste en la alteración de los materiales superficiales debido a diversos agentes físicos y químicos. Los agentes físicos están ligados a cambios de temperatura, o de estado físico del agua (cristalización de hielo en grietas), especialmente asociados a ambientes muy húmedos. Los agentes químicos están relacionados a la acción de agentes disueltos en el agua de lluvia (CO_2 , SO_3 , N_2O_3) y la presencia en el aire de estos compuestos, de modo natural o por contaminación. La acción de los agentes químicos se ve favorecida en climas cálidos y húmedos. Los procesos que tienen lugar durante la meteorización química son: carbonatación, oxidación, hidratación y disolución. Otro proceso dentro de esta primera fase es la erosión, la cual consiste en el desgaste de las rocas por la acción de los agentes exógenos, ésta se produce por agentes pasivos (la gravedad) y activos (viento y agua en sus diversos estados). (Coromines, J. 2000).

3.1.2 Transporte de partículas

Este fenómeno se da por medio de agentes geológicos externos (principalmente el agua) a sectores más o menos distantes del original. Las partículas transportadas por el agua pueden hacerlo en disolución o en forma sólida (en suspensión o por arrastre) (Coromines, J. op. cit).

3.1.3 Sedimentación o depósito

Consiste en la acumulación de los materiales transportados en determinados sectores, cuando cesa el transporte. El depósito de las sustancias transportadas se realiza, bien por disminución de la energía cinética del agente de transporte o bien por reacciones químicas o biológicas. Esta acumulación de materiales forma los sedimentos. Podemos distinguir dos tipos fundamentales de sedimentos, que se corresponden con los dos tipos de partículas transportadas: a) sedimentos detríticos: acumulación de partículas que eran transportadas en estado sólido por una corriente; el depósito se efectúa por caída de dichas partículas cuando la velocidad de la corriente desciende; b) sedimentos químicos: formados por precipitación química de sustancias disueltas en agua. Se forman, especialmente en medios de aguas en calma y se favorecen cuando hay una intensa evaporación. Además de estos dos tipos básicos de sedimentos, podemos citar otros dos de características especiales (en realidad son tipos particulares de sedimentos químicos): los sedimentos bioquímicos, en los que la precipitación del material disuelto se ve favorecida por la acción de microorganismos, como las bacterias; y los sedimentos orgánicos, formados por la acumulación de restos de organismos (Coromines, J. op. cit). Las áreas con características uniformes de depósito se denominan ambientes o medios sedimentarios. Un concepto que no hay que confundir con este es el de cuenca sedimentaria; debido a que estas se denominan como aquellas regiones amplias en las

que durante un largo intervalo de tiempo hay sedimentación, acompañada de subsidencia.

3.2 Geoquímica

La Geoquímica es la ciencia que estudia el aspecto químico de los procesos geológicos. Existen dos ramas fundamentales: geoquímica orgánica y geoquímica inorgánica. El presente Trabajo Especial de Grado trata fundamentalmente con geoquímica inorgánica.

3.2.1 Geoquímica de rocas sedimentarias

La geoquímica de rocas sedimentaria, comprende el estudio de la distribución y abundancia de elementos químicos en estas rocas, y su relación con los diversos procesos que intervienen en su formación. Existe una serie de factores geológicos que controlan la composición química de una roca sedimentaria y que deja impreso en las mismas evidencias de cómo fueron esos procesos y cuál fue su intensidad y duración, este hecho permite utilizar el estudio geoquímico como una fuente adicional de información para una mejor comprensión de los procesos de formación de estas rocas. Entre los principales parámetros o factores que controlan la distribución de los elementos químicos de las rocas sedimentarias se encuentran: composición de la roca fuente; factores que actúan durante la meteorización y erosión de la roca fuente (relieve, drenaje, clima, temperatura, humedad); ambiente tectónico; ambiente de depositación, condiciones hidrodinámicas, salinidad, características físico-químicas del medio, Eh y pH; condiciones reinantes durante los procesos de soterramiento, diagénesis y litificación (Camposano, L. 2000; Rodríguez, N et al.,2000). Según Raymond, L. (1997), la composición total química de las rocas sedimentarias es excesivamente variable. Considerando la composición en términos de óxidos, se ha encontrado que el SiO₂ puede exceder hasta un 99% en algunas areniscas, ejemplo,

el Al_2O_3 puede llegar muy cerca del 70% en la bauxita, el FeO puede alcanzar valores tan altos como 60% en la siderita, el MgO a 20% en la dolomita y CaO hasta 56% en las calizas puras. Se señala que la determinación de una composición química promedio de rocas sedimentarias no es simple, y a través del tiempo ha existido mucho interés en caracterizar las rocas sedimentarias de acuerdo a su composición química. Las principales variables que controlan la cantidad y distribución de los elementos químicos en las rocas sedimentarias según Rodríguez et al. (2000) son: a) composición de la roca fuente, b) factores que actúan durante la meteorización y erosión de la roca fuente; c) ambiente tectónico; d) ambiente de depositación, condiciones hidrodinámicas, salinidad, características físico-químicas del medio, Eh y pH; y e) condiciones reinantes durante los procesos de soterramiento, diagénesis y litificación. (Coromines, J. 2000. citado en Camposano L, 2000; Rodríguez, N *et al.*, 2000).

3.2.2 Composición química de las rocas sedimentarias

La Tabla 3.1 presenta análisis de elementos mayoritarios seleccionados de algunos tipos de rocas sedimentarias. El objetivo de dicha tabla no es mostrar el rango total posible de composiciones ni presentar valores promedios, más que eso su fin es proveer una impresión general de la diversidad química.

Tabla 3.1 Análisis químicos de rocas sedimentarias seleccionadas, valores en porcentaje (Modificado de Raymond, L. 1997).

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	96.95	94.7	67.2	61.84	4.21	1.15	0.28
TiO_2	0.17	0.06	0.05	0.83	0.12	-	-
Al_2O_3	1.96	1.1	14.6	13.40	4.38	0.45	0.11
Fe_2O_3	-	0.22	2.3	1.15	7.27	0.26	-
FeO	0.58	2.7	1.9	3.83	37.27	-	0.12
MnO	-	0.05	0.1	0.05	0.18	-	-
MgO	0.05	0.14	2.3	2.69	1.68	0.56	21.30
CaO	0.08	0.06	1.8	2.68	22.49	53.80	30.68

Continuación tabla 3.1

Na₂O	0.05	0.01	3.7	0.97	0.01	0.07	0.03
K₂O	0.27	0.37	1.9	2.8	0.00	0.07	0.03
P₂O₅	-	0.03	0.1	0.44	1.00	-	0.00
LOI	0.59	0.79	3.4	9.74	20.81	43.61	47.42
Total	100.40	100.2	99.4	100.42	99.87	99.90	99.97

Donde:

1. Cuarzo Arenita; Formación Abbott (Pensilvaniano), Illinois.
2. Chert rojo con láminas delgadas; Complejo Franciscano (Jurásico-Cretáceo), California.
3. Grauvaca; cinturón costero, Complejo Franciscano (Jurásico-Cretáceo), California.
4. Lutita; Lutita Cody (Cretáceo), Wyoming.
5. Ferrolita hematítica; Formación Keefer (Silúrico), Pensilvania.
6. Caliza; Formación Solenhofen (Jurásico), Bavaria.
7. Dolomita; Dolomita Royer (Cámbrico), Oklahoma.

Nótese que el valor de SiO₂ oscila de 0% a casi 100%. La alúmina (Al₂O₃) es menos variable, pero va desde valores muy bajos en rocas carbonáticas (<1%) a valores moderadamente altos en lutitas y en areniscas con abundantes feldespatos (análisis 3 en tabla 3.1) (Raymond L. 1997).

3.2.3 Quimiofacies

Briceño, H. et al. (1996) definen como quimiofacies a un grupo de rocas ubicadas en secuencia vertical, entre las cuales las diferencias geoquímicas no varían significativamente.

Las quimiofacies o unidades químicas se derivan principalmente de los análisis de los perfiles de concentración (Figura 3.1) y corroborados por los análisis de agrupaciones.

3.2.4 Elementos móviles

Se movilizan y reubican dentro de los sedimentos en respuesta a los procesos diagenéticos y cambios en las condiciones redox (óxido-reducción) del ambiente sedimentario, en otras palabras son sensibles a tales procesos.

En vista de ello, reflejan las condiciones de deposición, factor que a su vez los convierte en indicadores de las condiciones físico-químicas del ambiente sedimentario.

3.2.5 Elementos inmóviles

No se movilizan dentro de los sedimentos, a pesar de los procesos diagenéticos que ocurren dentro de los mismos. Dada esta condición, preservan la huella detrítica de la roca que originó el sedimento. Pearce y Jarvis (1995) señalan dentro de éste grupo a: Si, Ti, Al, Mg, K, Hf, Tierras Raras (REE por sus siglas en inglés), Zr, Cr, Nb, Y, La y Ce. La movilidad es función de su radio iónico (r), expresado en Å, y de su carga iónica (Z). La relación Z/r se conoce como potencial iónico (PI) según Mason (1958). El precitado autor señala que los elementos con un bajo PI, tales como

La magnitud del PI es un parámetro útil en predecir el comportamiento de los iones en medios acuosos y la misma depende del grado de interacción entre el ión y las moléculas de agua, a mayor interacción, el valor del PI aumenta (Sandoval, M. 2000). La autora divide a los iones en tres grupos principales. Un primer grupo formado por los cationes solubles, con PI entre 0 y 3, y son especies químicas estables en soluciones acuosas. Ejemplos de ellos son: Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Ba^{+2} , Ca^{+2} y Sr^{+2} .

Elementos con PI entre 3 y 12 conforman el segundo grupo y son capaces de hidrolizar y formar hidróxidos insolubles. Ejemplo de ellos es Al^{+3} , Fe^{+3} , Si^{+4} y el Mn^{+4} .

Iones con PI mayor a 12 forman complejos aniónicos solubles que contienen oxígeno y como regla general, originan soluciones iónicas. Ejemplos son el B^{+3} , C^{+4} , P^{+5} , S^{+6} y el Mn^{+7} .

3.2.6 Elementos mayoritarios de rocas sedimentarias

Según Arreaza, C. (2003) son los elementos predominantes en las rocas sedimentarias siendo su concentración en las mismas superior al 1%. Estos son Si, Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Na, K y P, y sus concentraciones son expresadas como sus correspondientes óxidos: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , Na_2O , K_2O y P_2O_5 .

Bathia, M. (1983) en Arreaza, C. (2003), establece que la geoquímica de los elementos mayoritarios en areniscas puede ser utilizada para inferir el tipo de fuente y el marco tectónico de cuencas sedimentarias antiguas.

3.2.6.1 Elementos mayoritarios y su significado geológico: las concentraciones variables en las que se presentan los elementos mayoritarios y los óxidos que éstos

forman tienen significados geológicos particulares. La información geológica que ellos pueden brindar se aprecia mejor cuando estas concentraciones son graficadas según la altura estratigráfica en un perfil de concentración (Figura 3.1), dado que la variación mostrada por sus concentraciones puede reflejar eventos geológicos importantes. (Tabla 3.2).

3.2.7 Relaciones interelementales

Diversas relaciones entre los elementos mayoritarios, así como entre sus óxidos, han sido establecidas con la finalidad de obtener información que ayude a interpretar los procesos geológicos experimentados por una roca determinada.

a. $(Al_2O_3 + SiO_2)/CaO$: según Litos, E. (1996) y Briceño, H. *et al.* (1996), en Noguera y Yépez (2002), expresa la relación entre sedimentación siliciclástica y carbonática.

b. Al_2O_3/K_2O : indica distancia de la fuente para las arcillas. Según Yarincik y Murray (2000) en Noguera y Yépez (2002), indica relaciones entre los tipos de arcilla.

c. SiO_2/Al_2O_3 : Arreaza, C. (2003) sostiene que establece la diferenciación entre facies arcillosas y arenosas. Además, sirve como indicador de madurez mineralógica, y de variaciones de energía del medio transporte de los sedimentos. Herron (1988) indica que la relación SiO_2/Al_2O_3 separa a las cuarzoarenitas ricas en SiO_2 de las areniscas intermedias más ricas en Al_2O_3 .

d. Na_2O/MgO : Litos, E (1996), establece que esta relación indica cambios en la salinidad de las aguas,

Tabla 3.2 Significado geológico de los óxidos mayoritarios.

Óxidos Mayoritarios		SIGNIFICADO GEOLÓGICO		
ASOCIACIÓN CLÁSTICA	TiO ₂	Según Wintsch y Kvale (1994) son los componentes más insolubles dentro de las rocas sedimentarias, por lo cual muestran baja redistribución debido a los efectos diagenéticos y su contenido se asocia con la composición química de los minerales que las constituyen.	Bellanca <i>et al.</i> (1999) los consideran indicadores del influjo detrítico. El TiO ₂ tiende a mostrar concentraciones bajas en los ambientes de arco volcánico y altos en basaltos de cordillera centro-oceánica (Sun y McDonough, 1989 en Petersen <i>et al.</i> 2004)	Componentes de la asociación clástica silíceas.
	SiO ₂			
	Fe ₂ O ₃			Al-Gailiani (1980) señala que hay un incremento de Fe ₂ O ₃ en las cercanías de las discordancias y paleosuelos.
	Al ₂ O ₃			
	K ₂ O	Las variaciones en las especies minerales de arcillas en las rocas ejercen control primario sobre los contenidos de Al ₂ O ₃ , K ₂ O, y Na ₂ O (Litos 1996).	Para Al-Gailiani, (1980) la presencia de éste óxido es un buen indicador de minerales detríticos tales como feldespatos potásicos, muscovita, illita autigénica y caolinita.	Raymond (1997) afirma que su contenido en las rocas sedimentarias es generalmente bajo, pero es abundante en las areniscas ricas en feldespato potásico, lutitas y algunas evaporitas.
	Na ₂ O		Raymond (1997) señala que el Na ₂ O es moderadamente abundante en areniscas ricas en albita y en evaporitas con halita u otro mineral que contenga sodio.	
MnO	Pratt <i>et al.</i> , (991)en Jarvis <i>et al.</i> (2001) lo consideran relacionado con los carbonatos. Los HST (<i>Highstand systems tracts</i>) tienen por lo general bajos contenidos de Mn.			
ASOCIACIÓN CARBONÁTICA	CaO	Raymond (1997) indica que su contenido es generalmente bajo en las rocas sedimentarias, a excepción de las calizas y rocas con abundante cemento de calcita.	Es un buen indicador de la presencia de carácter carbonático así como de la presencia de plagioclasas cálcicas en las areniscas (Boles y Franks 1979; en Arreaza, 2003).	
	MgO	Raymond (1997) sostiene que su contenido es generalmente bajo en las rocas sedimentarias, a excepción de las dolomitas donde la dolomía es el principal mineral. Su concentración en una roca sedimentaria es el resultado del efecto neto de proveniencia, concentración hidráulica y diagénesis de minerales ferromagnesianos (Lindsey 1999).	De acuerdo a Feng y Kerrich (1990) en Raymond (1997) valores altos en su concentración pueden señalar facies con tendencia al carácter evaporítico, dado que se correlaciona con la salinidad del agua. Tiene proporciones elevadas en sedimentos provenientes de terrenos fuente con elementos máficos (rift continental).	

e. MnO/Fe_2O_3 : de acuerdo a Litos, E. (1996) sirve para destacar los ciclos mayores de somerización y profundización.

f. Fe_2O_3/K_2O : Arreaza, C. (2003) expresa que es indicador de estabilidad mineralógica, así como cercanía a la fuente de sedimentos.

g. TiO_2/Al_2O_3 : Yarincik y Murray (2000) en Noguera y Yépez (2002) señalan que expresa las relaciones de granulometría y condiciones de energía del medio.

h. Na_2O/K_2O : Herron, M. (1988) observó la proporción Na_2O/K_2O para distinguir las grauvacas de las arcosas.

i. TiO_2/V : Yarincik, K. et al. (2000), en Noguera y Yépez (2002) la señalan como indicadora de condiciones de oxigenación del ambiente de sedimentación.

j. $CIA = (100 * Al_2O_3) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$: conocida como Chemical Index Alteration, y según Nesbitt y Young (1982) en Arreaza, C. et al. (2000) sirve para estimar el grado de meteorización de la región de proveniencia. Altos valores (76 – 100) indican intensa meteorización, y bajos valores (50 o menos) señalan zonas no meteorizadas.

3.2.8 Elementos minoritarios y traza

Son los elementos menos abundantes en la roca y sus concentraciones se expresan en ppm o ppb y son < 0,1%. Entre ellos están: As, Ba, Cr, Co, Cu, Hg, Hf, Mn, Mg, Mo, Ni, Nb, P, Rb, S, Se, Sr, U, V, Y, Zr, entre otros.

Bathia, M. (1983) en Arreaza, C. (2003) establece que la geoquímica de los elementos traza refleja las condiciones físico-químicas en que estos se depositaron.

Calvert y Pedersen (1993) en Arreaza, C. (2003), señalan que la información composicional de elementos traza y minoritarios pueden proveer una manera de deducir cambios en el nivel de oxígeno de agua de fondo oceánico. Crusius et al. (1996) en Moreno et al. (2004) sostienen que aportan información sobre la historia de deposición biogénica.

Pearce y Jarvis (1995) han enfatizado la importancia de los elementos traza, particularmente aquellos localizados predominantemente en minerales pesados refractarios, para la interpretación de proveniencia de sedimentos.

3.2.8.1 Elementos traza y su significado geológico: del mismo modo que los elementos mayoritarios, los elementos traza tienen concentraciones variables en las rocas sedimentarias.

Las variaciones en dicho contenido expresan indirectamente información geológica acerca de la roca o sección a la cual pertenecen (Tabla 3.3).

3.2.8.2 Relaciones interelementales de elementos traza: las relaciones entre las concentraciones de los elementos traza también aporta información valiosa sobre las condiciones de la cuenca de sedimentación donde se formó una roca en particular.

- Ni/V: Litos, E. (1996) afirma que demarca las condiciones redox del medio durante la sedimentación. Condiciones redox muy reductoras (poco oxígeno en el ambiente) causarán fijación preferencial de V con relación al Ni, y condiciones redox menos reductoras invertirán la relación.

Tabla 3.3 Significado geológico de algunos elementos minoritarios.

SIGNIFICADO GEOLÓGICO			
Elemento	P		-----
	Cr		Feng y Kerrich (1990) en Raymond, (1997) indican que tienen proporciones elevadas en sedimentos provenientes de terrenos fuente con elementos máficos (rift). Graver <i>et al.</i> (1994) en Asiedu <i>et al.</i> (2000) señalan que elevadas concentraciones de Ni y Cr, y alta correlación de estos con el Co sirven para inferir fuentes ultramáficas.
	Ni	Tienden a presentar concentraciones elevadas en las lutitas de origen marino.	Enriquecimientos de Cr indican condiciones anóxicas de sedimentación (Calvert y Pedersen, 1993 en Moreno <i>et al.</i> , 2004)
	Zn		Mongenot <i>et al.</i> (1996) señalan que el enriquecimiento en estos elementos indica condiciones reductoras fuertes (a excepción del Cadmio).
	V	Feng y Kerrich, (1990) en Armstrong-Altrin <i>et al.</i> , (2004) lo consideran junto al Cr, Ni y Co como elemento traza ferromagnesianos	Leventhal y Hosterman (1982) en Raymond (1997) sostienen que las rocas con elevado contenido de carbono orgánico total (C.O.T.), una característica de ambientes anóxicos, están enriquecidas en estos elementos.
	Cd		
	Sr	Papekh <i>et al.</i> (1977) en Raymond (1997) señalan que tienden a sustituir al Calcio en cantidades apreciables dentro de la estructura cristalina del aragonito.	El contenido de Sr tiende a ser alto en rocas con elevado porcentaje de Calcio. Es suministrado a los océanos por ríos y sistemas hidrotermales en los centros de expansión oceánica y removido por su incorporación en carbonatos biogénicos (Graham <i>et al.</i> , 1982 en Crespo de Cabrera <i>et al.</i> , 1999).
	U		Tiene la tendencia a presentarse asociado en las rocas fosfáticas. Para Calanchi et al. (1996) en Wicander y Monroe (1999) precipita en presencia de materia orgánica.
	Zr	Es insensible a los procesos diagenéticos, por ello refleja la constitución química del terreno fuente de los sedimentos que formaron la roca en la que está presente.	
	Nb	Enriquecimientos de Niobio en una roca sugieren fuente de sedimentos de tipo volcanogénico.	
Ba	Es considerado como un marcador de productividad biogénica (Von Breyman <i>et al.</i> , 1992 en Crespo de Cabrera <i>et al.</i> , 1999). Mongenot <i>et al.</i> (1996) sostienen que es un índice no confiable de paleoproduktividad en rocas ricas en materia orgánica. Schebau <i>et al.</i> (2001) en Moreno <i>et al.</i> (2004) señalan que su uso como un registro de productividad es influido por el ingreso de Ba terrígeno y posible removilización diagenética.		

- Th/V: para Litos, E. (1996) es potencial indicador ya sea de influencia continental o de profundidad y ayuda a identificar el carácter lutítico de una roca.

- V/Al: enriquecimientos de esta relación respecto a los valores promedio PAAS (Post Archean Average Shale) de Taylor y McLennan (1985) indican condiciones anóxicas de sedimentación (Calvert y Pedersen, 1993 en Moreno et al., 2004).

- Rb/Sr: según McLennan et al. (1993) en Arreaza, C. (2000) permite estimar el grado de meteorización de la roca fuente. En opinión de Dinelli, E. et al. (1999) sirve para estimar los cambios de la relación siliciclástica y carbonática.

- La/Co: Armstrong-Altrin et al. (2004) afirman que valores entre 0.14 y 0.38 señalan aporte máfico, y entre 1.8 y 13.8 aporte félsico

Briceño, H. et al. (1996) en Noguera y Yépez (2002) agrupan los componentes químicos de las rocas sedimentarias según sus afinidades químicas dentro de tres asociaciones principales: asociación clástica, asociación orgánica y asociación carbonática (Tabla 3.4).

3.3 Quimioestratigrafía

La Quimioestratigrafía es la rama de la estratigrafía que se ocupa del estudio e interpretación de la composición geoquímica de las rocas sedimentarias representadas en las secciones estratigráficas.

Tabla 3.4 Agrupaciones de componentes químicos de las rocas según sus afinidades químicas (Modificado de Noguera y Yépez, 2002).

ASOCIACIÓN		CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES QUÍMICOS
CLÁSTICA	SILÍCEA	Asociados a la fracción siliciclástica de la roca.	SiO ₂ , TiO ₂ .
	ARCILLOSA		Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O, Nb, La, Ce, Th.
ORGÁNICA		Metales usualmente fijados en componentes orgánicos. Las mayores concentraciones se preservan en rocas depositadas en ambientes ricos en actividad orgánica y/o de alta preservación de materia orgánica (medio anóxico).	V, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, U, C.O.T. (Carbono orgánico total).
CARBONÁTICA		Son los constituyentes principales de los carbonatos.	Ca, Sr, MgO, P ₂ O ₅ , L.O.I (siglas en inglés de Pérdida por ignición).

Pearce, T. et al. (1999) definen el término quimioestratigrafía como la caracterización y correlación de estratos usando la geoquímica de elementos traza, elementos mayoritarios, isótopos radioactivos e isótopos estables. La quimioestratigrafía sigue una metodología que demuestra su potencial como una herramienta de correlación que puede ser aplicada a muestras de núcleos, secuencias de afloramientos de rocas, y más importante aún, a muestras de canal. Se sugiere que los eventos geoquímicos reflejan cambios en los ambientes físico-químicos y depositacionales, y que por lo tanto son significativos en el tiempo. Arreaza, C. (2003) sostiene que es una técnica aplicable a secuencias estériles, y que es un método relativo, más no absoluto. Sin embargo puede ser calibrado empleando bioestratigrafía, cronoestratigrafía y geocronología.

3.4 Bases teóricas de los métodos analíticos

Para el desarrollo de este estudio se aplicó el método de ICP el cual será descrito a continuación:

3.4.1 Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES)

Este procedimiento de ensayo permite la determinación de Si desde 0,20% hasta 100% y Al, Cr, Fe, Na, Ca, K, Ti, Mn, P, y Mg desde 0,10% hasta 50% en muestras de rocas fosfóricas (El límite superior no está calculado a partir del contenido esperado en los materiales indicados, sino sobre la base del factor de dilución y la calibración utilizada).

El método se basa en la descomposición de las muestras por fusión con metaborato de litio y la determinación final de los elementos mediante la utilización de un espectrómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES).

El método se puede aplicar al análisis de una amplia gama de materiales y con el mismo pueden ser determinados simultáneamente los elementos Al, Si, Fe, P, Na, K, Ti, Cr, Ca, Mg, y Mn en un amplio rango de concentraciones, a partir de la muestra directa o cualquiera de sus diluciones, según los contenidos estimados.

3.5 Bases teóricas de los métodos estadísticos

La palabra estadística se usa para caracterizar hechos numéricos reunidos sistemáticamente en cualquier campo, ya sea de observación o experimental. La Estadística se puede dividir en tres grandes capítulos:

a) Estadística Descriptiva: se ocupa del estudio de datos, los cuales se disponen en la forma más conveniente para su análisis o inspección.

b) Teoría de Probabilidades: se ocupa del estudio de un modelo matemático, que formaliza ciertos elementos de regularidad que sugieren leyes. Estas leyes se expresan en forma de axiomas lógicos, desarrollando las consecuencias de los axiomas, produciendo así un conjunto de teoremas o proposiciones.

c) Inferencia Estadística: se ocupa de las relaciones entre el modelo matemático y la práctica, constituyendo, en cierta forma, la rama aplicada de la estadística.

Una vez obtenidos los datos, el tratamiento de los mismos suele llevarse a cabo por medios estadísticos a través de métodos que permiten presentar y manejar con mayor facilidad los resultados obtenidos, debido a la gran cantidad de variables estudiadas. Las técnicas estadísticas son particularmente beneficiosas para establecer comparaciones y agrupaciones con la finalidad de caracterizar químicamente la secuencia estudiada. El tratamiento consiste en reconocer qué valores corresponden a una distribución normal, y qué valores son anómalos.

3.5.1 Métodos estadísticos univariantes

Manejan una sola variable, sin considerar su relación con otras variables presentes dentro del universo de estudio. Aportan fundamentalmente información sobre la variabilidad de los datos de la población y su distribución alrededor a los valores centrales (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Principales métodos estadísticos empleados en estudios geoquímicos.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS	UNIVARIANTES (una variable)	DESCRIPTIVOS	Tendencia central	❖ Media	
				❖ Mediana	
		ariabilidad	❖ Varianza	❖ Desviación estándar	❖ Valores extremo y rango
	BIVARIANTES (dos variables)	GRAFICOS	❖ Histogramas de frecuencia ❖ Polígonos de frecuencia ❖ Curvas de frecuencia ❖ Perfiles de concentración		
		DESCRIPTIVOS	❖ Covarianza ❖ Coeficiente de correlación		
	MULTIVARIANTES (más de dos variables)	GRAFICOS	❖ Diagramas de dispersión		
❖ Diagramas ternarios ❖ Análisis de agrupaciones ❖ Funciones discriminantes					

3.5.2 Estadística descriptiva

Se ocupa del estudio de datos, los cuales se disponen en la forma más conveniente para su análisis o inspección. A través de la estadística descriptiva es posible establecer un resumen de uno o varios valores o medidas, los cuales determinan los principales caracteres del fenómeno que se estudia. Las principales medidas de estadística descriptiva son: medidas de tendencia central y las medidas de variabilidad. Así como la mediana divide en dos partes iguales una serie de valores, existen otras medidas que fraccionan en ciertas proporciones las distribuciones, estos valores se conocen bajo el nombre de cuartiles, quintiles, deciles, percentiles, etc. (Arreaza, C. 2003).

3.5.3 Medidas de tendencia central

Según Arreaza, C. (2003), siempre constituyen un valor típico o representativo de una población de datos y suelen situarse hacia el centro del conjunto de datos (Tabla 3.5).

3.5.3.1 Media o promedio: para Canavos, G. (1988) es el promedio aritmético de un conjunto de datos (observaciones). El valor de la media puede verse afectado de manera desproporcionada por la existencia de valores extremos dentro del conjunto de datos.

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^n xi / n \quad (3.1)$$

Donde:

\overline{X} = Media.

$\sum_{i=1}^n$ = Sumatoria desde el primero hasta el último término.

xi = Observaciones (datos) de la variable X.

n = Número de observaciones.

Tabla 3.5 Medidas utilizadas en estadística descriptiva para conjunto de datos utilizados en este trabajo. (Modificada de Noguera y Yépez, 2002).

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	MEDIDAS DE VARIABILIDAD
Muestra la disposición de un conjunto de datos a agruparse ya sea alrededor de un centro o de ciertos valores numéricos.	Muestra la dispersión de los datos de un conjunto de observaciones.
<p>Media o promedio: la media aritmética es la suma de los valores de la variable de un conjunto de datos dividido por el número total de valores.</p> $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	<p>Desviación estándar (σ): es una medida de cuánto se desvían los datos de su media. Mientras, menor es el valor de la desviación estándar, menor es la variabilidad de una población. Se calcula mediante la siguiente</p> <p>fórmula: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$</p>

3.5.3.2 Mediana: valor de la variable en un conjunto de datos ordenados tal que el número de observaciones menores a tal valor es igual al número de observaciones mayores. Canavos, G. (1988), afirma que la existencia de algunos valores extremos no afecta su valor llegando a ser una medida de tendencia central más deseable que la media.

3.5.4 Medidas de variabilidad

Estas describen la variabilidad de una población con relación a algún valor central o medio. Sirve para estimar cuán homogéneos son los valores de una variable estudiada, en geoestadística son muy útiles para inferir la presencia de anomalías.

3.5.4.1 Varianza: Canavos, G. (1988) la define como el promedio cuadrado de las distancias entre cada observación de un conjunto de datos y la media del conjunto de observaciones.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (3.2)$$

Donde:

σ^2 = Varianza de una variable X.

3.5.4.2 Desviación estándar: Canavos, G. (1988) señala que es la raíz cuadrada de la varianza y es preferida en relación con la varianza, porque se expresa en las unidades físicas de las observaciones. Según Arreaza, C. (2003) cuanto menor es el valor de la desviación estándar, menor es la variabilidad de una población.

3.5.4.3 Valores extremos y rango: para Canavos, G. (1988), el rango es otra medida de dispersión, siendo la diferencia entre el valor más grande (extremo superior) y el más pequeño (extremo inferior) de un conjunto de datos.

3.5.4.4 Percentiles: Conavos, G. (1988) indican que el percentil se refiere al valor por debajo del cual se encuentra un porcentaje determinado de la distribución de valores. Estos valores se conocen bajo el nombre de cuartiles, quintiles, deciles, percentiles, entre otros, de acuerdo a las proporciones en que dividan a los datos.

3.5.5 Estadística gráfica

Para el manejo estadístico de los datos se han utilizado procedimientos estadísticos gráficos, los cuales facilitan la interpretación por la rapidez del efecto visual que producen.

3.5.5.1 Histogramas de frecuencia: los histogramas de frecuencia son un tipo de gráficos de barras que representan a todo un conjunto de datos referidos a una sola variable. En un diagrama de frecuencia acumulada o histograma, se separan los datos en grupos elegidos previamente denominados intervalos. Los números que definen el rango de un intervalo se denominan límites (Canavos, 1988).

3.5.5.2 Polígonos de frecuencia: otro medio para la presentación de distribuciones de frecuencia en forma gráfica es el polígono de frecuencias. En ocasiones, la frecuencia dentro de un intervalo de clase es representada como un punto cuya abscisa es la del punto medio de clase.

Si se unen los puntos adyacentes, se obtiene este polígono de frecuencias (Canavos, 1988. citado en Noguera y Yépez, 2002). Los polígonos de frecuencia son obtenidos a partir de los histogramas de frecuencia, como se observa en la Figura 3.2.

Según Noguera y Yépez (2002) los histogramas de frecuencia, así como los polígonos de frecuencia, se pueden comportar de manera diferente, lo cual indica la movilidad de la variable a través de la población.

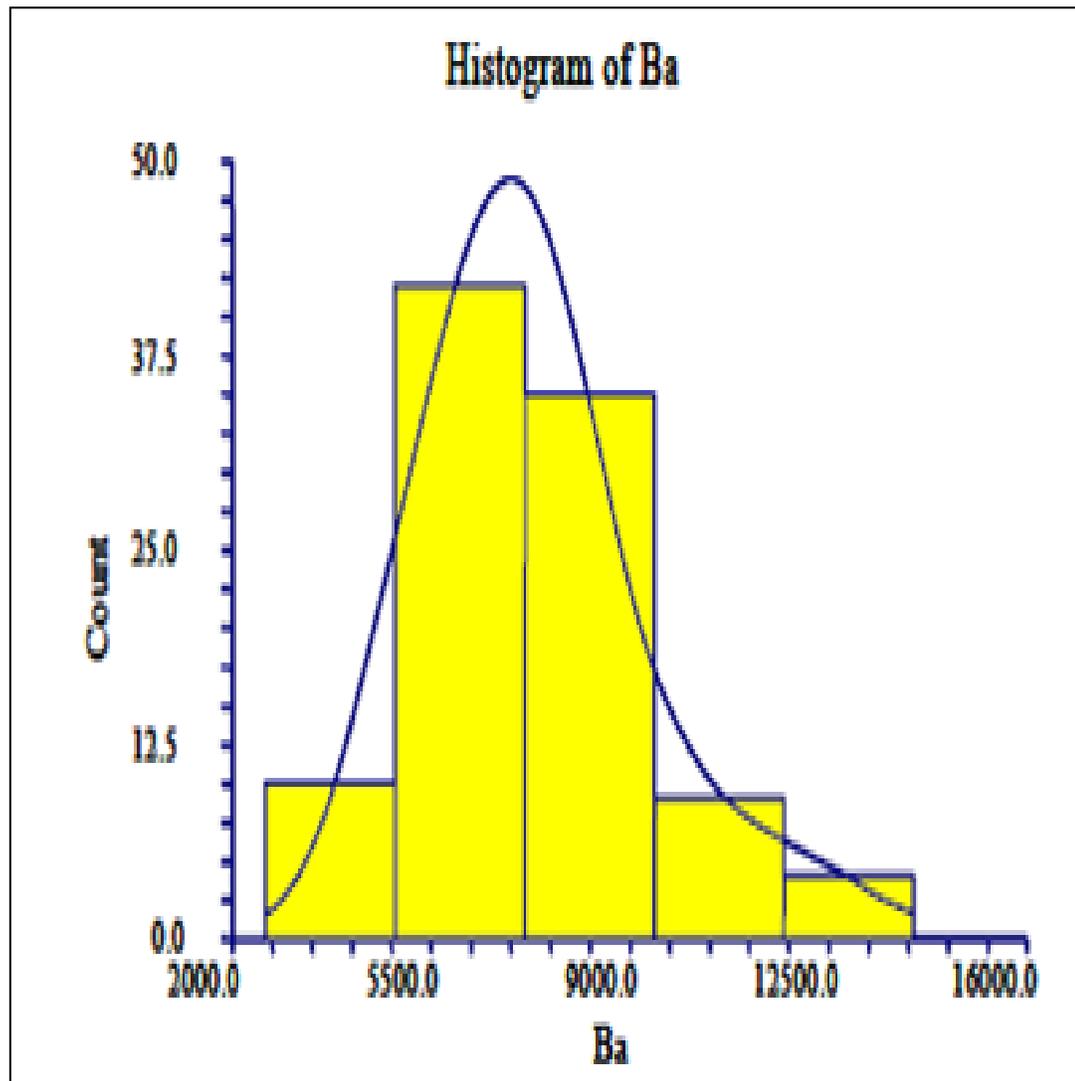


Figura 3.2 Esquema general de un histograma con su polígono de frecuencia. (Elaborado por el programa estadístico NCSS 2000).

3.5.5.3 Curvas de frecuencia: según Canavos, (1988) en Arreaza, C. (2003) representan la verdadera distribución de la población de la que se ha extraído la muestra. Las curvas adoptan diversas formas (Figura 3.3) según la distribución de los datos de la población.

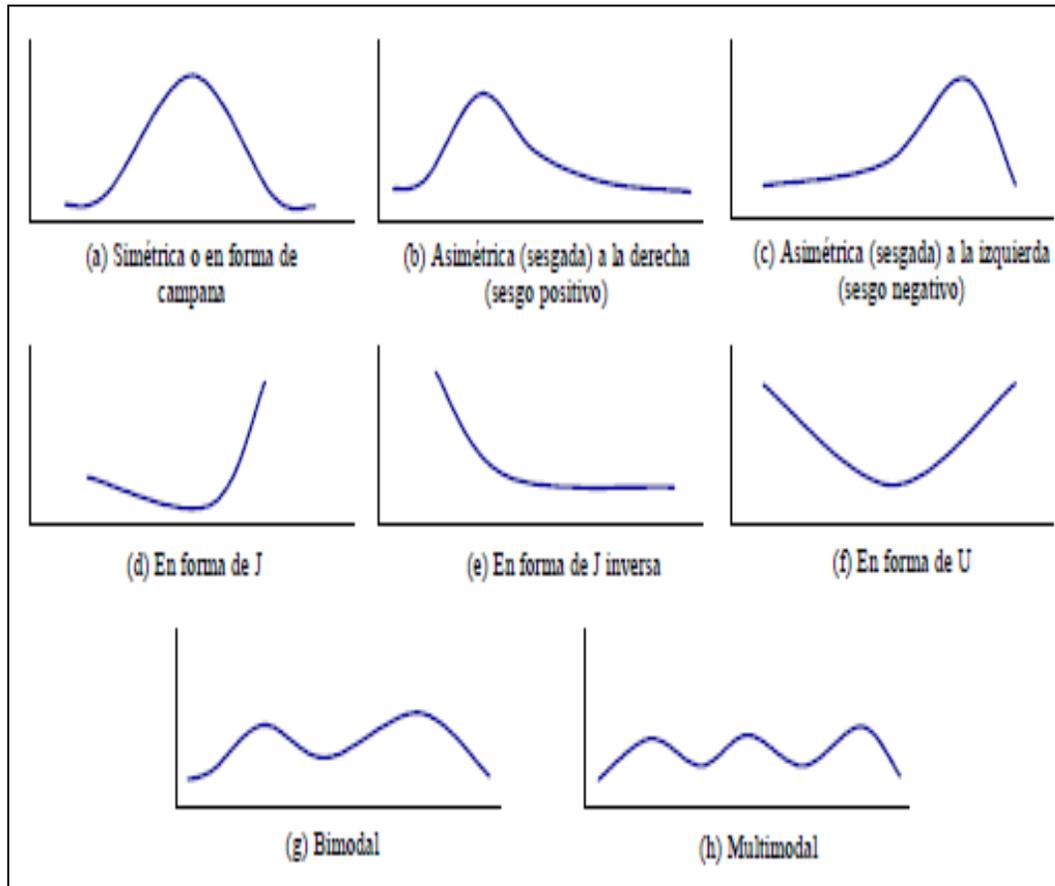


Figura 3.3 Formas características de las curvas de frecuencia (Noguera y Yépez, 2002).

Las curvas de frecuencias simétricas o en forma de campana, se caracterizan porque las observaciones equidistantes del máximo central tienen la misma frecuencia, por ejemplo la curva normal. En las curvas de frecuencia poco asimétricas o sesgadas, la cola de la curva a un lado del máximo central es más larga que al otro lado. Si la cola mayor está a la derecha, se dice que la curva es asimétrica a la derecha o de asimetría positiva. Si la cola mayor está a la izquierda, se dice que la curva es asimétrica a la izquierda o de asimetría negativa. (Figuras 3.3 a, b y c).

En una curva en forma de J o de J invertida, hay un máximo en un extremo. (Figuras 3.3 d y e).

Una curva de frecuencia en forma de U tiene máximos en ambos extremos. (Figura 3.3 f).

Una curva de frecuencia bimodal tiene dos máximos. (Figura 3.3 g).

Una curva de frecuencia multimodal tiene más de dos máximos. (Figura 3.3 h).

3.6 Métodos estadísticos bivariantes

Manejan dos variables y su papel es identificar relaciones entre las variables analizadas. Entre ellos uno de los más importantes es el diagrama de dispersión.

3.6.1 Diagramas de dispersión (correlación entre pares de variables)

Según Canavos, G. (1988), un diagrama de dispersión muestra la localización de los puntos o muestras de dos variables sobre un sistema rectangular de coordenadas en el cual cada eje representa los valores de cada una de ellas. Este tipo de gráficos puede llegar a sugerir la existencia de más de una población de datos así como relaciones entre las variables. Estas a su vez pueden estar correlacionadas positiva o negativamente dependiendo pendiente de la línea de tendencia mostrada por el diagrama de dispersión. A medida que el área cubierta por los puntos se asemeje más a una recta, la relación es más marcada. (Figura 3.4).

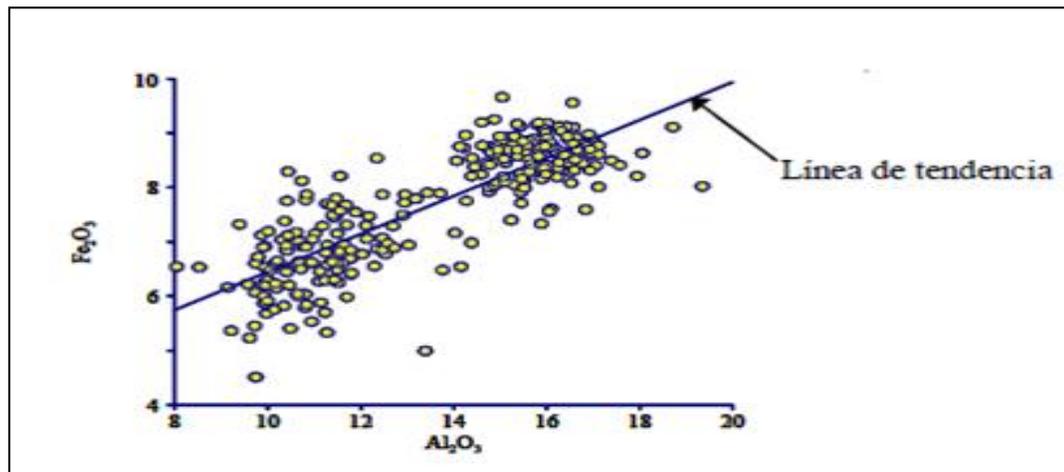


Figura 3.4 Esquema general de un diagrama de dispersión (Rodríguez, N. 2000).

Permiten estudiar la relación entre dos variables x e y , la variable x se coloca en el eje de las abscisas, la otra variable y en el eje de las ordenadas y los pares (x, y) representan al dato, conformando a su vez una nube de punto. La forma de la nube de puntos nos informa sobre el tipo de relación existente entre las variables. Estos diagramas de dispersión también son conocidos como gráficos de correlación (Canavos, G. 1988).

Según Canavos, G. (1988), el objetivo de este gráfico es establecer patrones de correlación o relaciones entre variables que conforman la data. A partir de un diagrama de dispersión es posible calcular curvas o líneas de regresión (recta a la cual se ajusta la distribución de los datos), además de calcular el coeficiente de correlación R , el cual es una medida estadística que describe la fuerza de la relación estadística entre dos variables. Variando el coeficiente entre 1 y -1 . Una correlación igual a 1 indica una relación directa entre dos variables, una correlación igual a -1 indica que una variable cambia inversamente en relación a la otra.

Si una variable tiende a crecer, la correlación se dice positiva o directa. Si una variable tiende a decrecer cuando la otra crece, la correlación se dice negativa o inversa. Si no hay relación entre las variables, decimos que no hay correlación entre ellas (Arreaza, C. 2003). (Figura 3.5).

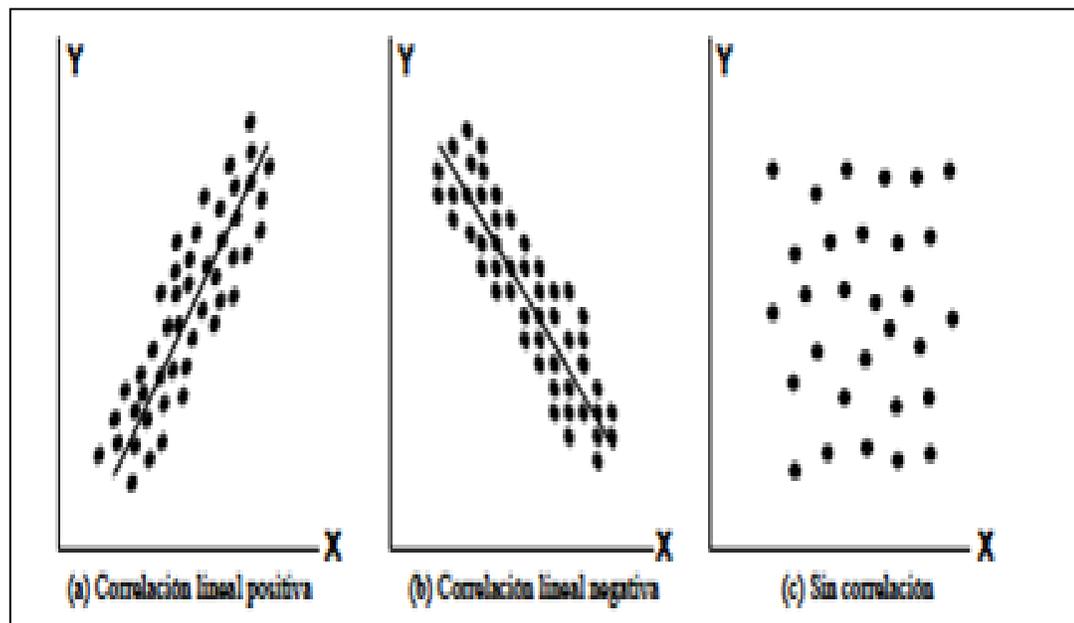


Figura 3.5 Diagramas de dispersión mostrando diferentes correlaciones variables. (Arreaza, C. 2003).

3.7 Métodos estadísticos multivariantes

Tratamientos estadísticos que involucran a más de una variable. El objetivo fundamental de este enfoque es identificar relaciones entre las variables analizadas.

3.7.1 Diagramas Ternarios

Un diagrama ternario, también denominado gráfica o gráfico ternario o triangular, es un diagrama baricéntrico en tres variables que suman una constante. Representa

gráficamente los valores de tres variables como las posiciones en un triángulo equilátero, y se utiliza en petrología, mineralogía, metalurgia y otras ciencias físicas para mostrar la composición de sistemas compuestos de tres especies (Canavos, G. 1988). En dicho diagrama se muestra que cada vértice representa el 100% de la variable en él indicada y las bases opuestas el 0% de la misma. (Figura 3.6).

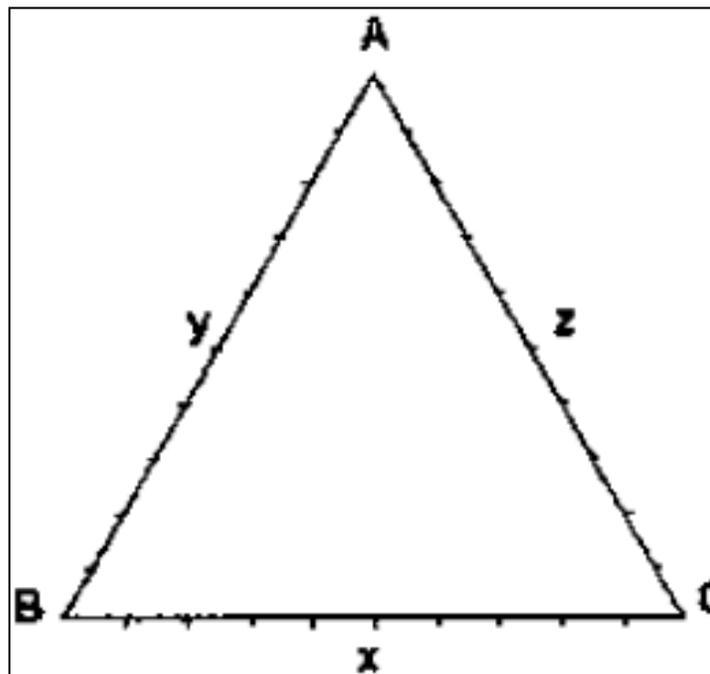


Figura 3.6 Diagrama ternario, (Canavos, G. 1988).

Cada uno de los lados, considerados individualmente, constituye un diagrama binario. Los puntos situados en las líneas que configuran los lados del triángulo indican que en la composición total sólo hay dos de los tres componentes: aquéllos que son los vértices del diagrama binario al que pertenece el punto.

Los puntos interiores del triángulo indican la mezcla de los tres componentes: A, B, y C.

- a. Los puntos de la línea x indican un 0% de A, el 100% lo componen B+C.
- b. Los puntos de la línea y indican un 0% de C, el 100% lo forman A+B.
- c. Los puntos de la línea z indican un 0% de B. el 100% está compuesto por A+C.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Nivel de investigación

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno; en tal sentido se puede decir que este estudio es una investigación descriptiva-comparativa. Es descriptiva, porque el estudio consiste básicamente en la caracterización geoquímica de las rocas que conforman las formaciones El Cantil, Chimana y Querecual al Suroeste de Isla La Borracha, al Norte de Puerto La Cruz, realizando una descripción macroscópicas de las rocas, así como también, la caracterización química de las mismas para obtener un patrón comparativo y contar con ella para investigaciones posteriores.

Es comparativa ya que se requiere correlacionar el comportamiento de una variable en los diversos grupos involucrados, esta implica encontrar semejanzas y diferencias químicas entre las unidades litológicas presentes en el área. Este tipo de investigación se basa en la indagación, el registro, la definición y la contrastación. Se propone comparar los diversos estudios realizados en diferentes zonas para una mejor interpretación de los resultados obtenidos a fin de poder demostrar la aplicación de los métodos implicados en este Trabajo de Grado.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder a el problema planteado. Podemos dividir entonces de acuerdo al diseño de la investigación en: documental y de campo.

Una de las estrategias adoptada en este trabajo de grado es la investigación de campo. Ya que ésta se entiende como el análisis sistemático de los problemas de la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y sus factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación.

Los datos obtenidos en campo a través de la caracterización con los cuales se llevo a cabo la investigación son datos tomados de la realidad dentro de estos podemos nombrar, la descripción de los estratos, el tipo de coloración presentes ya sea de la roca fresca o meteorizada, granulometría, tipo de roca, todas estas características y datos son empleados para realizar los análisis tanto geoquímicos como estadísticos, los cuales son el objetivos en los cuales se basa este trabajo; así como también, se realizó una investigación documental, esto se debe al uso y soporte del trabajo en documentos de cualquier especie: tesis de grado, consulta de libros, revisión de artículos científicos o ensayos de revistas, y ,mapas de la zona, etc. La metodología se puede describir en tres etapas:

- 1) **Etapa de Oficina:** información geológica, cartográfica, informes de avance, textos, mapas, imágenes satelitales, etc.
- 2) **Etapa de Campo:** reconocimiento geológico, levantamiento geológico a detalle, recolección e identificación de muestras.
- 3) **Etapa de Laboratorio:** caracterización química de las muestras de rocas mediante la técnica de Induced Couple Plasma (ICP).

4.3 Flujograma de la metodología

Para la realización del presente trabajo de grado se siguió el flujograma de trabajo. (Figura 4.1).

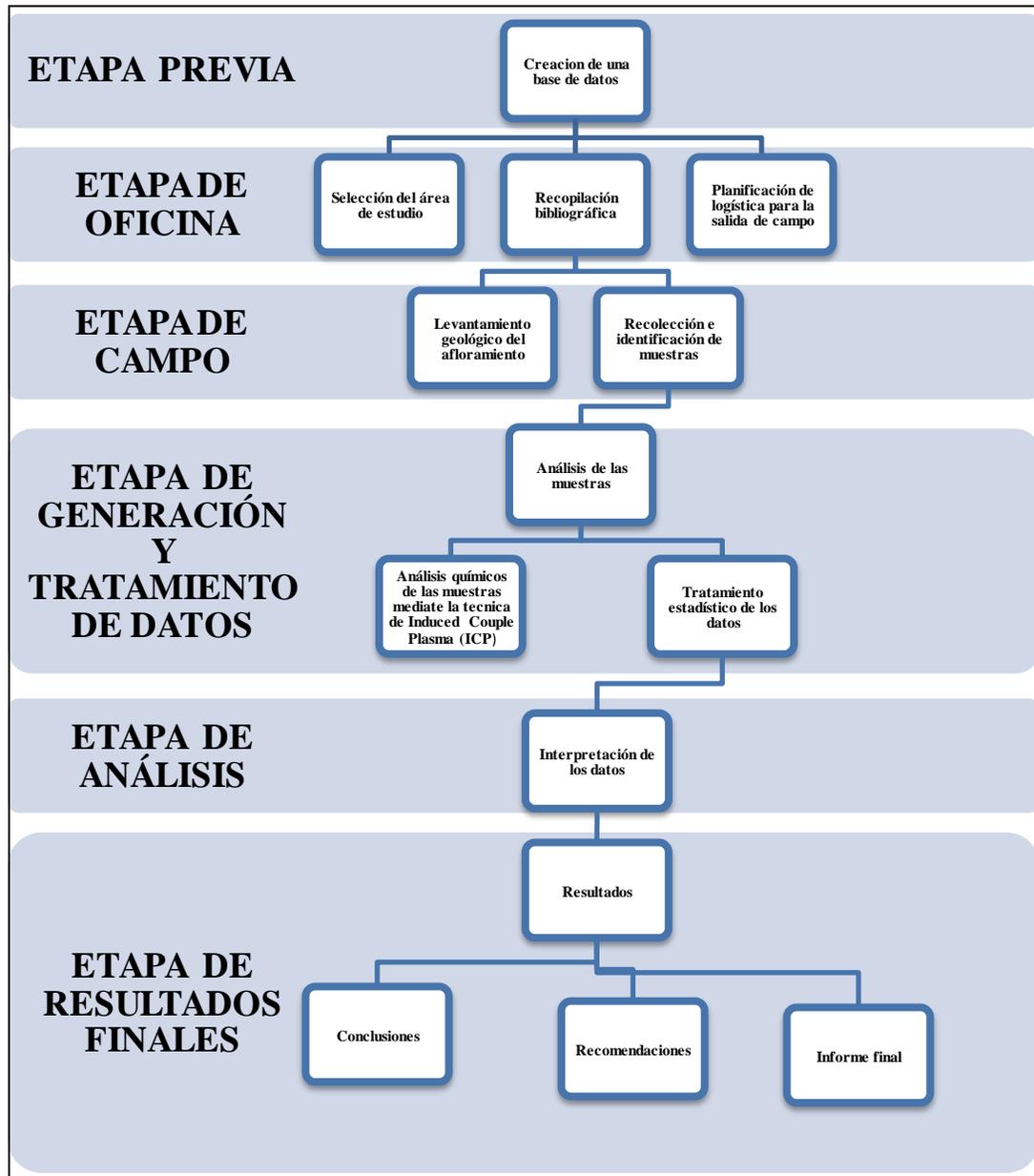


Figura 4.1 Flujograma de la metodología

4.3.1 Creación de una base de datos

Durante esta primera etapa se seleccionó el área de estudio, se definieron los objetivos y las estrategias para desarrollar el trabajo de investigación en el campo y además, se recopiló toda la información posible como: mapas geológicos, topográficos, revistas científicas, trabajos de grado, etc. A continuación se describen cada una de estas etapas.

4.3.1.1 Selección del área de estudio: al efectuar la selección del área de estudio se tomo en cuenta diversos parámetros como la accesibilidad, poca cobertura vegetal o hídrica posible, contactos formacionales visibles y accesibles para el muestreo y sección de formación a muestrear lo más completa posible. Tomando cada uno de estos parámetros en cuenta se seleccionaron seis afloramientos ubicados al Suroeste de Isla La Borracha, al Norte de Puerto La Cruz.

4.3.1.2 Recopilación bibliográfica del área de estudio: en esta etapa se inicio con la recopilación de información bibliográfica y cartográfica del área de estudio existente de trabajos realizados en la zona de estudio.

El material bibliográfico consultado consistió principalmente de trabajos relacionados, donde se podrían mencionar a José Torres (2006) “Caracterización geoquímica de la Formación Aguardiente en la Presa La Vultosa, Santa María De Caparo, Estado Mérida”; Karine Pomonti (2005) “Estudio quimioestratigráfico del Oligoceno en los campos Orocuál y Jusepin área de Noreste de Monagas-Venezuela”; y trabajos de geoquímica y quimioestratigrafía efectuados en nuestro país.

4.3.1.3 Planificación de logística para la salida de campo: la planificación de itinerario del trabajo de campo consistió en organizar las actividades necesarias y el

equipo necesario para la realización de esta etapa y así cumplir con los objetivos planteados.

4.4 Trabajo en campo

4.4.1 Levantamiento geológico del afloramiento.

Se tomaron nota de aspectos destacados de la sección estudiada a medida que se extraían las muestras. La posterior descripción macroscópica de las muestras en su orden estratigráfico permitió construir la columna litoestratigráfica de las formaciones estudiadas.

4.4.2 Recolección e identificación de las muestras

El muestreo se ejecutó tomando una muestra de roca fresca cada dos metros en los estratos descritos, a medida que se describían los estratos se extraía una muestra representativa de este tomando en cuenta un peso de 1-1.5 kg. Las muestras se recolectaron tomando en cuenta que la roca no esté meteorizada, ya que se le van a realizar estudios químicos detallados y es necesario que las muestras no estén químicamente alteradas, para obtener unos datos confiables, así como también tomar las coordenadas UTM con el GPS de cada muestra extraída.

4.5 Análisis de las muestras

Las muestras fueron llevadas al Instituto Nacional de Geología y Minas (INGEOMIN) del estado Bolívar, donde fueron trituradas y pulverizadas con el fin de homogenizar el tamaño de las partículas de la muestra y así incrementar la calidad de las mediciones a realizarse posteriormente.

4.5.1 Análisis químicos de las muestras mediante la técnica de Induced Couple Plasma (ICP)

El alcance de este procedimiento de ensayo permite mediante espectrometría de emisión con plasma inductivamente acoplado la determinación de Si desde 0,20% hasta 100% y Al, Cr, Fe, Na, Ca, K, Ti, Mn, P, y Mg desde 0,10% hasta 50% en muestras de rocas fosfóricas (El límite superior no está calculado a partir del contenido esperado en los materiales indicados, sino sobre la base del factor de dilución y la calibración utilizada). El método se basa en la descomposición de las muestras por fusión con metaborato de litio y la determinación final de los elementos mediante la utilización de un espectrómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado. (Figura 4.2).



Figura 4.2 Espectrómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado, INGEOMIN 2010.

Este método se puede aplicar al análisis de una amplia gama de materiales y con el mismo pueden ser determinados simultáneamente los elementos Al, Si, Fe, P, Na, K, Ti, Cr, Ca, Mg, y Mn en un amplio rango de concentraciones, a partir de la muestra directa o cualquiera de sus diluciones, según los contenidos estimados. Durante el ensayo únicamente se utilizaron reactivos de grado analítico de calidad reconocida y agua para ensayos que contengan una conductividad menor de $2\mu\text{S}/\text{cm}$: Metaborato de litio, 99% pureza, Ácido nítrico, $d\ 1,40\ \text{g}/\text{cm}^3$, Ácido clorhídrico de $1,19\ \text{g}/\text{cm}^3$.

4.5.1.1 Solución de ensayo en blanco de calibración: se Pesaron $2,4000\ \text{g} \pm 0,0002\ \text{g}$ de metaborato de litio, esto se transfirió a un vaso de precipitados de 400 ml. Luego se disolvieron en $200\ \text{ml} \pm 50\ \text{ml}$ de ácido clorhídrico para después transferirlos a un matraz aforado de 500 ml utilizando ácido clorhídrico.

4.5.1.2 Equipos utilizados:

- a. Cristalería habitual de laboratorio. (Figura 4.3).
- b. Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).
- c. PerkinElmer Optima 5300 DV.
- d. Sistema Óptico:
 - i. Doble monocromador bidimensional con sistema óptico ECHELLE.

- ii. Dos detectores de estado sólido SCD (Detector de Carga acoplada de arreglos Segmentados) cubriendo por separado las regiones ultravioleta y visible.



Figura 4.3 Cristalería habitual de laboratorio, INGEOMIN 2010.

- iii. Corrección de fondo simultánea para todas las líneas analíticas.
- iv. Resolución superior a 0.006 nm a 200 nm.
- v. Visión Radial y Axial del plasma.
 - e. Generador:
 - i. Potencia máxima de 1,5 kW.
 - ii. Totalmente de estado sólido y no requiere un tubo amplificador de poder.

iii. Rutina automática de encendido del plasma estabilizado en potencia y controlado por software.

iv. Frecuencia 40 MHz.

f. Longitudes de Onda: condiciones específicas para este ensayo del Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) PerkinElmer Optima 5300 DV.

i. Potencia: 1300 W.

ii. Flujo del gas de plasma: 15 L/min Ar.

iii. Flujo de nebulización: 0,8 L/min Ar.

iv. Flujo auxiliar: 0,2 L/min Ar.

v. Flujo del gas de corte: 25 L /min Aire.

vi. Vista al plasma: Axial.

4.5.1.3 Descomposición de la porción de ensayo: se pesaron las muestras previamente secadas a $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas, se mezclaron con metaborato de litio para homogenizar, luego se fundieron a 1100°C por 15 minutos, esparciendo el fundido durante esta operación, se enfrió a temperatura ambiente y lixivio con de Hcl. Después se debe trasvasar a un matraz aforado de 250 ml y enrase con este mismo ácido. Se realizó una dilución, de la solución original y trasvaso a un matraz aforado de 100 ml para adicionarle la solución de metaborato de litio, de ácido clorhídrico.

4.5.1.4 Expresión de los resultados: el contenido de cada análisis expresado en % se calcula por:

$$C(\%) = \frac{C_0 \times D_1 \times D_2}{PM \times A_1} \times 10^{-4} \quad (4.1)$$

Donde:

C_0 - Concentración de la solución correspondiente, expresada en $\mu\text{g/ml}$, determinada por ICP.

D_1 - Volumen en el que se enrasa el peso de muestra expresado en ml.

D_2 - Volumen en el que se enrasa la primera dilución expresado en ml.

A_1 - Alícuota tomada para la primera dilución expresado en ml.

PM - Peso de muestra expresado en gr.

4.5.2 Tratamiento estadístico de los datos.

Para la interpretación de los datos se realizó un previo tratamiento estadístico a los mismos mediante los programas SPSS, Tridraw 4.5 y Microsoft Excel 2007. Mediante estos programas se realizaron los gráficos (histogramas, diagramas de dispersión, perfiles químicos de concentración, diagramas ternarios) con los cuales se determinaron relaciones importantes entre las especies químicas dentro de las formaciones estudiadas.

4.5.2.1 Estadística univariante: los parámetros de estadística univariante de tipo descriptivo fueron calculados mediante el programa SPSS, a través de las funciones estadísticas del mismo que se enlistan en la Tabla 4.1. La estadística univariante gráfica se realizó con este mismo programa para el caso de los histogramas de frecuencia y el programa Microsoft Excel 2007 para los perfiles químicos de concentración.

4.5.2.2 Estadística bivariante: los parámetros descriptivos de la estadística bivariante gráfica (diagramas de dispersión) se realizó con el programa Microsoft Excel 2007. Se seleccionan los datos de porcentaje de los óxidos a comparar, luego en la barra de herramientas principal se utiliza el comando “Insertar-Grafico-Dispersión”. (Figura 4.4).

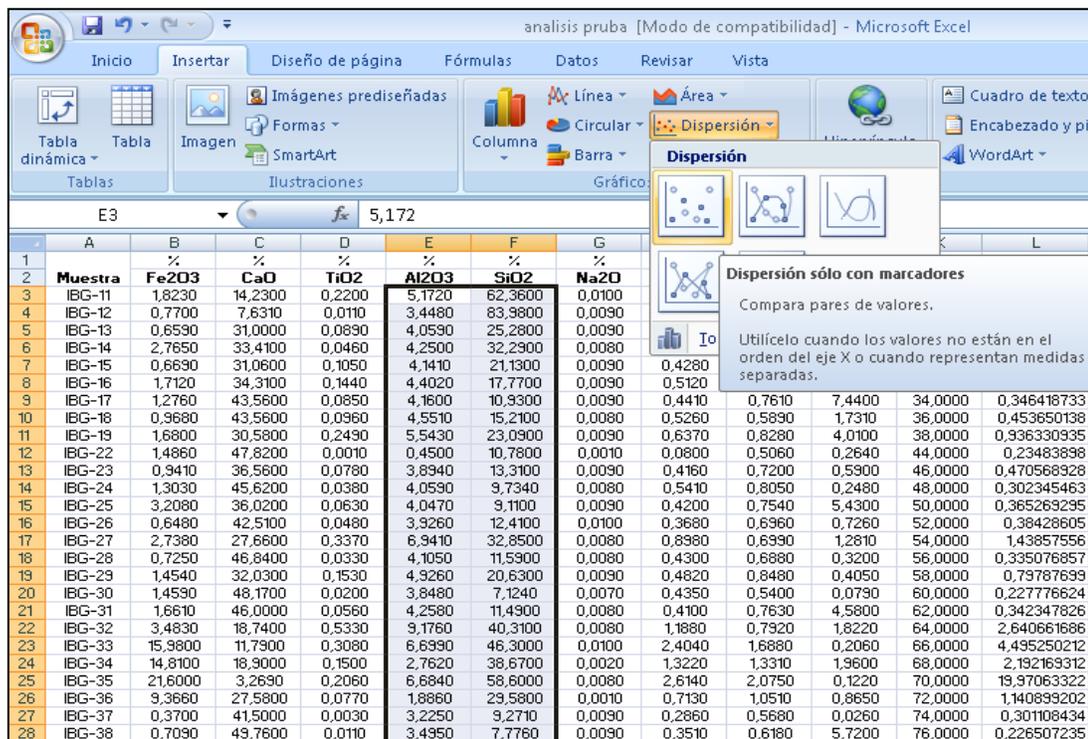


Figura 4.4 Hoja de Microsoft Excel 2007 para la elaboración de diagramas de dispersión.

4.5.2.3 Estadística multivariante: los productos de estadística multivariante grafica comprende los diagramas ternarios que se realizaron mediante el software Tridraw 4.5. La representación grafica de los diagramas ternarios se realizó por medio de este programa especializado en realizar diagramas ternarios, en el cual se deben introducir todo los valores a graficar; dichos valores se colocan en tres grupos diferentes que representarían a los componentes químicos que poseen las muestras. (Figura 4.5).

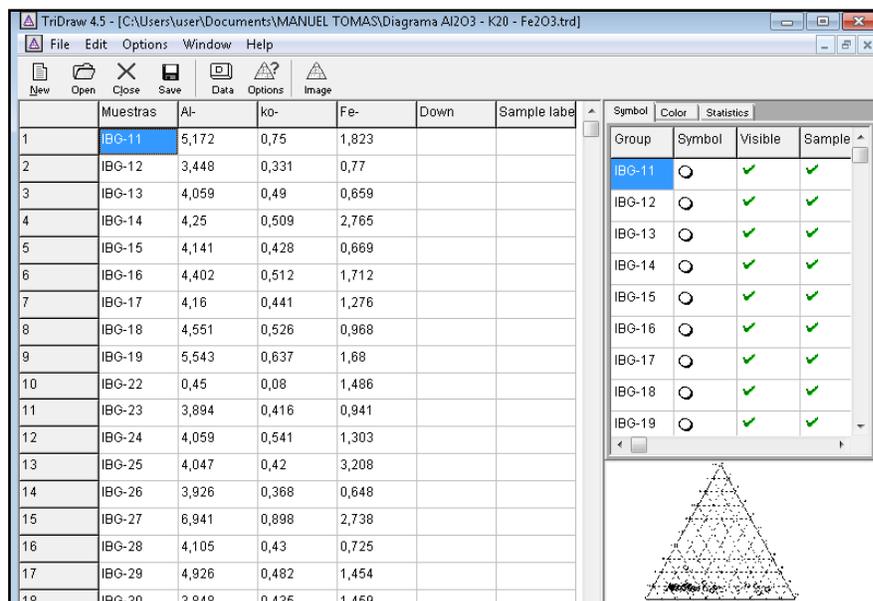


Figura 4.5 Hoja del software Tridraw 4.5.

4.5.2.4 Geoquímica sedimentaria: se clasificó de manera general la litología mediante el esquema de Herrón. Esta clasificación geoquímica de sedimentos terrígenos basada en el esquema de Herrón (1986) citado en Dinelli et al., 1999, se realiza utilizando las concentraciones químicas para clasificar areniscas y lutitas, Herrón presenta un esquema usando los logaritmos naturales de las relaciones de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (Noguera y Yépez, 2002; Arreaza, 2003).

Muestras con altas relaciones $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (>4) son clasificadas como ricas en hierro o ferruginosas, y en base a su relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, estas las puede separar en areniscas ferruginosas o lutitas ferruginosas (que pueden contener abundante pirita y/o siderita). (Figura 4.6).

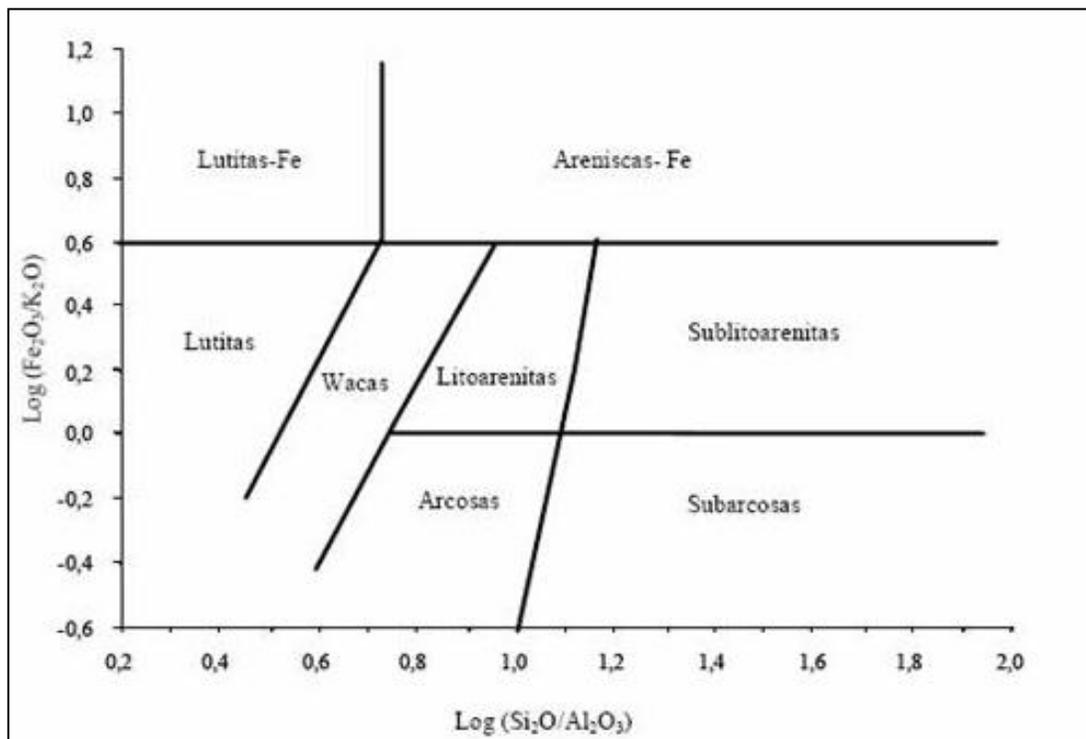


Figura 4.6 Diagrama de Herrón para la clasificación sedimentos terrígenos. (Herrón, M. 1986).

CAPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Características sedimentológicas

Durante esta etapa se realizó la descripción macroscópica de las secuencia de rocas volcadas (de más joven a más viejo hacia él a tope), presentes en el área de estudio, obteniendo como resultado lo siguiente:

5.1.1 Formación Querecual

En la parte basal de la sección estudiada se encuentran lutitas de color marrón oscuro, diaclasadas, laminadas, intercaladas con calizas de color gris oscuro a negro, diaclasadas, laminadas, con presencia de fósiles y color de meteorización gris claro, esta unidad tiene 15 metros de espesor. (Figuras 5.1, 5.2 y 5.3).



Figura 5.1 Imagen panorámica de la Formación Querecual (Parte basal).



Figura 5.2 Imagen de la Formación Querecual, lutitas concreciónales intercaladas con calizas (Parte basal).



Figura 5.3 Imagen al detalle de la Formación Querecual, lutitas intercaladas con calizas fosilíferas (Parte basal).

La parte media tiene 12 metros de espesor, está caracterizada principalmente por lutitas de color marrón oscuro, con presencia de concreciones que varían de espesor, son laminadas, masivas, presentan diaclasas rellenas de calcita, el color de meteorización es de naranja pálido a marrón y calizas de poco espesor, con color gris claro, laminadas y diaclasadas. (Figuras 5.4 y 5.5).

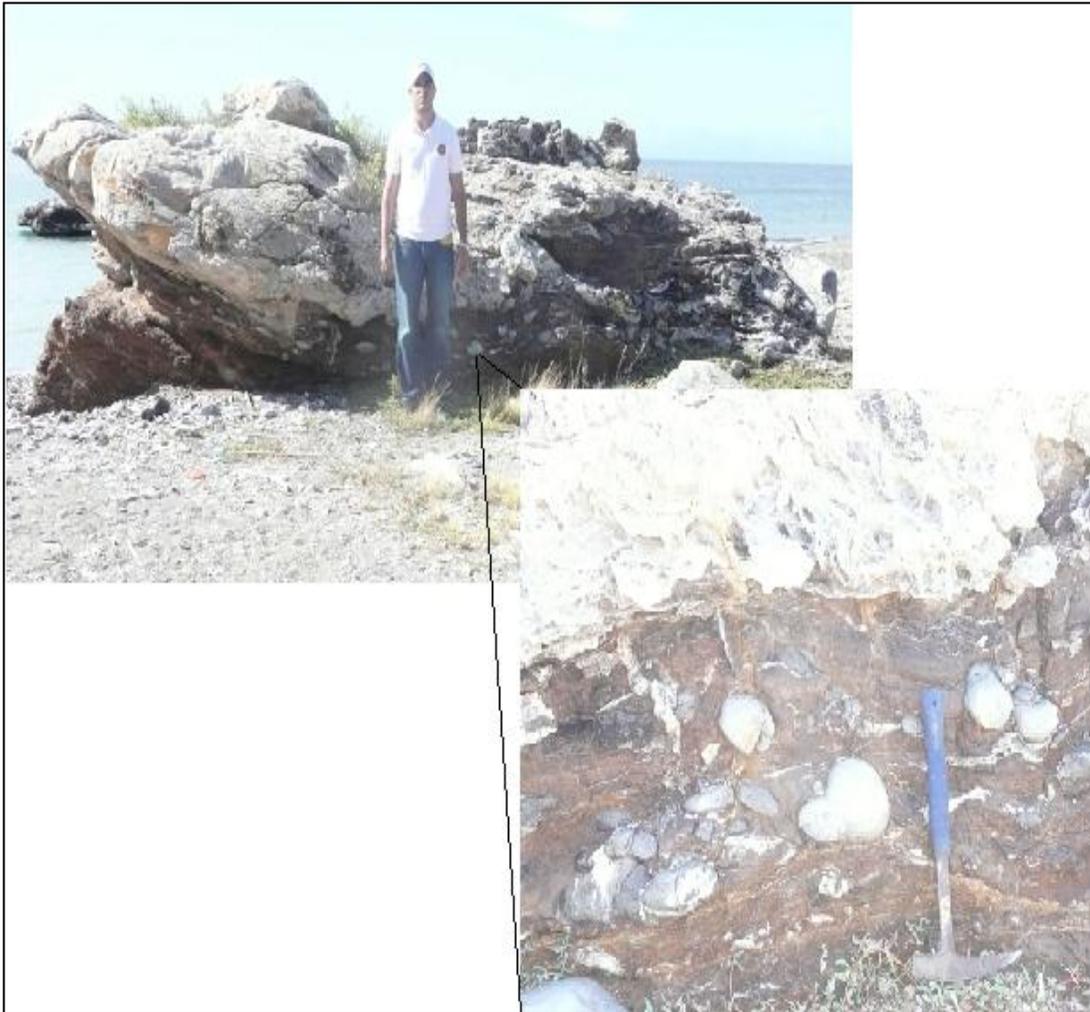


Figura 5.4 Imagen de la Formación Querecual lutitas concrecionales intercaladas con calizas (Parte media).

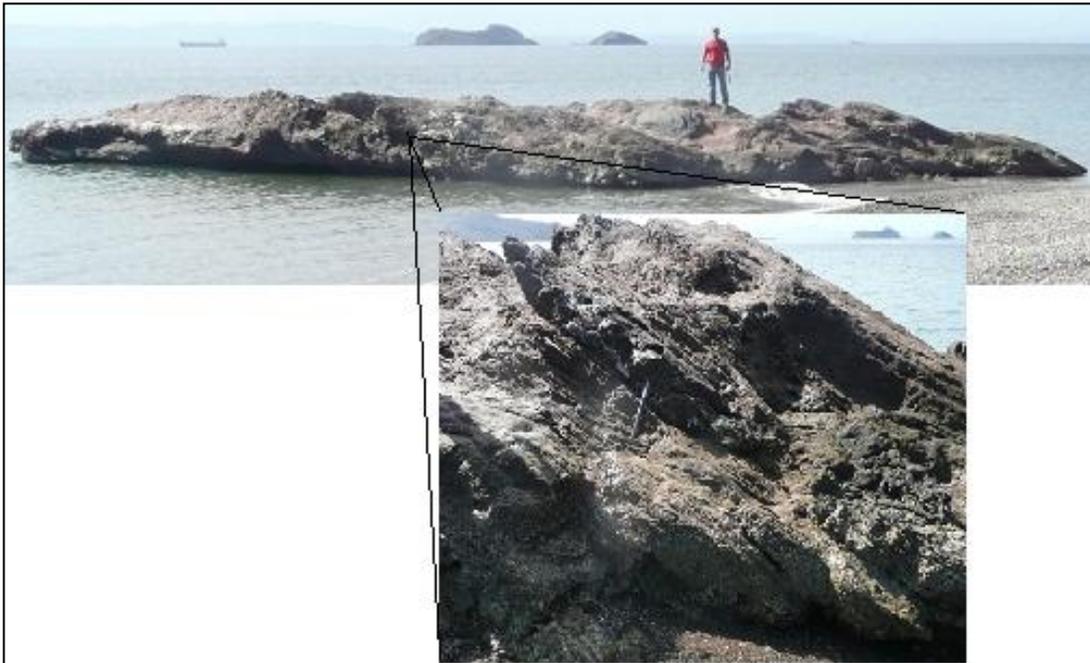


Figura 5.5 Imagen de la Formación Querecual, lutitas concrecionales intercaladas con calizas, (parte media).

La parte superior se caracteriza por presentar lutitas concrecionales, de gran espesor (51 metros), de color marrón oscuro, laminadas, diaclasadas, poseen intercalaciones de chert de color negro con fracturas rellenas de calcita. (Figuras 5.6 y 5.7).



Figura 5.6 Imagen panorámica de la Formación Querecual, (parte superior).

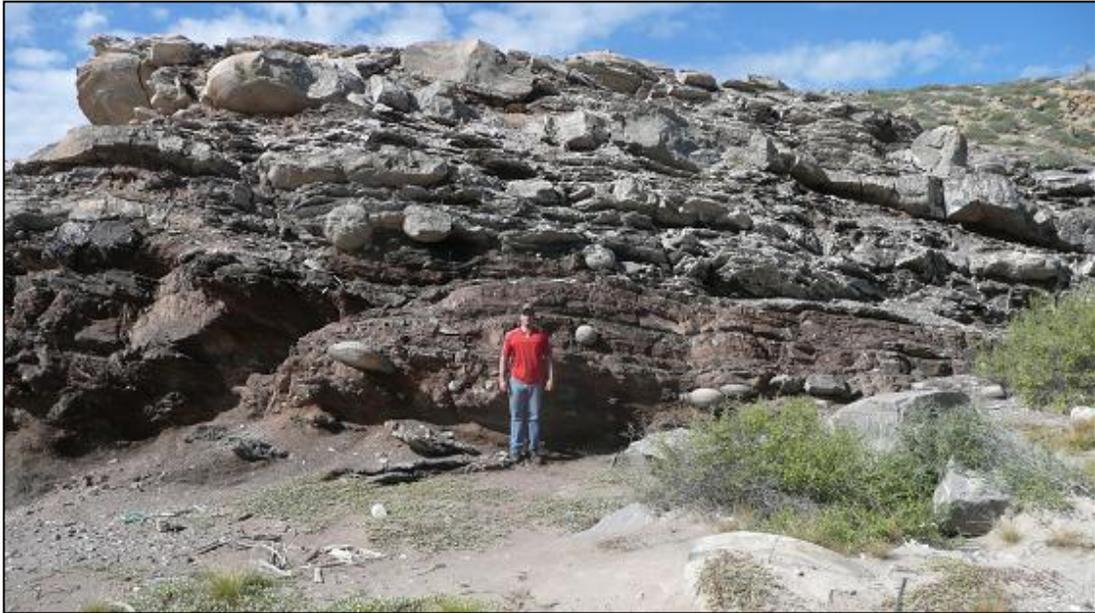


Figura 5.7 Imagen de la Formación Querecual, lutitas concrecionales de gran espesor, (parte superior).

5.1.2 Formación Chimana

En el área de estudio la Formación Chimana se caracteriza por poseer en su parte basal lutitas con un espesor de 32 metros, poseen color marrón con color de meteorización pardo rojizo, son laminadas, friables y presentan fracturas en hojuelas. (Figuras 5.8 y 5.9).



Figura 5.8 Imagen panorámica de la Formación Chimana.



Figura 5.9 Imagen de la Formación Chimana, lutitas laminadas y friables, (parte basal).

La parte media se caracteriza por poseer areniscas de color verde oscuro, con presencia de glauconita, su granulometría es de grano fino a muy fino, con color de meteorización amarillo a marrón claro, bien escogida, masiva, presentan diaclasas rellenas de calcita, en esta parte de la formación tiene un espesor de 13 metros, donde además se identifico una falla inversa de rumbo $N72^{\circ}W$ y buzamiento de $71^{\circ}SW$. (Figuras 5.8 y 5.10).

En la parte superior se encuentra una arenisca de color blanquecina, con marcas de oxidación, bien escogidas, de grano fino a medio, poseen estratificación laminar con color de meteorización naranja a marrón claro. En menor cantidad observamos calizas masivas de color gris oscuro con abundante presencia de fósiles y color de meteorización verde oliva a naranja. (Figuras 5.11 y 5.12).



Figura 5.10 Imagen al detalle de la Formación Chimana, arenisca glauconítica (parte media).

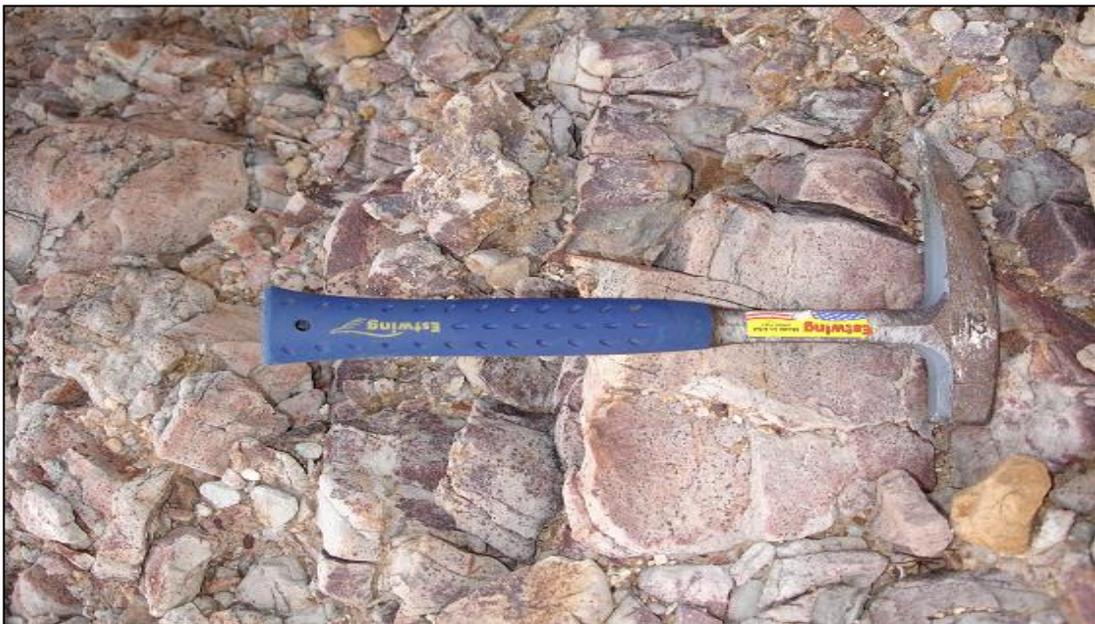


Figura 5.11 Imagen de la Formación Chimana, arenisca con marcas de oxidación, (parte superior)



Figura 5.12 Imagen al detalle de la Formación Chimana, calizas fosilíferas (parte superior).

5.1.3 Formación El Cantil

Está conformada por calizas de color gris oscuro muy fosilíferas (bioclásticas): En la sección solo se pudieron describir 9 metros de roca debido al difícil acceso en el área al igual que la Formación Barranquin (Figuras 5.13 y 5.14).



Figura 5.13 Imagen panorámica de la Formación El Cantil.



Figura 5.14 Imagen de la Formación El Cantil, caliza muy fosilífera.

5.2 Geoquímica sedimentaria

Para esta fase se analizaron un total de 36 muestras de rocas mediante la utilización de un espectrómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado, (Induced Couple Plasma), de esta manera se determinaron los valores en porcentajes de SiO₂, Fe₂O₃, CaO, TiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, MgO y P₂O₅ con la finalidad de interpretar y comparar las características químicas de las formaciones estudiadas (Tablas 5.1, 5.2 y 5.3)

Una vez obtenidos estos valores fueron analizados estadísticamente utilizando los programas EXCEL 2010 (diagramas de dispersión y diagrama de Herrón), SPSS 7.5 (histogramas), TRIDRAW 4.5 (diagramas ternarios).

5.2.1 Estadística univariante

Comprende los análisis estadísticos de tipo descriptivos, y los productos de estadísticas graficas como los histogramas. La estadística descriptiva univariante se empleó en este trabajo para los 9 elementos o compuestos químicos destacados en las 36 muestras tomadas del área de estudio. En la misma se puede apreciar que de todos los compuestos químicos mayoritarios, el SiO₂ es el que presenta las concentraciones con el promedio más alto, que puede estar asociado a las areniscas y lutitas encontradas en las formaciones estudiadas, para por otra parte se refleja un alto contenido de CaO, que se puede relacionar a las calizas, esto nos puede indicar un notable rasgo distintivo para caracterizar y diferenciar químicamente las formaciones presentes en el área. (Tabla 5.4)

Tabla 5.1 Resultados de los análisis de Induced Couple Plasma (ICP) de la Formación Querecual.

Oxido Muestra	Fe2O3 (%)	CaO (%)	TiO2 (%)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	MgO (%)	P2O5 (%)
IBG-11	1,8230	14,2300	0,2200	5,1720	62,3600	0,0100	0,7500	0,9120	0,2540
IBG-13	0,6590	31,0000	0,0890	4,0590	25,2800	0,0090	0,4900	0,7000	0,3920
IBG-14	2,7650	33,4100	0,0460	4,2500	32,2900	0,0080	0,5090	0,6110	0,4670
IBG-15	0,6690	31,0600	0,1050	4,1410	21,1300	0,0090	0,4280	0,6760	0,0880
IBG-16	1,7120	34,3100	0,1440	4,4020	17,7700	0,0090	0,5120	0,7420	0,2750
IBG-17	1,2760	43,5600	0,0850	4,1600	10,9300	0,0090	0,4410	0,7610	7,4400
IBG-18	0,9680	43,5600	0,0960	4,5510	15,2100	0,0080	0,5260	0,5890	1,7310
IBG-19	1,6800	30,5800	0,2490	5,5430	23,0900	0,0090	0,6370	0,8280	4,0100
IBG-22	1,4860	47,8200	0,0010	0,4500	10,7800	0,0010	0,0800	0,5060	0,2640
IBG-23	0,9410	36,5600	0,0780	3,8940	13,3100	0,0090	0,4160	0,7200	0,5900
IBG-24	1,3030	45,6200	0,0380	4,0590	9,7340	0,0080	0,5410	0,8050	0,2480
IBG-25	3,2080	36,0200	0,0630	4,0470	9,1100	0,0090	0,4200	0,7540	5,4300
IBG-26	0,6480	42,5100	0,0480	3,9260	12,4100	0,0100	0,3680	0,6960	0,7260
IBG-27	2,7380	27,6600	0,3370	6,9410	32,8500	0,0080	0,8980	0,6990	1,2810
IBG-28	0,7250	46,8400	0,0330	4,1050	11,5900	0,0080	0,4300	0,6880	0,3200
IBG-29	1,4540	32,0300	0,1530	4,9260	20,6300	0,0090	0,4820	0,8480	0,4050
IBG-30	1,4590	48,1700	0,0200	3,8480	7,1240	0,0070	0,4350	0,5400	0,0790
IBG-31	1,6610	46,0000	0,0560	4,2580	11,4900	0,0080	0,4100	0,7630	4,5800

Tabla 5.2 Resultados de los análisis de Induced Couple Plasma (ICP) de la Formación Chimana.

Oxidos Muestra	Fe2O3 (%)	CaO (%)	TiO2 (%)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	MgO (%)	P2O5 (%)
IBG-32	3,4830	18,7400	0,5330	9,1760	40,3100	0,0080	1,1880	0,7920	1,8220
IBG-33	15,9800	11,7900	0,3080	6,6990	46,3000	0,0100	2,4040	1,6880	0,2060
IBG-34	14,8100	18,9000	0,1500	2,7620	38,6700	0,0020	1,3220	1,3310	1,9600
IBG-35	21,6000	3,2690	0,2060	6,6840	58,6000	0,0080	2,6140	2,0750	0,1220
IBG-36	9,3660	27,5800	0,0770	1,8860	29,5800	0,0010	0,7130	1,0510	0,8650
IBG-37	0,3700	41,5000	0,0030	3,2250	9,2710	0,0090	0,2860	0,5680	0,0260
IBG-38	0,7090	49,7600	0,0110	3,4950	7,7760	0,0090	0,3510	0,6180	5,7200
IBG-39	1,6870	46,7600	0,0050	3,6570	13,9500	0,0080	0,4350	0,5590	0,1610
IBG-40	4,1150	31,6400	0,0910	4,0000	24,0500	0,0090	0,5420	0,5690	0,2830
IBG-41	3,8600	2,1540	0,1220	4,4730	90,0900	0,0080	0,7120	0,4980	0,0680
IBG-42	2,9360	2,0570	0,3690	4,7700	87,5100	0,0080	0,9640	0,5690	0,0420
IBG-43	0,8360	2,0040	0,6380	3,4040	84,2600	0,0020	1,2740	0,6990	0,3310
IBG-44	9,7240	26,8600	0,2130	5,8790	31,6700	0,0090	1,2080	1,4270	4,2900
IBG-45	27,1900	5,6010	0,1690	6,2850	53,3600	0,0090	2,4320	2,0350	0,1230

Tabla 5.3 Resultados de los análisis de Induced Couple Plasma (ICP) de la Formación El Cantil.

Oxidos Muestra	Fe2O3	CaO	TiO2	Al2O3	SiO2	Na2O	K2O	MgO	P2O5
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
IBG-46	1,7080	40,7300	0,0160	3,4530	6,8050	0,0090	0,3680	0,7390	0,0280
IBG-47	1,7610	48,6700	0,0010	3,6670	8,1500	0,0080	0,3970	0,6020	5,1500
IBG-48	0,5250	49,7600	0,0090	3,3320	5,2600	0,0090	0,3360	0,6680	3,7200
IBG-49	1,6260	47,7200	0,0210	3,8100	6,3950	0,0080	0,3610	0,6410	0,1050

Tabla 5.4 Resultado de los análisis descriptivos para cada uno de los elementos de las muestras tomadas, realizado con el programa SPSS 7.5.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza	Asimetría		Curtosis	
	Estadístico	Error típico	Estadístico	Error típico						
SiO2	37	5,2600	90,0900	29,002027	25,272276	638,688	1,311	,388	,685	,759
Al2O3	37	,4500	9,1760	4,346946	1,504485	2,263	,730	,388	2,827	,759
FE2O3	37	,3700	27,1900	4,060297	6,188566	38,051	2,554	,388	6,210	,759
NA2O	37	,0010	,0100	7,865E-03	2,347E-03	5,509E-06	-2,268	,388	4,192	,759
K2O	37	,0800	2,6140	,730027	,602695	,363	2,130	,388	4,093	,759
CAO	37	2,0040	49,7600	31,190973	15,807217	249,868	-,656	,388	-,831	,759
MGO	37	,4330	2,0750	,821622	,392901	,154	2,175	,388	4,284	,759
P2O5	37	,0260	7,4400	1,572486	2,091762	4,375	1,342	,388	,539	,759
TiO2	37	,0010	,6380	,128054	,149042	2,221E-02	1,862	,388	3,627	,759
N válido (según lista)	37									

5.2.1.1 Histogramas de frecuencia: en los histogramas de frecuencia la gran mayoría de los elementos tuvo un comportamiento con sesgo positivo, salvo el CaO y el Na₂O, que presentan un comportamiento con sesgo negativo. Lo anterior apunta a la presencia de dos poblaciones de datos, posiblemente asociadas a dos comportamientos diferentes del CaO dentro de las formaciones estudiadas. Tales comportamientos pueden señalar porciones dentro de las formaciones con contenidos

de mineral calcáreo bastante diferentes, posiblemente asociado a los cambios de ambientes sedimentarios y/o a un cambio de facies sedimentarias. (Figuras 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18).

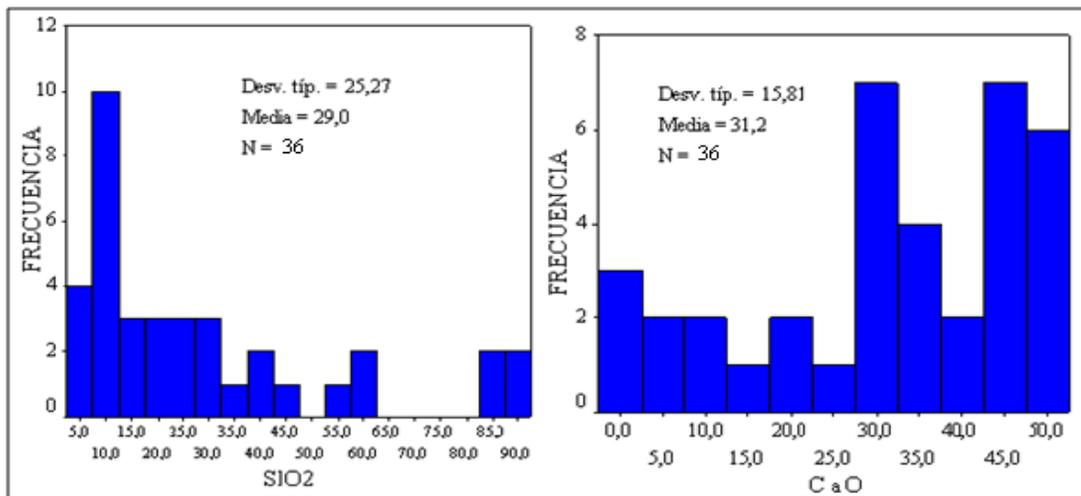


Figura 5.15 Histogramas de frecuencia del SiO₂ y el CaO, realizados con el programa SPSS 7.5.

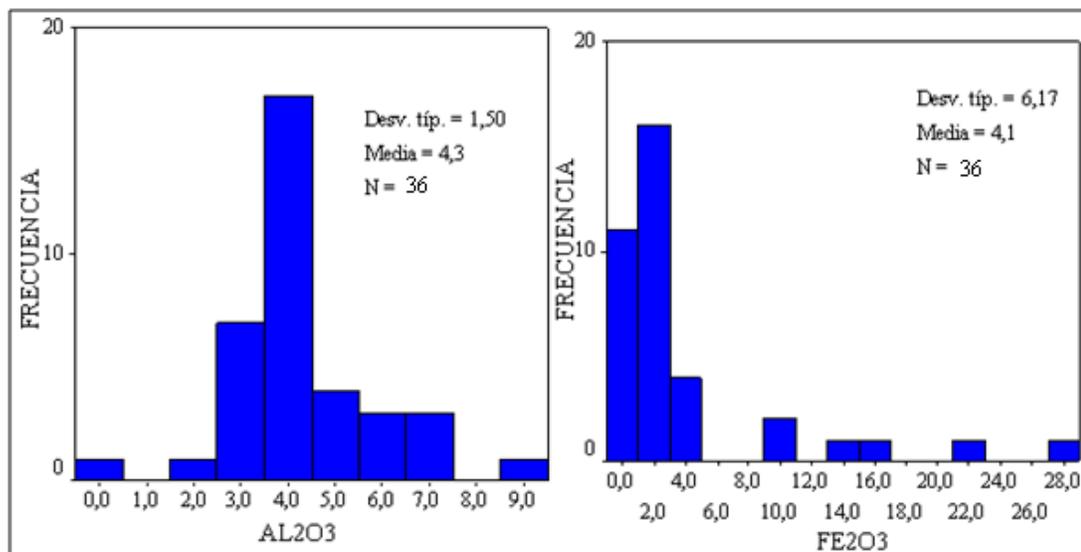


Figura 5.16 Histogramas de frecuencia del Al₂O₃ y el Fe₂O₃, realizados con el programa SPSS 7.5.

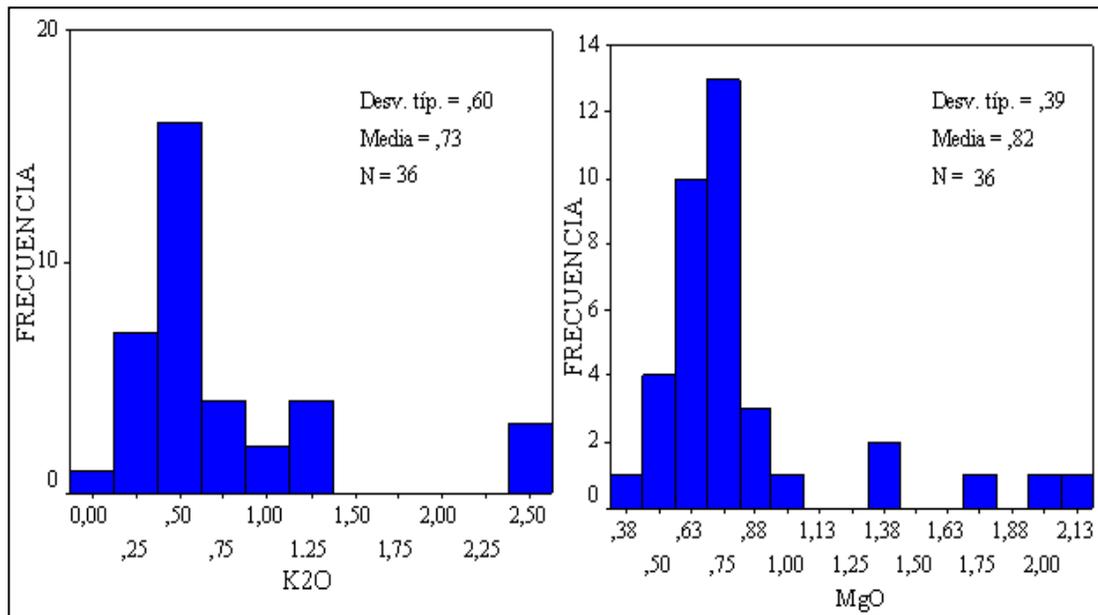


Figura 5.17 Histogramas de frecuencia del K₂O y el MgO, realizados con el programa SPSS 7.5.

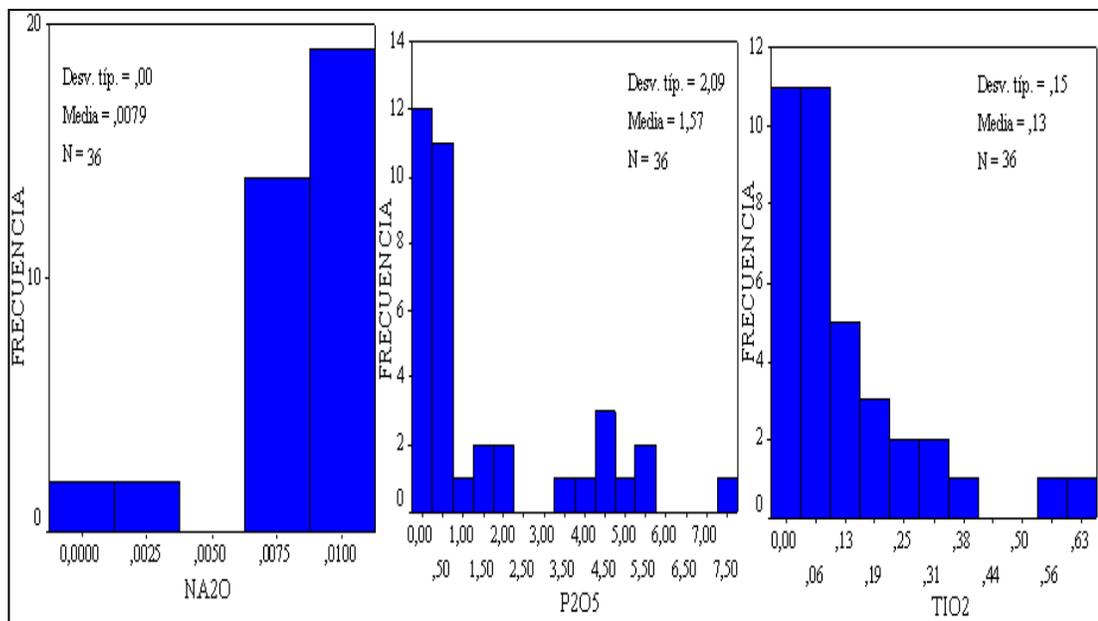


Figura 5.18 Histogramas de frecuencia del Na₂O, P₂O₅ y TiO₂, realizados con el programa SPSS 7.5.

5.2.2 Estadística bivalente

Esta parte se encuentra conformada por los diagramas de dispersión, teniendo esta herramienta como objeto identificar y comprobar las relaciones existentes entre las variables químicas estudiadas en aspecto gráfico. Los diagramas de dispersión se realizaron de las siguientes relaciones: SiO₂ vs CaO, SiO₂ vs Al₂O₃, Al₂O₃ vs K₂O, K₂O vs Fe₂O₃, Al₂O₃ vs Fe₂O₃ y SiO₂ vs MgO.

5.2.2.1 Óxido de sílice versus óxido de calcio: la línea de tendencia presenta una correlación negativa, con un valor de R² de 0,887, que indica una probabilidad de confianza alta para la correlación de las formaciones con respecto a los elementos. A medida que los valores del CaO aumentan, los valores del SiO₂ disminuyen, y viceversa. Se puede observar que las rocas de la Formación El Cantil varían de 40% a 50% en CaO y 5% a 8% de SiO₂. Las rocas pertenecientes a la Formación Chimana varían de de 90% a 7% de SiO₂ y de 2% a 50% de CaO, mientras que las rocas de la Formación Querecual oscilan entre 62 - 7 % de SiO₂ y 14 - 48 % de CaO. De acuerdo a esto, la Formación Chimana presenta datos muy dispersos que pueden estar asociados a los cambios de facies sedimentarias ya que en esta formación se encontraron diferentes litologías (areniscas, lutitas y calizas). En cuanto a la Formación Querecual se observan datos menos dispersos que en la Formación Chimana, lo cual puede deberse a los cambios de facies sedimentarias de la facies arcillosa a la calcárea, por último la Formación El Cantil se muestra como la formación más homogénea en cuanto a las cantidades de SiO₂ y CaO, esto puede estar asociado a que no sufre un cambio notable en cuanto a facies sedimentarias. (Figuras 5.19 y 5.20).

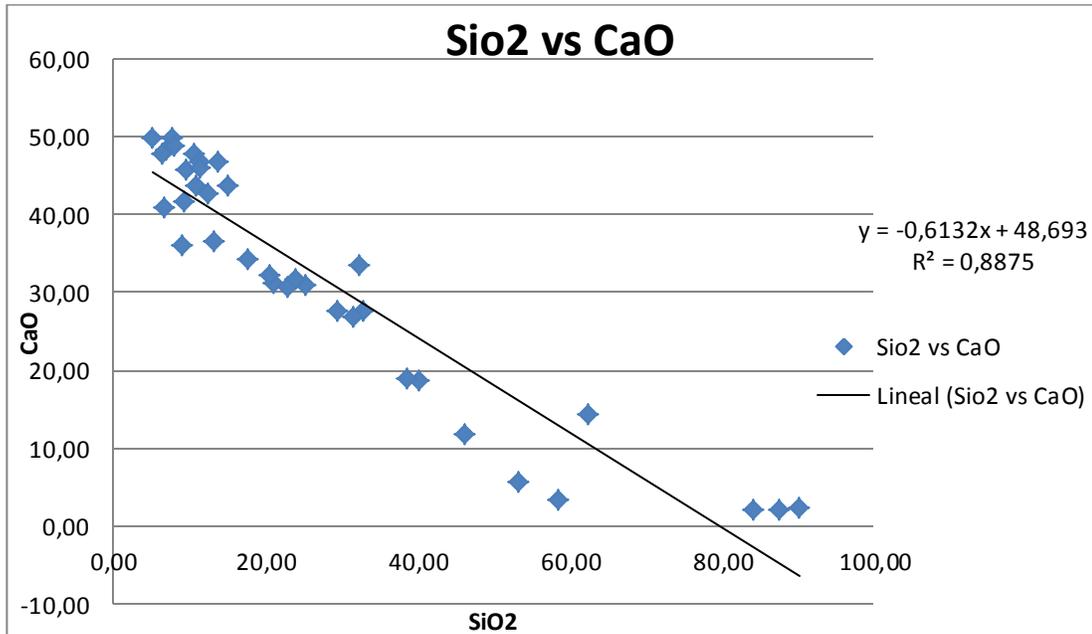


Figura 5. 19 Gráfico SiO₂ vs CaO, donde se muestra la línea de tendencia y el R².

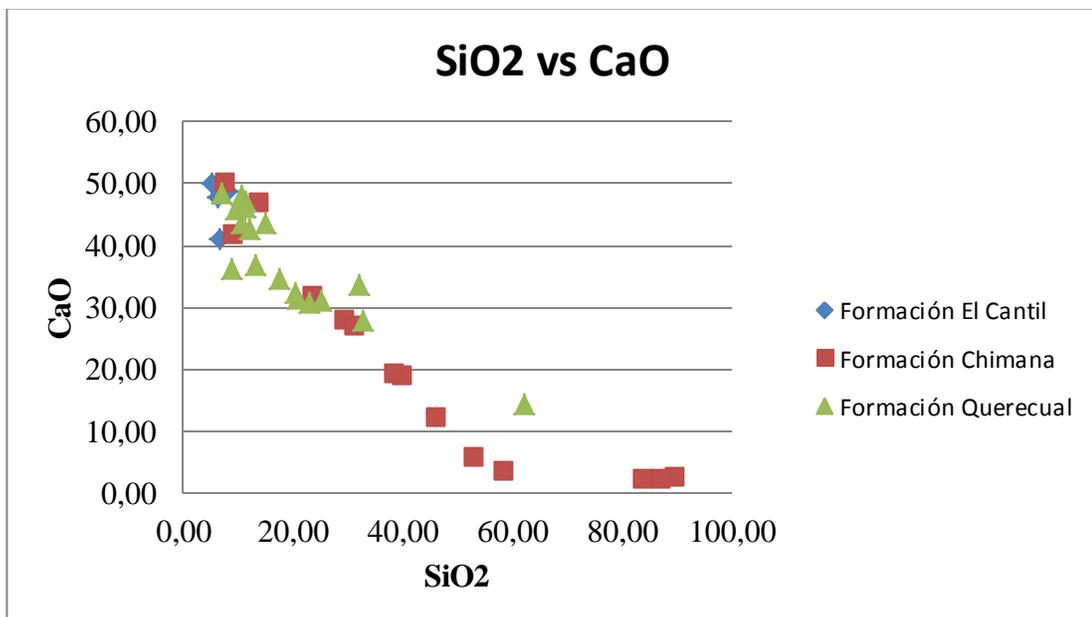


Figura 5.20 Gráfico SiO₂ vs CaO por Formación.

5.2.2.2 Óxido de sílice versus óxido de aluminio: según Arreaza, C. (2003), esta relación permite establecer la diferenciación entre las facies arcillosas y arenosas. Además, sirve como indicador de madurez mineralógica y variaciones de energía del medio de transporte de los sedimentos. Por otro lado, Herrón, M, (1988) indica que permite separar las cuarzoarenitas ricas en SiO₂ de las areniscas intermedias más ricas en Al₂O₃. La línea de tendencia presenta una correlación positiva con un valor de R² de 0,123. Las rocas que contienen mayor cantidad de SiO₂ y menor cantidad de Al₂O₃ son más maduras que las rocas menor cantidad de SiO₂ y mayor cantidad de Al₂O₃. Las rocas de la Formación Chimana tienen mayor grado de madurez por poseer areniscas ricas en SiO₂ (90%) aunque se puede observar que algunas muestras de esta formación contienen un alto contenido de Al₂O₃ (9,17%) y un bajo contenido de SiO₂ (7% a 9%), lo que puede deberse a un cambio de facies, de facies arcillosa (alto contenido de Al₂O₃) a facies arenosas (alto contenido de SiO₂). La Formación Querecual no presenta variaciones importantes en cuanto a los valores químicos, solo en una muestra la cual tiene mayor cantidad de sílice, que pudiese estar asociado a que el constituyente de la roca no sea principalmente minerales de arcilla sino partículas de sílice que han llegado al tamaño de las arcillas, lo cual está relacionado a los procesos de transporte y erosión. (Figuras 5.21 y 5.22).

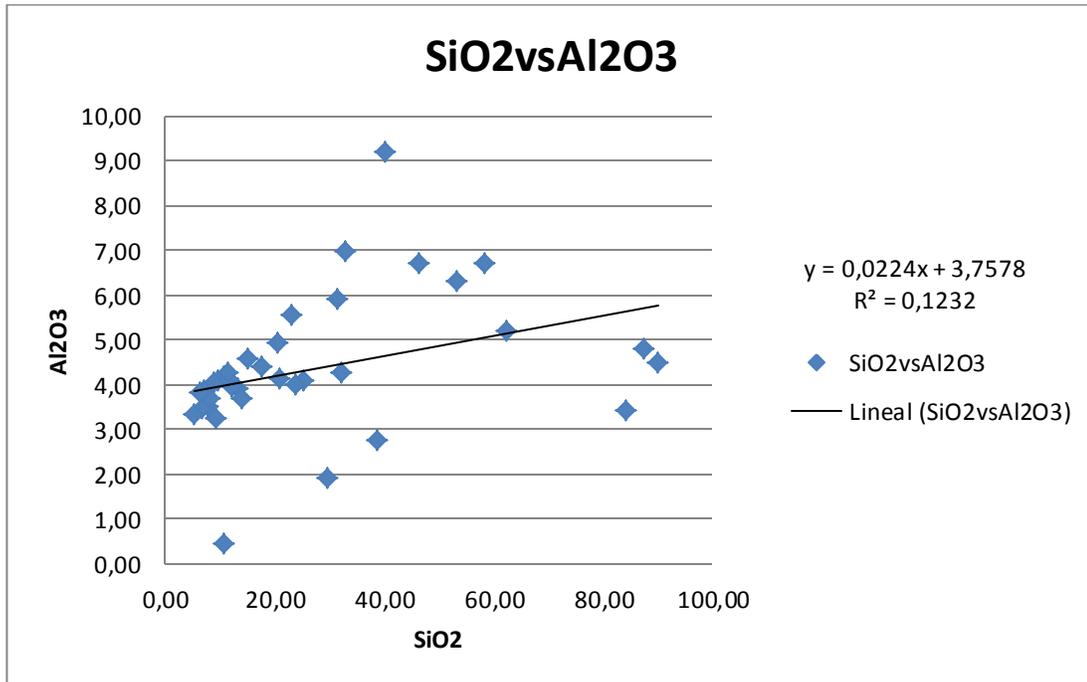


Figura 5.21 Gráfico SiO₂ vs Al₂O₃, donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R².



Figura 5.22 Gráfico SiO₂ vs Al₂O₃ por Formación.

5.2.2.3 Óxido de aluminio versus óxido de potasio: indica distancia de la fuente de sedimentos. Según Yarincik y Murray (2000) en Noguera y Yépez (2002), indica relaciones entre los tipos de arcilla. La línea de tendencia presenta una correlación positiva con un valor de R^2 de 0,349 lo cual demuestra una probabilidad de confianza baja por la distribución de las muestras, aunque puede deberse a consecuencia del efecto de retrabajo de los sedimentos o que la fuente de los mismos se encontraba lo suficientemente lejana para que el porcentaje de aluminio sea bajo siendo este uno de los elementos que se presenta con mayor concentración en las lutitas por considerarse un elemento inmóvil. Se puede decir, que mientras mayor es la cantidad de K_2O los sedimentos tienden a estar más relacionados con un ambiente transicional, y esta posee afinidad con el tipo de arcilla llamada Illita. Se observa un bajo contenido de K_2O en las formaciones El Cantil (de 0,3% a 0,4%) y Querecual (0,08% a 0,88%) junto con algunas rocas de la Formación Chimana (0,2% a 0,9%), las cuales pueden pertenecer a la facies arcillosa. (Figuras 5.23 y 5.24).

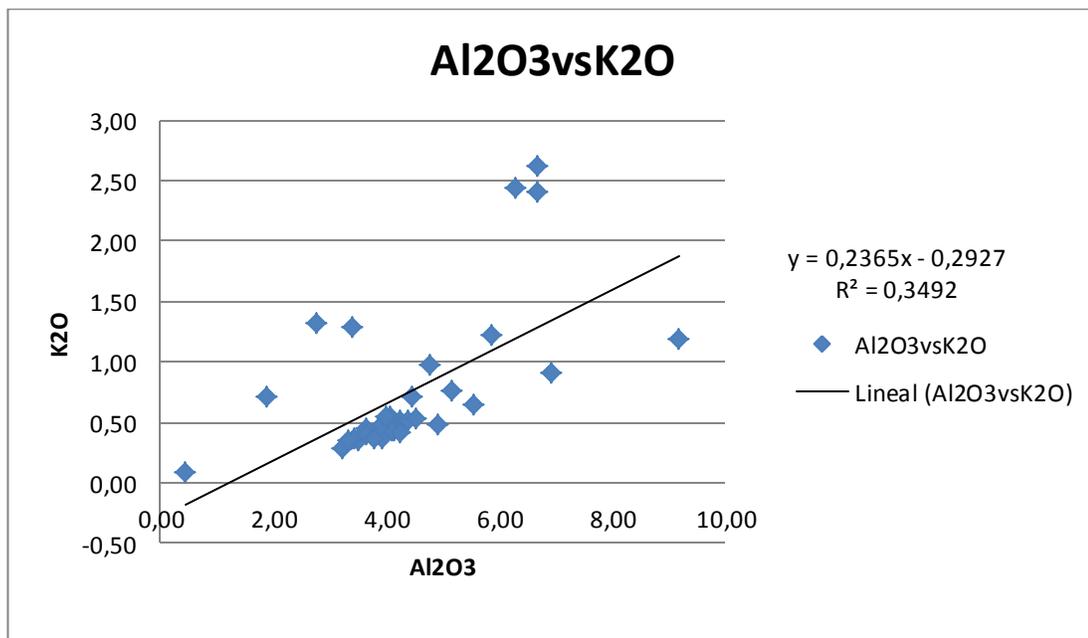


Figura 5.23 Gráfico Al₂O₃ vs K₂O, donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R^2 .

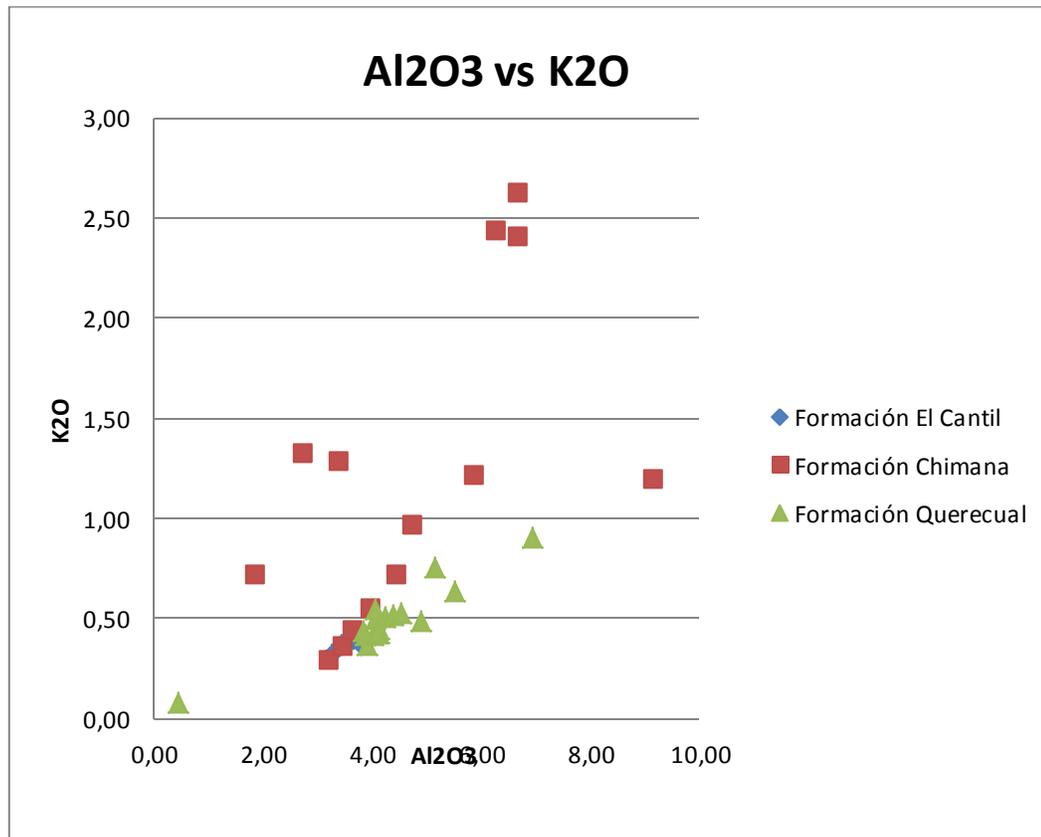


Figura 5.24 Gráfico Al₂O₃ vs K₂O por Formación.

5.2.2.4 Óxido de potasio versus óxido de hierro: Arreaza, C. (2003) expresa que es indicador de estabilidad mineralógica, así como cercanía a la fuente de sedimentos. La línea de tendencia presenta una correlación positiva con un R^2 de 0,799 lo que indica una probabilidad de confianza alta. La Formación Chimana muestra el mismo comportamiento anterior en el que las muestras están muy dispersas, lo que nos sigue demostrando que se presentan cambios de facies sedimentarias dentro de esta Formación, la muestra con más cantidad de F₂O₃ es la IBM 45 que contiene 2,43% de K₂O y 27,19% de Fe₂O₃, esto debido a que es una arenisca con marcas de oxidación tipo sal y pimienta perteneciente a la parte superior de la Formación, las muestras IBM 33 e IBM 35 también presentan un alto contenido de Fe₂O₃ lo cual puede estar relacionado con la alteración de la roca por

meteorización. Las rocas de la Formación El Cantil se encuentran cercanas en la distribución del diagrama con valores que varían entre 0,36% y 0,39% de K₂O y 0,52% y 1,76% de Fe₂O₃, de igual manera se comportan las rocas de la Formación Querecual con valores entre 0,08% y 0,75% de K₂O y valores para el Fe₂O₃ entre 0,64% y 3,20% (Figuras 5.25 y 5.26).

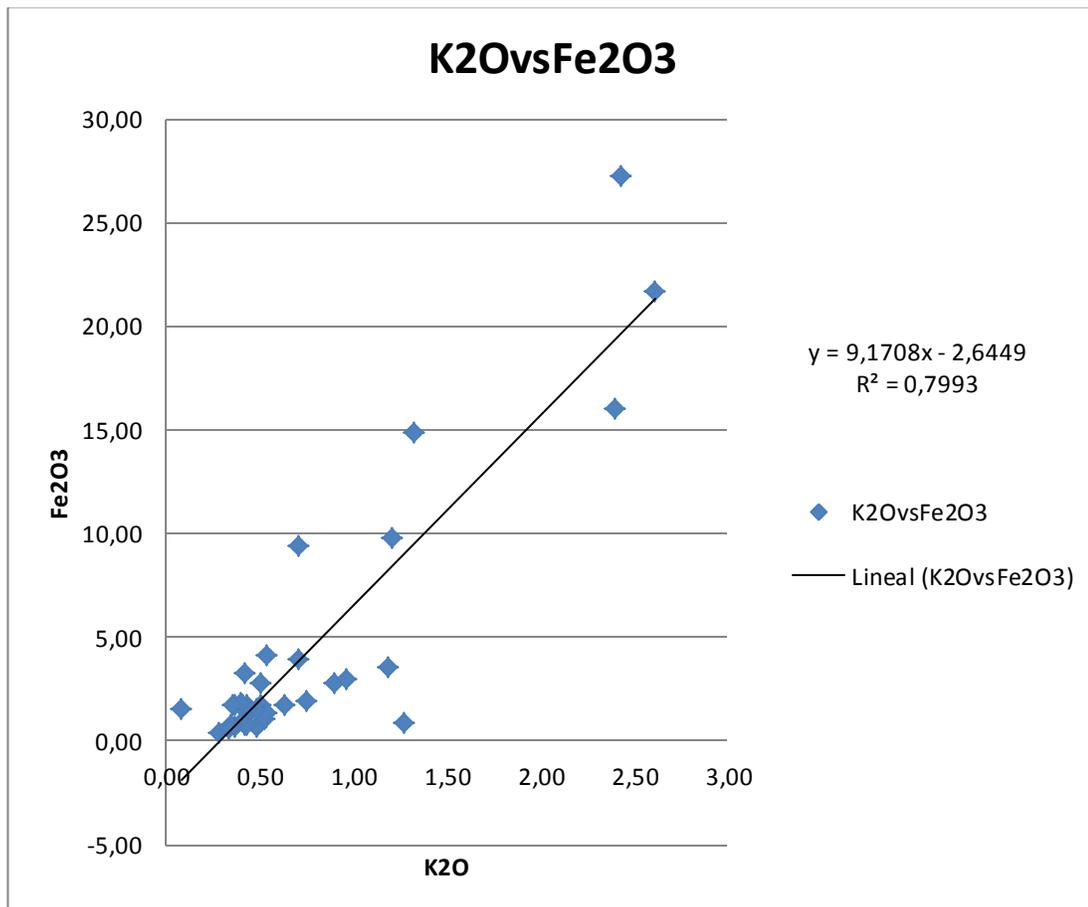


Figura 5.25 Gráfico K₂O vs Fe₂O₃, donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R².

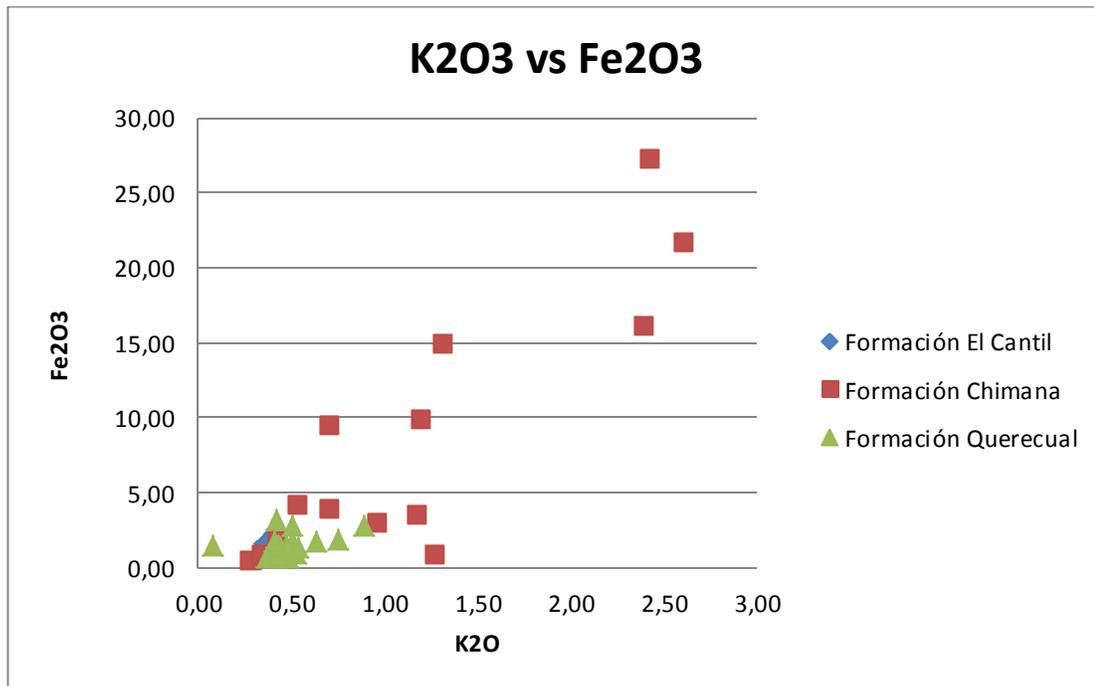


Figura 5.26 Gráfico K2O vs Fe2O3 por Formación.

5.2.2.5 Óxido de aluminio versus óxido de hierro: la línea de tendencia muestra una correlación positiva con un R^2 de 0,1259, lo que muestra una probabilidad de confianza baja debido a que las muestras se encuentran bien dispersas. De igual manera que en el gráfico anterior se observa que en las muestras de la formación Chimana IBM 45, IBM 35 e IBM 33 son las que contienen mayor cantidad de Fe2O3, también resalta la muestra IBM 32, la cual presenta un alto contenido de Al2O3 (9,17%) lo que nos muestra que la mineralogía de las lutitas está dominada por filosilicatos aluminosos de composiciones variadas. Del mismo modo se comporta la muestra IBM 27 (6,94% de Al2O3, 2,73% de Fe2O3), la cual representa una lutita de la Formación Querecual, también en esta formación se observa que la muestra IBM 22 presenta bajos valores (6,45% Al2O3 y 1,48% de Fe2O3) la cual puede estar asociada a las intercalaciones de Chert de color negro encontradas en la zona donde se extrajo la muestra. También resalta dentro de la Formación Querecual otro grupo de muestras la cuales se comportan de manera muy similar con valores entre los

3,49% y 5,17% de Al_2O_3 , con valores para el Fe_2O_3 entre los 0,65% y 2,76% de Al_2O_3 . Las muestras de la Formación El Cantil siguen sin mostrar variaciones, presentan valores entre los 3,33% y 3,81% de Al_2O_3 con valores de Fe_2O_3 entre 0,52% y 1,76%. (Figuras 5.27 y 5.28).

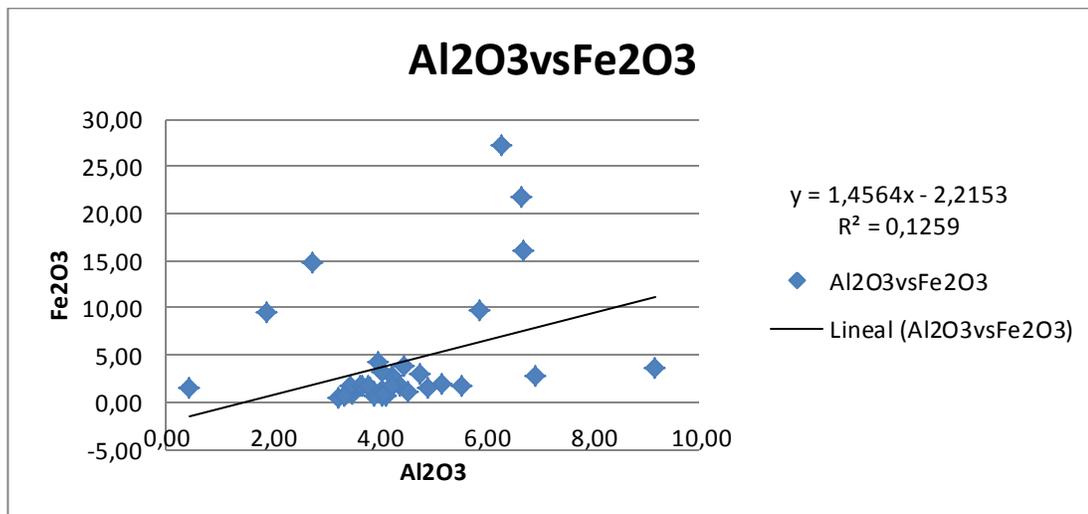


Figura 5.27 Al_2O_3 vs Fe_2O_3 , donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R^2 .

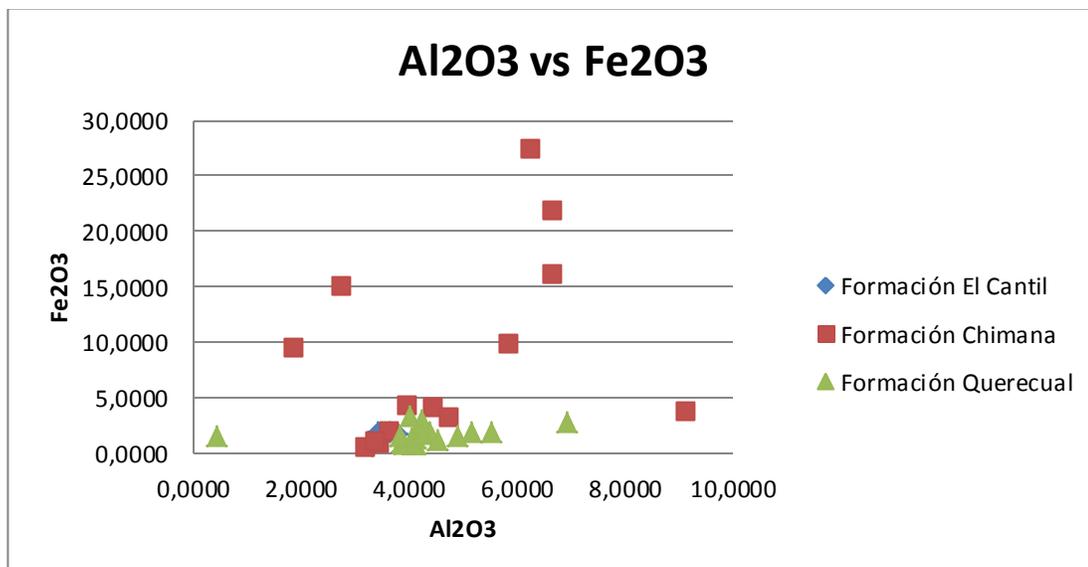


Figura 5.28 Gráfico Al_2O_3 vs Fe_2O_3 por Formación.

5.2.2.6 Óxido de sílice versus óxido de magnesio: las muestras IBM 45 (53,36% de SiO₂ y 2,035% de MgO) , IBM 35 (58,60% de SiO₂ y 2,07% de MgO) e IBM 33 (46,30% de SiO₂ y 1,68% de MgO) pertenecientes a la Formación Chimana siguen comportándose como las más dispersas, la muestra IBM 45 por ser una arenisca presenta un contenido relativamente alto de SiO₂, las muestras IBM 33 e IBM 35 representan lutitas las cuales muestran un contenido alto de SiO₂, el cual puede deberse a lo explicado anteriormente en el gráfico 5.23, a que el constituyente de la roca no sea principalmente minerales de arcilla sino partículas de sílice que han llegado al tamaño de las arcillas, lo cual está asociado a los procesos de transporte y erosión. Se observa otra agrupación de muestras (IBM 41 con 90% de SiO₂ y 0,49% de MgO, IBM 42 con 87% de SiO₂ y 0,56% de MgO e IBM 43 con 84,26% de SiO₂ y 0,69% de MgO) pertenecientes a la parte media de la Formación Chimana, las cuales presentan un bajo contenido de MgO y un alto contenido de SiO₂ por ser areniscas glauconíticas. En cuanto a la Formación Querecual se observa un grupo de muestra poco dispersas con valores que varían entre los 32,85% y 7,12% de SiO₂, y valores para el MgO entre los 0,82% y 0,50%. La muestra IBM 11 (62,36% de SiO₂ y 0,912% de MgO) se encuentra dispersa ya que es la que contiene mayor porcentaje de SiO₂ y MgO dentro de la Formación Chimana y la Formación El Cantil no presenta variaciones resaltantes con un bajo contenido de SiO₂ entre 5,26% y 8,15%, y valores entre 0,10% y 5,15% de MgO. (Figuras 5.29 y 5.30).

5.2.3 Estadística multivariante

La estadística multivariante comprende los diagramas ternarios, con el fin de apreciar enriquecimientos relativos de los elementos mayoritarios. Se estudiaron las siguientes relaciones SiO₂, MgO y Al₂O₃; SiO₂, MgO y Fe₂O₃; SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃; Al₂O₃, Fe₂O₃ y K₂O y por último K₂O, Fe₂O₃ y CaO.

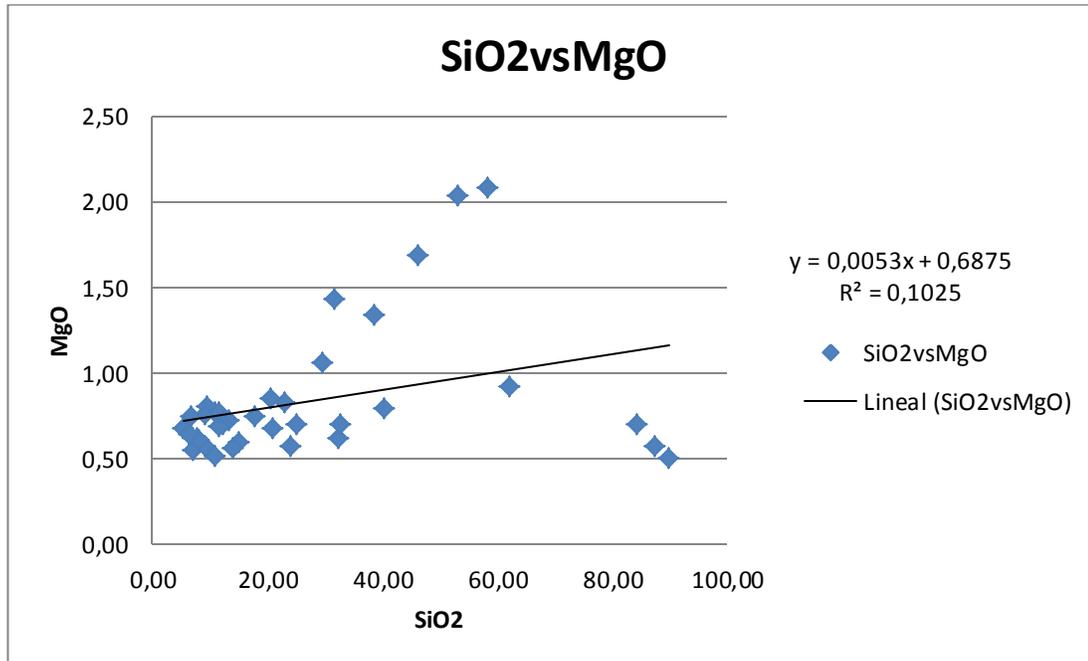


Figura 5.29 SiO₂ vs MgO, donde se muestra la línea de tendencia y el valor de R².

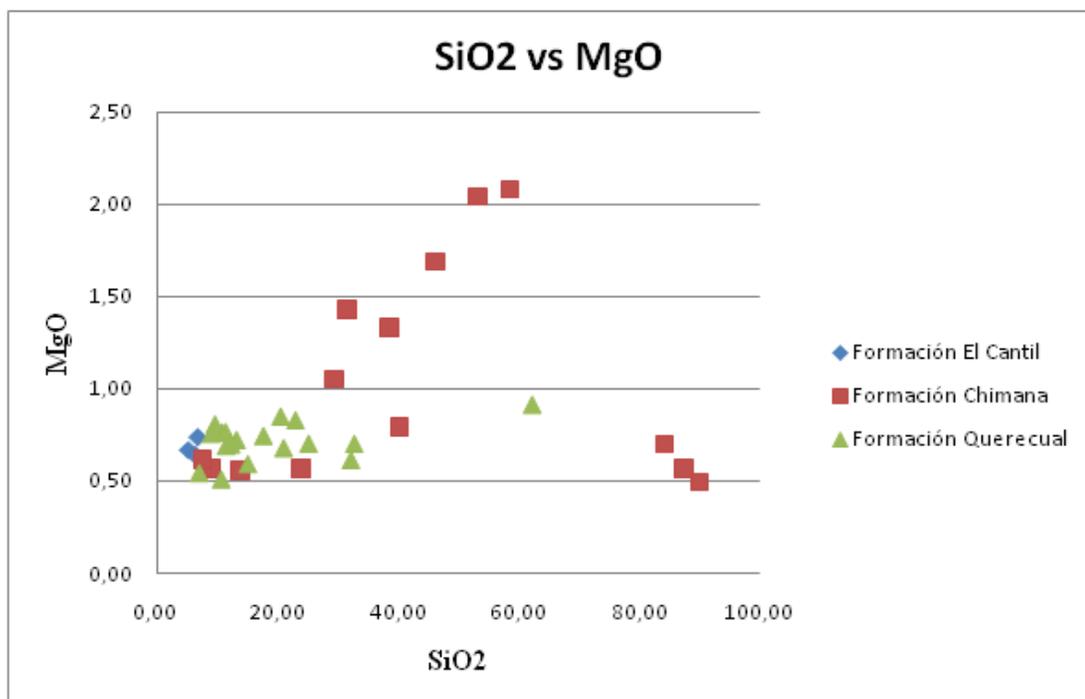


Figura 5.30 Gráfico SiO₂ vs MgO por Formación.

5.2.3.1 Diagramas ternario SiO_2 , MgO y Al_2O_3 : el comportamiento de los elementos SiO_2 , MgO y Al_2O_3 muestra un desplazamiento de las muestras hacia el SiO_2 y el Al_2O_3 lo que indica una asociación entre estos dos elementos ya observado en los diagramas de dispersión. Las muestras de la Formación Chimana y la Formación Querecual muestran variabilidad entre estos elementos asociados a los cambios de facies sedimentarias y el grado de madurez de la roca. No se observa un enriquecimiento significativo hacia el extremo del elemento MgO , esto a causa que los valores son relativamente bajos. Las muestras de la Formación El Cantil presentan mayor tendencia hacia el Al_2O_3 y el MgO en comparación a las formaciones Querecual y Chimana (Figura 5.31).

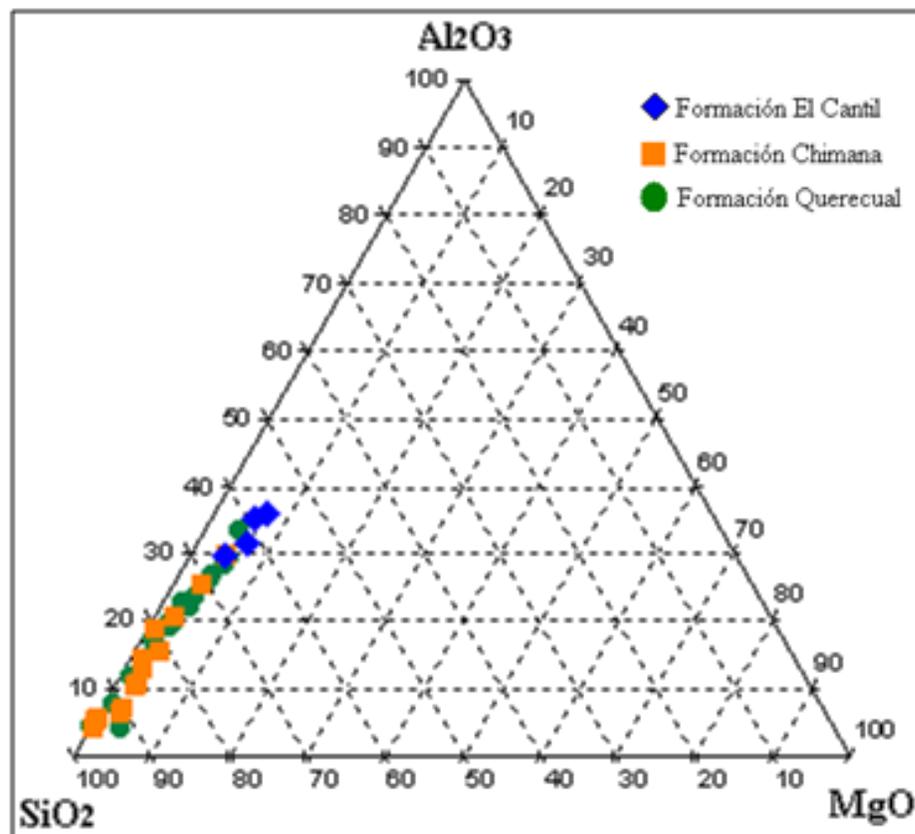


Figura 5.31 Diagrama ternario SiO_2 , MgO y Al_2O_3 .

5.2.3.2 Diagrama ternario SiO₂, MgO y Fe₂O₃: los elementos SiO₂, MgO y Fe₂O₃ muestran un desplazamiento de las muestras hacia el SiO₂ y Fe₂O₃, donde se observa que las muestras IMB 33, IBM 35, e IBM 45 pertenecientes a la Formación Chimana son las que contienen mayor cantidad de Fe₂O₃ y las muestras que se observan hacia el extremo de SiO₂ pertenecen a las areniscas glauconíticas. Al igual que en el diagrama anterior no se muestra un enriquecimiento relativo hacia el MgO. (Figura 5.32).

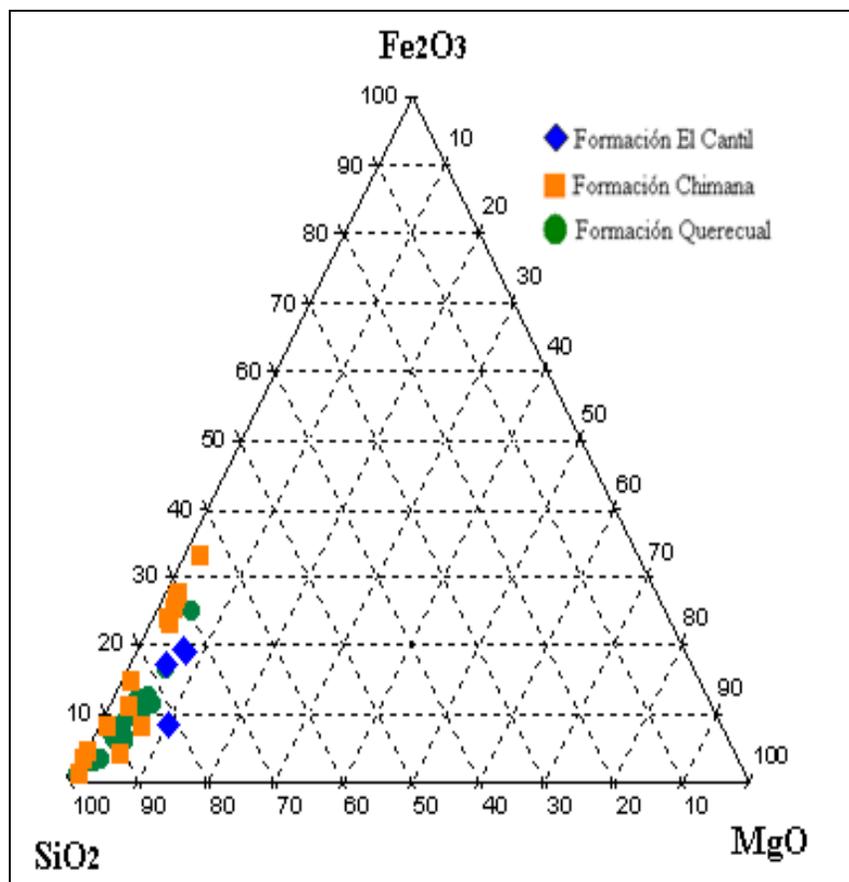


Figura 5.32 Diagrama ternario SiO₂, MgO y Fe₂O₃.

5.2.3.3 Diagrama ternario SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃: en este diagrama se observa un enriquecimiento hacia el SiO₂, lo que muestra el grado de madurez de las

areniscas de la Formación Chimana, entre estas la IBM 45 es la que destaca un enriquecimiento hacia el Fe_2O_3 por ser una arenisca con marcas de oxidación. Las muestras correspondientes a la Formación Querecual muestran un enriquecimiento hacia el Al_2O_3 debido a que representan una facies sedimentaria arcillosa. En cuanto las muestras de la Formación El Cantil también muestran un enriquecimiento hacia el Al_2O_3 . (Figura 5.33).

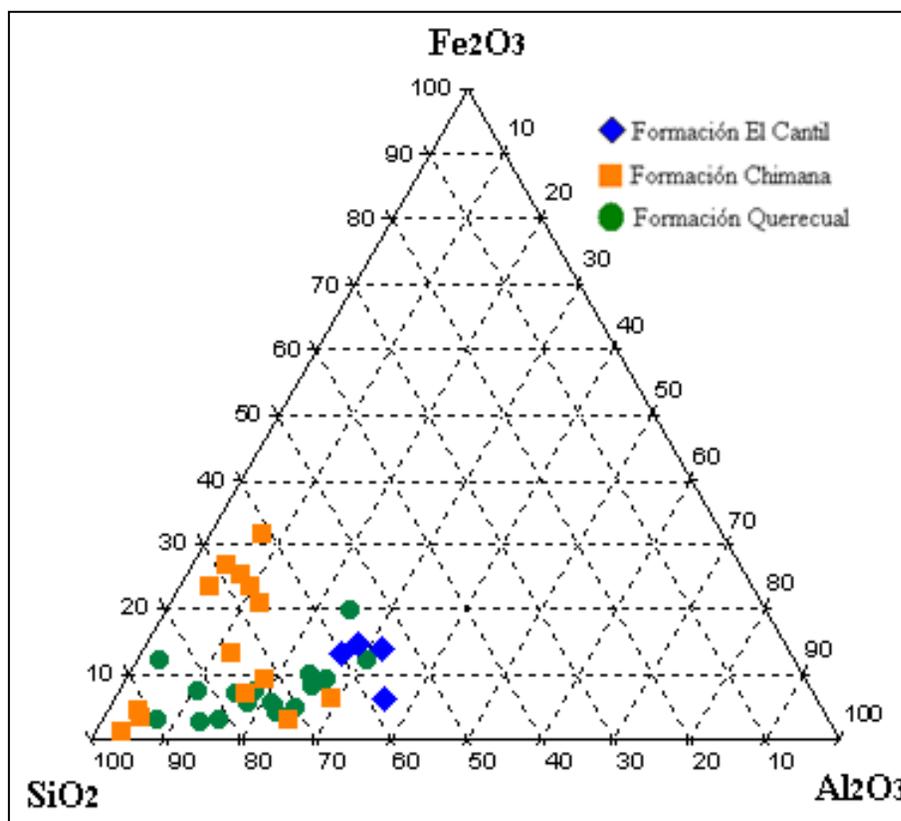


Figura 5.33 Diagrama ternario SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 .

5.2.3.4 Diagrama ternario Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O : los elementos Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O muestran un desplazamiento de las muestras entre el Al_2O_3 y el Fe_2O_3 , al igual que en el diagrama anterior las muestras de la Formación Querecual y El Cantil presentan una tendencia hacia el Al_2O_3 , excepto la muestra IBM 22 que muestra un

alto contenido de Fe_2O_3 producto de la alteración por meteorización de la roca. La Formación Chimana sigue mostrando datos muy dispersos asociados a los cambios de facies sedimentarias, la muestra IBM 43 resalta por ser la contiene mayor cantidad de K_2O , asociada a la glauconita que contiene dicha muestra. (Figura 5.34).

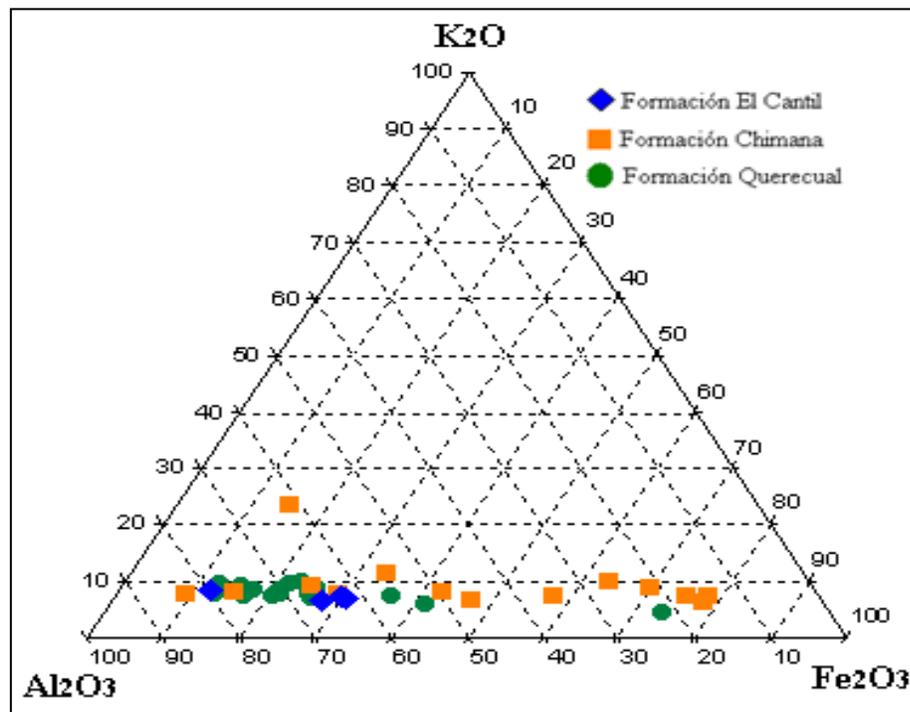


Figura 5.34 Diagrama ternario Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O .

5.2.3.5 Diagrama ternario K_2O , Fe_2O y CaO : en este diagrama se observa un enriquecimiento relativo de CaO con respecto al K_2O y al Fe_2O_3 . Las rocas de la Formación El Cantil y la Formación Querecual muestran una tendencia calcárea asociada a las facies calcárea y arcillosa. La muestra que resalta con mayor cantidad de K_2O dentro de la Formación Chimana es la IBM 43 asociada a su contenido de glauconita, también se observa un enriquecimiento de Fe_2O_3 causado por el contenido de este elemento en las muestras IMB 33, IMB 35 e IMB 45 ya mencionado en diagramas anteriores. (Figura 5.35).

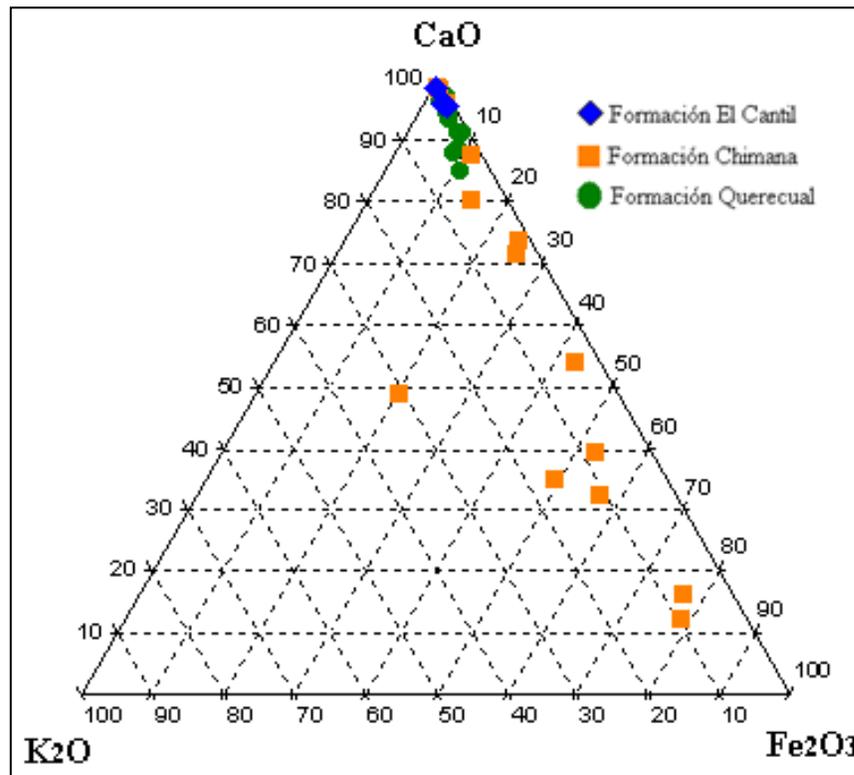


Figura 5.35 Diagrama ternario K₂O, Fe₂O₃ y CaO.

5.2.4 Diagrama de Herrón

Según el diagrama de clasificación litológica de Herrón, M. (1988), la mayoría de las muestras estudiadas presentan una marcada tendencia hacia al campo de las lutitas, en donde caen las muestras IBM 32, IBM 37, IBM38 e IBM39 pertenecientes a la parte basal de la Formación Chimana, de igual manera se comportan las muestras IBM 16, IBM 17, IBM 18, IBM 19, IBM 23, IBM 24, IBM 26, IBM 28, IBM 29 e IBM 30 correspondientes a la formación Querecual. La muestra IBM 42 de la Formación Chimana se encuentra en el campo de las Sublitoarenitas y la IBM 43 en el campo de las Subarcosas. Las muestras IBM 33, IBM 34, IBM 35, IBM 36 e IBM 40 entran en el campo de las Areniscas ricas en hierro, dichas muestras representan las lutitas de la parte inferior de la Formación Chimana, de igual manera se

comportan las lutitas IBM 14 e IBM 22 de la Formación Querecual, nuevamente se puede deducir que tal vez el constituyente de la roca no sea principalmente minerales de arcilla sino partículas de sílice que han llegado al tamaño de las arcillas, lo cual está asociado a los procesos de transporte y erosión, esto nos indica que el diagrama de Herrón no proporciona información muy confiable para este caso ya que la única muestra que entra en este campo y que tiene las características de ser una arenisca con hierro es la IBM 41. (Figura 5.36).

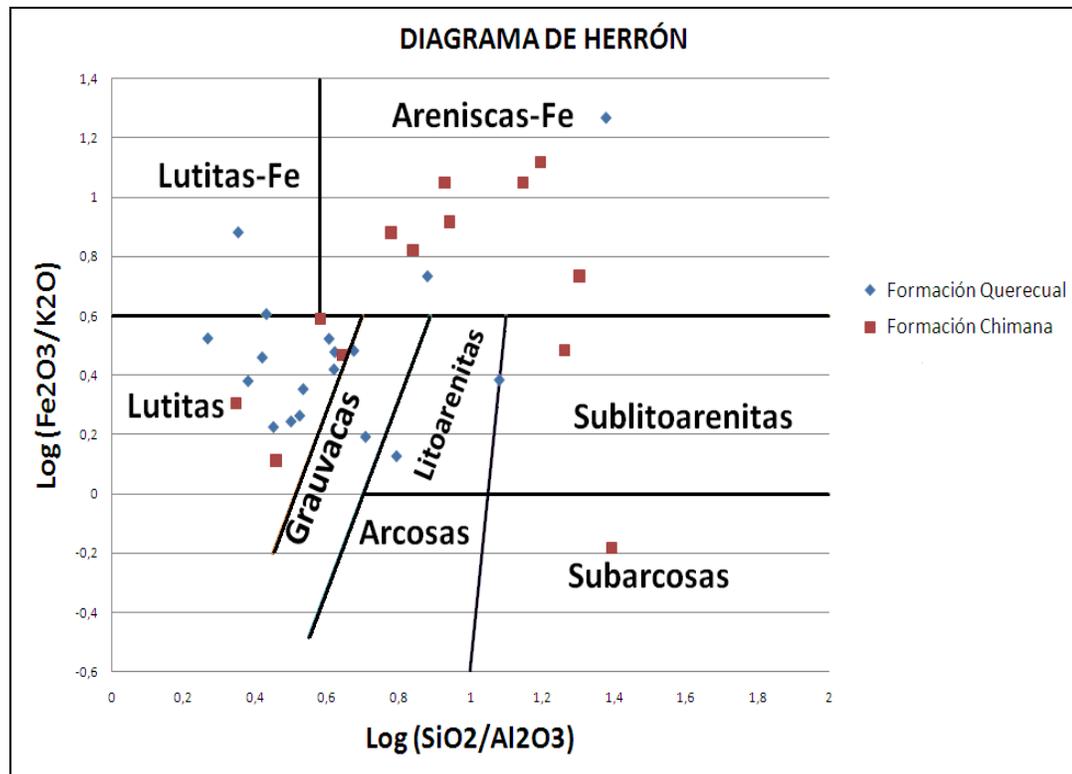


Figura 5.36 Diagrama de Herrón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La Formación Querecual está conformada por lutitas y calizas en una sección de 340 metros de espesor. La Formación Chimana está constituida por lutitas, areniscas y calizas con 107 metros de espesor medidos en el área. La Formación El Cantil está caracterizada por calizas de color gris oscuro muy fosilíferas (bioclásticas). Solo se pudieron describir 9 metros de espesor.
2. La Formación Querecual presenta valores promedio de SiO₂ entre 62,4% - 7,2%, y de CaO entre 48,2% - 14,3% siendo menos silíceas que la Formación Chimana la cual contiene valores promedios que varían de SiO₂ entre 90,1% - 7,8%, y CaO 49,8% - 2,01%. La Formación El Cantil presenta valores promedios que varían de, de SiO₂ entre 8,2% - 5,2% y CaO entre 49,8% - 40,8% siendo menos representativa por la poca cantidad de muestras recolectadas en campo.
3. La Formación Chimana debido a su variada litología es la formación que presenta más variaciones químicas.
4. La Formación Chimana contiene valores más altos de Fe₂O₃ que las formaciones El Cantil y Querecual, debido a su alta cantidad de glauconita.
5. Las areniscas de la Formación Chimana son maduras de acuerdo al diagrama de dispersión SiO₂ versus Al₂O₃.
6. De acuerdo al diagrama Al₂O₃ versus Fe₂O₃ las lutitas están dominadas por filosilicatos aluminosos de composiciones variadas.

7. La Formación Querecual presenta valores altos de SiO₂ relacionados al retrabajo de los sedimentos.

8. Las formaciones Querecual y Chimana presentan un alto contenido de CaO relacionado a su composición mineralógica, su contenido fósil y a las fracturas rellenas de calcita.

9. De acuerdo al diagrama de Herrón las muestras IBM 33, IBM 34, IBM 35, IBM 36 e IBM 40 IBM 41 e IBM 45 son areniscas ricas en hierro.

Recomendaciones

1. Efectuar estudios que consten de una tasa de muestreo más cercana (cada metro) para contar con una mayor información y así caracterizar de manera más eficaz y precisa los cambios químicos que se presentan dentro de las formaciones.

2. Realizar un estudio petrográfico de la zona con el fin de explicar las variaciones químicas que se observan en los gráficos cruzados.

3. Realizar un estudio químico en el sector El Peñón (Cerro Blanco) en la ciudad de Cumana con el fin de correlacionar las formaciones y determinar la presencia o no de la Formación Chimana.

4. Realizar estudios de elementos trazas y minoritarios ya que estos son menos móviles y se hace necesario para ellos otro tipo de estudios más específicos.

REFERENCIAS

Aguasuelos Ingeniería (1991). **GEOLOGÍA DE LA SERRANÍA DEL INTERIOR**. Corpoven, pp 8-22. Gerencia General de Geología, La Urbina - Caracas.

Armstrong-Altrin, J., Il Lee, Y., Verma, S. y Ramasamy, S. (2004) **GEOCHEMISTRY OF SANDSTONES FROM THE UPPER MIOCENE KUDANKULAM FORMATION, SOUTHERN INDIA: IMPLICATIONS FOR PROVENANCE, WEATHERING, AND TECTONIC SETTING**. Journal of Sedimentary Research, Vol. 74, Núm. 2, pp 285 – 297.

Arreaza, C. (2003) **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS FORMACIONES NARICUAL Y QUERECUAL, EN SUS LOCALIDADES TIPO, ESTADO ANZOÁTEGUI**. Trabajo Especial de Maestría, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 322 pp.

Bathia, M.R; and Crok, K.A.W., (1986). **TRACE ELEMENT CHARACTERISTICS OF GRAWACKES AND TECTONIC DISCRIMINATION OF SEDIMENTARY BASIN**: Contrib. Mineral. Petrol., v.92, p. 181-193.

Briceño H., Callejón A. y Lander R. (1996). **CARACTERIZACIÓN DE QUIMIOFACIES EN ROCAS CRETÁICAS DEL ÁREA SUR DEL ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA OCCIDENTAL**. V Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica. Cancún, México. AAPG Bulletin. Vol. 80, núm 8, 1276.

Calvert SE y TF Pedersen (1993) **GEOCHEMISTRY OF RECENT OXIC AND ANOXIC SEDIMENTES AND IMPLICATIONS FOR THE GEOLOGICAL RECORD**. Marine Geology 113: 67-88.

Campos, V., S. de Cabrera y R. Lander, (1985). **ESTRATIGRAFIA DEL NORESTE DE ANZOATEGUI**. En: Espejo, A., J. H. Rios y N. P. de Bellizzia, (Eds.) VI Cong. Geol. Ven., Caracas, Mem. 1: 156-200.

Canavos, G. (1988) **PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA: APLICACIONES Y METODOS**. Primera edición, Mexico, 1988, Mem. 1:213-445.

Camposano, L (2000). **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS DE LAS FORMACIONES BARCO Y MIRADOR, SAN PEDRO DEL RÍO, EDO. TÁCHIRA**. En: Léxico estratigráfico de Venezuela, [<http://www.pdvsa.com/lexico/tesis/nmlc00.htm>].

Chioc, M., (1985). **CRETACEO Y PALEOGENO EN EL SUBSUELO DEL NORTE DE MONAGAS**. VI Cong. Geol. Venez., Caracas, 1985. Mem. 1: 350-383.

Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología (CVET, 1970), **LEXICO ESTRATIGRAFICO DE VENEZUELA: Caracas, boletín de geología, publicación especial, v. 4, 756p.**

Coromines J. (2000) **PROCESO, AMBIENTES Y ROCAS SEDIMENTARIAS**. En: Facultad de ingeniería, 4 de abril del 2006, [http://www.fing.edu.uy/iet/areas/geotecnica/cursos/geol_p_ingenieria].

Di Croce, J., A.W Bally y P. Vail. (1995). **SEQUENCE STRATIGRAPHY OF THE EASTERN VENEZUELAN, CARIBBEAN BASINS, SEDIMENTARY BASINS OF THE WORLD**. Series editor K.J. Hsü, Capítulo 16, pp 419-476.

Dinelli, E., Lucchini, F., Mordenti, A. y Paganelli, L. (1999) **GEOCHEMISTRY OF OLIGOCENE-MIOCENE SANDSTONES OF THE NORTHERN APPENNINES (ITALY) AND EVOLUTION OF CHEMICAL FEATURES IN RELATION TO PROVENANCE CHANGES.** Sedimentary Geology, Núm 127 (1999), pp 193 – 207.

Fernandez, J. Morales, M. Parra, K. (2006). **TECTONIC EVOLUTION AND PRESERVATION OF RELIC STRUCTURES IN A TRIANGLE ZONE (EATERN VENEZUELA):** Categena de Indias, Colombia, IX Simposio Bolivariano de Exploracion Petrolera.

Furrer, G. y Castro, M. (1997). **NOTAS GEOLÓGICAS SOBRE DATOS INÉDITOS DE LAGOVEN S.A, EN LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA.** En:<http://www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/labos/bioestratigrafia> P 27.

Gabaldón, M. (1992) **PARQUES NACIONALES DE VENEZUELA.** 12 de Marzo 2010 http://www.menssana.com.ve/_azul/mochima.htm. P.116

Guillaume, H. A., H. M. Bolli y J. P. Beckmann, (1972). **ESTRATIGRAFIA DEL CRETACICO INFERIOR EN LA SERRANIA DEL INTERIOR, ORIENTE DE VENEZUELA.** Bol. Geol., Caracas, Pub. Esp. 5(3): 1619-1655.

González De J., Clemente I. J. y Picard X. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Ediciones Foninves, Caracas, Venezuela, Tomo y II. pp 435.

Hedberg, Hollis. (1937) **GUIA PARA LA CLASIFICACION TERMINOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS ESTRATIGRAFICOS**. 21 de Marzo 2010.

[http://www.Hollis+Dow+Hedberg"&e](http://www.Hollis+Dow+Hedberg). P.209

Hedberg, H. D, (1950). **GEOLOGY OF THE EASTERN VENEZUELA BASIN (ANZOATEGUI-MONAGAS-SUCRE-EASTERN GUARICO PORTION)**, Geol. Soc. Am., Bull., 61(11): 1173- 1216.

Hedberg, H. D. y F. Pyre, (1944). **STRATIGRAPHY OF NORTHEASTERN ANZOATEGUI, VENEZUELA**. Bull. American Assoc. Petr. Geol., 28(1): 1-128.

En: [<http://www.pdvsa.com/lexico/2edic/b40e.htm>]

Herron, M. (1988). **GEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF TERRIGENOUS SANDS AND SHALES FROM CORE LOG DATA**. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 58, Núm. 5, September 1988, pp 820 – 829.

Hay, J. y R. Aymard, (1977). **EL CRETACEO EN EL SUBSUELO DE ANZOATEGUI Y PARTE DE MONAGAS; CUENCA ORIENTAL DE VENZUELA**. En: Espejo, A., D. Zoraya, C. Key y E. Vazquez, (Eds.) V Cong. Geol. Ven., 4: 1557-1574.

Liddle, R. A., (1928). **THE GEOLOGY OF VENEZUELA AND TRINIDAD**, Fort Worth, Texas, 552p.

Litos, E. (1996) **ESTUDIO DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS EN EL ÁREA SUROCCIDENTAL DEL ESTADO TÁCHIRA. P.D.V.S.A.** Informe interno, Puerto La Cruz, Anexo I-2, Anexo I-4, Anexo I-9, Anexo III-1, Anexo III-3, Capítulo I-V, Vol. 14, Vol. 12.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA, (1956). Publicación especial, p 87.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA, (1970). Primera edición. Publicación especial No 12 tomo I y II p 117.

Mc Lennan, S, (1993). **GEOCHEMICAL APPROACHES TO SEDIMENTATION PROVENANCE AND TECTONICS**. Publicacion especial Paper 284, 21-40.

Macsotay, O. y Vivas, V. (1988). **BOIESTRATIGRAFÍA DEL CRETÁCEO DE LA REGIÓN DE BERGANTÍN-SANTA INES. ESTADO ANZOATEGUI, VENEZUELA NORORIENTAL**. Boletín geológico, pp3, 128.

Macsotay, Oliver (1995). **DOMINIOS TECTONO ESTRATIGRÁFICOS DEL CRETÁCICO-NEÓGENO EN VENEZUELA NORIENTAL**. Boletín geológico, pp124-152.

Maury, C. J., (1925). **A FURTHER CONTRIBUTION TO THE PALEONTOLOGY OF TRINIDAD (MIOCENO HORIZONS)**. Bull. Amer. Paleont., 10(42): 159-402. En [<http://www.pdvsa.com/lexico/y1w.htm>].

Méndez, A, (2008), **GEOQUÍMICA E ISOTOPIA DE AGUAS DE FORMACIÓN (SALMUERAS PETROLERAS) DE CAMPOS MESOZOICOS DE LA CUENCA DEL SURESTE DE MÉXICO: IMPLICACIÓN EN SU ORIGEN, EVOLUCIÓN E INTERACCIÓN AGUA-ROCA EN YACIMIENTOS PETROLEROS**. Trabajo especial, 40:127-453

Navarro, E., et al. (1987). **REVISION Y REDEFINICION DE UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS Y SINTESIS DE UN MODELO TECTONICO PARA LA EVOLUCION DE LA PARTE NORTE-CENTRAL DE VENEZUELA DURANTE EL JURASICO MEDIO-PALEOGENO.** Acta Científica Venezolana, 39: 427-436.

Nesbitt, H.W.; and Young, G.M (1982). **EARLY PROTEROZOIC CLIMATES AND PLATE MOTIONS INFERRED FROM ELEMENT CHEMISTRY OF LUTITES:** Nature, v. 299, p. 715-717.

Noguera, M. y Yépez, S. (2002). **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS: FORMACIONES NARICUAL Y QUERECUAL, ESTADOS ANZOÁTEGUI Y MONAGAS.** Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Dpto. Geol., Universidad Central de Venezuela, Caracas, 281pp.

Petroleos de Venezuela Sociedad Anonima (PDVSA-Intevep, 2004) **CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA,** 17 de agosto 2004, En: [<http://www.pdv.com/léxico/lexicoh.htm>].

Pearce, T. y Jarvis, I. (1995). **HIGH RESOLUTION CHEMOSTRATIGRAPHY OF QUATERNARY DISTAL TURBIDITES: A CASE STUDY OF NEW METHODS FOR THE ANALYSIS AND CORRELATION OF BARREN SEQUENCES (WEST MIDLANDS, U.K.).** En: Non-biostratigraphical methods of dating and correlation. Geological Society special publication. Núm. 89, pp 107 – 143.

Peña W, y Tremaria. D. (2007). **CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y PETROGRÁFICA DE LA FORMACIÓN BARRANQUÍN (EDAD**

CRETÁCICO INFERIOR) AL NOROESTE DEL CERRO “LA LLANADA”, CUMANÁ; ESTADO SUCRE. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela. Tesis de grado, pp 20-70.

Piovano E.L., Román G., Ribeiro S., Arribére M.A. y Depetris P.J. (1999) **GEOCHEMICAL TRACERS OF THE SOURCE ROCK IN CRETACEOUS TO QUATERNARY SEDIMENTARY SEQUENCE (EASTERN SIERRAS PAMPEANAS ARGENTINA).** Journal of South American Earth Sciences, vol. 12, P. 500.

Pomonti. K, y Tang. E, (2005). **ESTUDIO QUIMIOESTRATIGRÁFICO DEL OLIGOCENO SUPERIOR EN LOS CAMPOS OROCUAL Y JUSEPÍN, ÁREA NORESTE DE MONAGAS – VENEZUELA.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar, Venezuela, Tesis de grado, pp 30-126.

Raymond, L. (1997) **THE STUDY OF IGNEOUS, SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS.** México D.F. International Thompson Editores, 675 pp.

Reátegui K. (2001) **IDENTIFICACIÓN DE QUIMIOFACIES DE LA FORMACIÓN MIRADOR, EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO, ESTADO TÁCHIRA.** Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Instituto de Ciencias de la Tierra, Caracas, Venezuela, Tesis de grado, pp 17-24.

Renz, O, (1959). **ESTRATIGRAFIA DEL CRETACEO EN VENEZUELA OCCIDENTAL.** *Estratigrafía*. Bol. Geol., Caracas, 5(10): 3-48. Resumen (1960) en: Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 3(7): 209.

Renz, O, (1982). **CRETACEOUS AMMONITES OF VENEZUELA**. MARAVEN, Caracas. 132 p.

Rod, E. (1959). **HUMOCARO FAULT**. Boletín informativo – Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Caracas, Venezuela, p 45.

Rod, E. and Maync, D. (1954). **REVISION OF LOWER CRETACEOUS STRATIGRAPHY OF VENEZUELA**, Am. Assoc. Petrol. Geol, Bull, 38(2). 193-283.

Rodríguez, N., Ruiz, A. y Tundidor, E. (2000). **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X Y RADIOISOTÓPICA POR ESPECTROMETRÍA GAMMA MULTICANAL DE DOS SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS DE LA FORMACIÓN GUÁRICO, EL PAO, ESTADO COJEDES**. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Dpto. Geol., Universidad Central de Venezuela, Caracas, 265 pp.

Rosales, Hugo. (1960). **ESTRATIGRAFÍA DEL CRETÁCICO – PALEOGENO – EOCENO DE LA SERRANÍA DEL INTERIOR, ORIENTE DE VENEZUELA**. III Congreso Geológico Venezolano, pp 471.

Servicio de Meteorología de la Aviación de Barcelona, estado Anzoátegui, (2010).

Salvador M. y Gargallo P. (2003) **ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS**. 27 agosto 2004, [<http://ciberconta.unizar.es/LECCION/aed/ead.pdf>].

Salvador, M (1964). **NOMENCLATURE OF THE LAS PIEDRAS AND RELATED FORMATIONS IN EASTERN VENEZUELA**. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 4(10): 297-327.

Sociedad Venezolana de Ingenieros de Petróleo, (1963). **ASPECTOS DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN VENEZUELA**. I Congr. Venez. Petról., Caracas, 1962, 850 p. (Cuadro de Correlación entre pág. 188-189). Reimpreso en: Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 1963, 6(11); 1964, 7(5).

Stephan, J (1982). **EVOLUCIÓN GEODINAMIQUE DA DOMAINE CARAIBE ANDES ET CHAINE CARABIESUR LA TRANSVESALE DA BARQUISIMETO (VENEZUELA)**. University of París, P 512.

Stephan, J (1990). **MAPAS PALEOGEODINÁMICOS DEL CARIBE**. Boletín Geológico, Thompson Editores, Segunda Edición pp 915- 919.

Taylor, S. R., McLennan, S., M., (1985). **THE CONTINENTAL CRUST: ITS COMPOSITION ANDEVOLUTION**: Blackwell, oxford, 312p.

Torres, J. (2006) **CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN AGUARDIENTE EN LA PRESA LA VUELTOSA, SANTA MARÍA DE CAPARO, ESTADO MÉRIDA**. Enero del 2006.

Yarincik, K. M., Murray, R.W. y Peterson, L.C. (2000). **CLIMATICALLY SENSITIVE EOLIAN AND HEMIPELAGIC DEPOSITION IN THE CARIACO BASIN, Venezuela, 2000**.

Yoris, R. (1984), **REVISION DE LA ESTRATIGRAFIA REGIONAL DEL CRETACEO INFERIOR EN LA FRANJA SAN ANTONIO DE MATURIN ARAGUA DE MATURIN - CARIPITO - BOLIVITA - CAMPO ALEGRE (ESTADOS MONAGAS Y SUCRE), Y ANALISIS PETROGRAFICO -**

ESTADISTICO DE ARENISCAS AL OESTE DEL RIO SAN JUAN. En:
[<http://www.pdvsa.com/lexico/tesis/fgyv84.htm>].

Yoris, R., G, (1985). **REVISION DE LA ESTRATIGRAFIA DEL CRETACEO INFERIOR AL SUR Y ESTE DE LA SERRANIA DEL INTERIOR, VENEZUELA NORORIENTAL.** VI Congr. Venezolano, 2: 1343-1393.

Yoris, R. G, (1988). **LOCALIDADES TIPO PARA LOS MIEMBROS DE LA FORMACIÓN CHIMANA EN LA SERRANIA DEL INTERIOR, VENEZUELA NORORIENTAL.** Bol. Soc. Ven. Geol. En:
[<http://www.pdvsa.com/lexico/c139w.htm>]

Yoris F. y Ostos M. (1997) **GEOLOGIA DE VENEZUELA.** Publicado en el W.E.C. de Schlumberger [CD-ROM] Caracas, Venezuela, pp 32-40.

Zapata, E. (2003). **SEDIMENTOLOGÍA.** Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Geología. Puerto La Cruz, p 70.

ANEXO

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS ROCAS QUE CONFORMAN LAS FORMACIONES EL CANTIL, CHIMANA Y QUERECUAL (EDAD CRETÁCICO) AL SUROESTE DE ISLA LA BORRACHA, AL NORESTE DE PUERTO LA CRUZ, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
PÉREZ C., MANUEL T	CVLAC	17869743
	e-mail	manutpc@hotmail.com
	e-mail	
NÚÑEZ R., RANIER J	CVLAC	17010911
	e-mail	ranier317@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Caracterización química.
Formación El Cantil.
Formación Chimana.
Formación Querecual.
Serranía del Interior.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de
Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Geología	Geología

Resumen (abstract):

El área de estudio se encuentra ubicada al Suroeste de Isla La Borracha (Sector La Cueva) al Norte de Puerto La Cruz. Las formaciones El Cantil, Chimana y Querecual fueron analizadas químicamente con la finalidad de establecer un patrón de correlación que para la identificación y comparación de estas formaciones en otras áreas. Para ello se describieron macroscópicamente las rocas; se elaboraron perfiles sedimentológicos; y se caracterizaron químicamente las muestras recolectadas en campo mediante la técnica de (ICP) a través de la obtención de valores en porcentaje de 9 óxidos: Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, CaO, K₂O, MgO, TiO₂, Na₂O y P₂O₅. La interpretación de los datos dio como resultado que la Formación Chimana es la formación que presento más variaciones químicas relacionado a los cambios de facies sedimentarias que presenta, además esta formación se definió como la mas silíceas por su alto contenido de SiO₂ en la mayoría de sus muestras, la Formación Querecual es la más arcillosa y la Formación El Cantil la mas calcárea.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
CASTILLO, LINO	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	12.602.226
	e-mail	
	e-mail	
MONTEVERDE, FRANCISCO	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.192.676
	e-mail	
	e-mail	
RAMIREZ, LIEBIG	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	13.326.374
	e-mail	

	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2011	03	17
-------------	-----------	-----------

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de
Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-(MTyR).doc	Aplication/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: Universidad de Oriente (Opcional)

Temporal: (Opcional)

10 años

Título o Grado asociado con el trabajo:

GEOLOGO

Nivel Asociado con el Trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Departamento de Geología

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

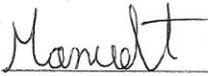
Derechos:

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
finés con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



AUTOR 1



AUTOR 2



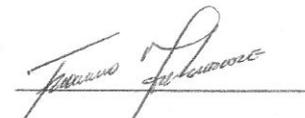
AUTOR 3



TUTOR



JURADO 1



JURADO 2

POR LA SUBCOMISION DE TESIS:



